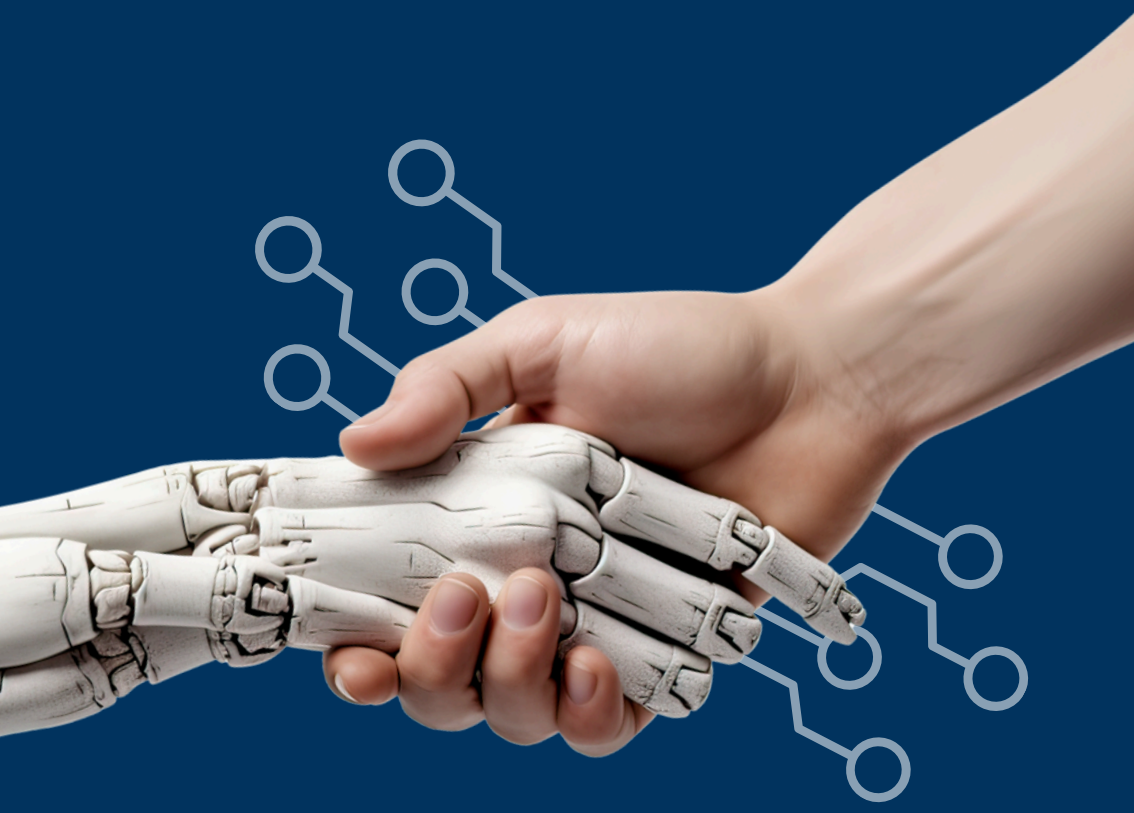
KOMDIGI

Pusbang Talenta Digital

KAJIAN STRATEGI PENGEMBANGAN TALENTA AI DI INDONESIA



Said Mirza Pahlevi | Badar Agung Nugroho |
| Kasmad Ariansyah | Marudur Pandapotan Damanik |
| Kari Septiana Dewi | Sunarti |

KEMENTERIAN KOMUNIKASI DAN DIGITAL
TAHUN 2026

Kajian Strategi Pengembangan Talenta AI di Indonesia

Said Mirza Pahlevi
Badar Agung Nugroho
Kasmad Ariansyah
Marudur Pandapotan Damanik
Sunarti
Kari Septiana Dewi

Kementerian Komunikasi dan Digital
Republik Indonesia

Kajian Strategi Pengembangan Talenta AI di Indonesia

Dokumen ini disusun berdasarkan hasil studi literatur dari berbagai sumber serta analisis data yang relevan, yang telah dilaksanakan oleh Pusat Pengembangan Talenta Digital, Kementerian Komunikasi dan Digital Republik Indonesia. Tim Penulis menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam proses penyusunan kajian ini. Pandangan dan analisis yang disampaikan adalah milik Tim Penulis.

Pengarah:
Kepala Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Komunikasi dan Digital
Kementerian Komunikasi dan Digital
Republik Indonesia

Penanggung Jawab:
Kepala Pusat Pengembangan Talenta Digital
Kementerian Komunikasi dan Digital
Republik Indonesia

Tim Penulis:
Said Mirza Pahlevi
Badar Agung Nugroho
Kasmad Ariansyah
Marudur Pandapotan Damanik
Sunarti
Kari Septiana Dewi

Editor:
Marifah
Fajar Ruhuldana
Alifiani Widyaningtyas Irwanto

Sekretariat:
Ranti Ramadhiana
Fauziyah Tri Rachmawati
Ervina Tri Utaminingtyas

Desain Cover dan Isi:
Ade Yoga Fahrur Rochman

Semua hak dilindungi undang-undang. Tidak ada bagian dari buku ini yang boleh direproduksi, disimpan dalam sistem pengambilan, atau disebarluaskan dalam bentuk apa pun dan dengan cara apa pun, baik secara elektronik, mekanik, fotokopi, rekaman, maupun cara lainnya, tanpa izin tertulis sebelumnya dari Kementerian Komunikasi dan Digital Republik Indonesia.

Pertama kali diterbitkan dalam:
Bahasa Indonesia

Diterbitkan Oleh:
Kementerian Komunikasi dan Digital
Republik Indonesia
Jl. Medan Merdeka Barat No. 9
Jakarta Pusat 10110 Indonesia
Website: www.kominfo.go.id

Dikeluarkan Oleh:
Pusat Pengembangan Talenta Digital
BPSDM Komdigi
Kementerian Komunikasi dan Digital

ISBN:
978-623-6249-25-3

© 2026 Kementerian Komunikasi dan Digital
All Rights Reserved



KATA PENGANTAR
KEPALA BPSDM KOMDIGI

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas tersusunnya Kajian Strategi Pengembangan Talenta AI di Indonesia. Kehadiran kajian ini merupakan wujud komitmen bersama dalam memperkuat fondasi ekosistem talenta digital nasional secara terarah, sistematis, dan berkelanjutan.

Dalam konteks persaingan global, Artificial Intelligence (AI) telah menjadi faktor determinan dalam pembentukan daya saing nasional, dengan implikasi langsung terhadap produktivitas ekonomi produktivitas ekonomi, transformasi pasar kerja, efektivitas tata kelola pemerintahan, serta dimensi keamanan dan kedaulatan negara. Penguasaan AI berarti mengelola ekosistem yang luas; dari infrastruktur, SDM, dan data hingga etika dan regulasi. Keseluruhan dimensi tersebut pada akhirnya bertumpu pada kualitas sumber daya manusia. Tanpa talenta yang kompeten dan adaptif, upaya mewujudkan kedaulatan teknologi akan sulit dicapai. Dengan demikian, pembangunan talenta AI menjadi prioritas utama untuk memperkuat ketahanan nasional di era digital.

Indonesia saat ini berada pada momentum krusial dalam perjalanan transformasi digitalnya. Di satu sisi, potensi pemanfaatan AI di berbagai sektor strategis sangat terbuka lebar. Di sisi lain, masih terdapat tantangan struktural yang memerlukan respons kebijakan yang komprehensif, mulai dari kesenjangan kompetensi, keterbatasan tenaga pengajar dan fasilitas, hingga kebutuhan sinergi lintas sektor. Oleh karena itu, pendekatan pengembangan talenta perlu diarahkan pada model kolaboratif antara pemerintah, perguruan tinggi, industri, dan komunitas, termasuk melalui pembelajaran berbasis proyek dan penguatan keterkaitan dengan kebutuhan industri.

Buku ini menyajikan analisis menyeluruh mengenai dinamika ekosistem talenta AI nasional, sekaligus menawarkan kerangka strategi dan desain program pengembangan kapasitas yang aplikatif. Diharapkan, dokumen ini dapat menjadi referensi strategis bagi para pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan dan program yang selaras dengan visi transformasi digital nasional menuju Indonesia Emas 2045.

Apresiasi saya sampaikan kepada Pusat Pengembangan Talenta Digital, tim penulis dan seluruh pihak yang telah berkontribusi. Semoga upaya bersama ini memberikan dampak nyata bagi kemajuan talenta AI Indonesia. bersama ini memberikan dampak nyata bagi kemajuan talenta AI Indonesia.

Bonifasius Wahyu Pudjianto
Kepala BPSDM Komunikasi dan Digital



SAID MIRZA PAHLEVI
Kepala Pusat Pengembangan Talenta Digital

KATA PENGANTAR
KEPALA PUSAT PENGEMBANGAN TALENTA DIGITAL KOMDIGI RI

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas tersusunnya kajian "Strategi Pengembangan Talenta AI di Indonesia". Kajian ini disusun sebagai respon atas semakin pesatnya penetrasi teknologi AI dalam berbagai aspek kehidupan modern yang mendorong transformasi ekonomi, sosial, dan tata kelola pemerintahan. Perkembangan tersebut sekaligus menghadirkan tantangan baru bagi Indonesia untuk memastikan bahwa pemanfaatan teknologi AI dapat berjalan secara mandiri, berkelanjutan, dan selaras dengan kepentingan nasional.

Dalam konteks global, AI telah menjadi faktor strategis yang memengaruhi daya saing negara, stabilitas ekonomi, hingga ketahanan nasional. Oleh karena itu, penguatan kedaulatan AI menjadi agenda penting dalam pembangunan nasional. Kedaulatan AI tidak hanya mencakup penguasaan data, infrastruktur, algoritma dan model, serta kerangka regulasi dan etika, tetapi juga sangat ditentukan oleh ketersediaan talenta yang mampu mengembangkan, mengimplementasikan, dan mengendalikan teknologi AI secara bertanggung jawab. Talenta AI menjadi fondasi aktif yang menggerakkan seluruh ekosistem pengembangan AI nasional.

Kajian ini menguraikan secara komprehensif berbagai aspek yang berkaitan dengan penguatan ekosistem AI, mulai dari konsep kedaulatan AI dalam konteks global dan nasional, perkembangan teknologi AI dan ekosistem pendukungnya, hingga dampak AI terhadap transformasi ekonomi dan ketenagakerjaan. Selain itu, kajian ini juga membahas dinamika ketersediaan dan kebutuhan talenta AI di Indonesia, termasuk peran strategis pemerintah, perguruan tinggi, serta berbagai program pengembangan talenta yang telah berjalan.

Sebagai bagian dari upaya penguatan talenta AI nasional, kajian ini menyoroti pentingnya pendekatan pengembangan talenta yang adaptif dan kolaboratif, termasuk model pembelajaran berbasis proyek dan studi kasus nyata yang menghubungkan proses pembelajaran dengan kebutuhan industri dan pembangunan nasional. Pendekatan tersebut diharapkan mampu menghasilkan talenta AI yang tidak hanya unggul secara teknis, tetapi juga memiliki pemahaman kontekstual terhadap tantangan dan peluang pengembangan AI di Indonesia.

Kami berharap kajian ini dapat menjadi referensi strategis bagi para pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan, program, dan inisiatif pengembangan talenta AI di Indonesia. Sinergi antara pemerintah, akademisi, industri, dan masyarakat diharapkan dapat memperkuat ekosistem talenta AI yang inklusif, berdaya saing global, serta mampu mendukung terwujudnya visi transformasi digital nasional menuju Indonesia Emas 2045.

Akhir kata, kami menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan kajian ini. Semoga dokumen ini dapat memberikan manfaat nyata dalam mendorong pengembangan talenta AI Indonesia.

Said Mirza Pahlevi
Kepala Pusat Pengembangan Talenta Digital

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN 9
1.1. Latar Belakang 9
1.2. Struktur dan Alur Pembahasan 10

BAB II KEDAULATAN AI DALAM KONTEKS GLOBAL DAN NASIONAL 13
2.1. Definisi Konseptual Kedaulatan AI (AI *Sovereignty)* 14
2.2. Unsur – Unsur Kedaulatan AI 15
2.3. Hubungan dengan Kedaulatan Digital 26
2.4. Mengapa Kedaulatan AI Penting bagi Sebuah Negara 27
2.4.1. Kedaulatan AI sebagai Representasi Kedaulatan Data 27
2.4.2. Kedaulatan AI untuk Keamanan Nasional 28
2.4.3. Kedaulatan AI untuk Perlindungan Nilai dan Budaya Bangsa 29
2.4.4. Kedaulatan AI untuk Daya Saing Ekonomi 30
2.4.5. Kedaulatan AI untuk Pengambilan Keputusan yang Transparan dan Adil 31
2.4.6. Kedaulatan AI dan Geopolitik Teknologi 32
2.5. Pembelajaran dari Negara Lain 33
2.6. Kedaulatan AI dalam konteks Indonesia 44
2.6.1. Visi Indonesia Emas 2045 dan Agenda Nasional Transformasi Digital 44
2.6.2. Kondisi Yang Mendukung Kedaulatan AI Nasional 54
2.6.3. Tantangan 72

BAB III KONSEP DASAR DAN EKOSISTEM AI 86
3.1. Definisi dan Ruang Lingkup AI 86
3.1.1. AI: Konsep, Sejarah, dan Klasifikasi 86
3.1.2. Jenis-jenis AI 93
3.1.3. Generative AI dan Evolusi Model *Large Language Model* (LLM) 103
3.2. Infrastruktur Utama AI 114
3.3. Ekosistem Pendukung AI 121
3.4. Ekosistem AI Global dan Nasional: Studi Perbandingan 129
3.5. Tantangan dan Arah Pengembangan 130

BAB IV AI, PEREKONOMIAN, DAN TRANSFORMASI KETENAGAKERJAAN 131
4.1. AI sebagai Teknologi Disruptif dalam Ekonomi 131
4.2. Transformasi Ekonomi di Era AI 135
4.2.1. *Creative Destruction* dan Relevansinya di Era AI 136
4.2.2. Teori Pertumbuhan Neoklasik Solow dan Relevansinya di era AI 137
4.2.3. *Endogenous Growth Theory* 138
4.2.4. *General Purpose Technology* (GPT) 138
4.2.5. Bukti Empiris Dampak AI terhadap Perekonomian 139
4.2.6. Implikasi bagi Struktur Ekonomi dan Kebijakan 141
4.3. Transformasi Ketenagakerjaan di Era AI 142
4.4. Profesi Baru dan Profesi yang Makin Diminati di Era AI 154
4.5. Aplikasi AI di Berbagai Sektor 159
4.5.1. Adopsi AI di Sektor Ekonomi Digital 159
4.5.2. Adopsi AI di Sektor Pendidikan 162

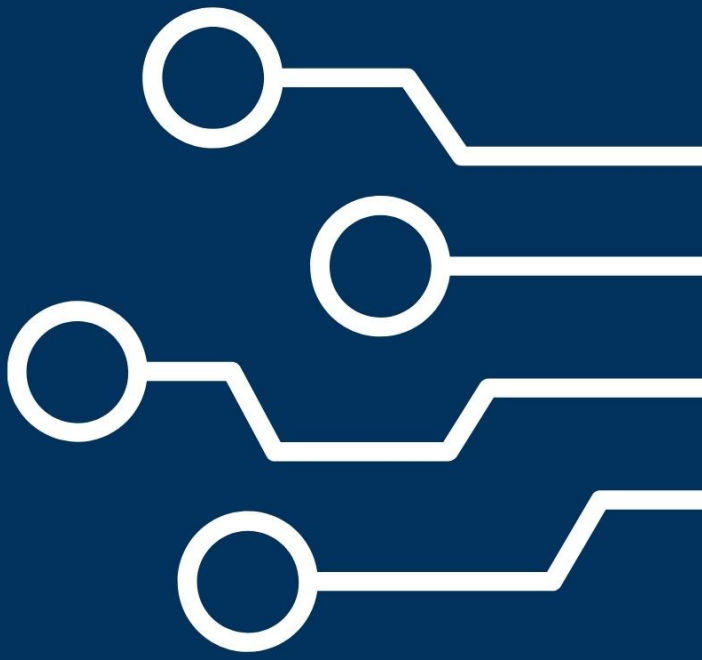
4.5.3. Adopsi AI di Sektor Kesehatan 164
4.5.4. Adopsi AI di Sektor Ekologi dan Lingkungan 166
4.5.5. AI di Sektor Ketahanan Pangan 167
4.6. Implikasi AI di Bidang Sosial dan Pendidikan 168
4.6.1. Risiko Ketimpangan Digital dan Eksklusi Tenaga Kerja 168
4.6.2. Peran Pendidikan Tinggi dan Lembaga Pelatihan dalam Memperkuat *Reinstatement Effect* . 170
4.6.3. Pentingnya Kebijakan *Upskilling* dan *Reskilling* Tenaga Kerja 172
4.6.4. Sebagai Peluang Menciptakan Pekerjaan dan Nilai Ekonomi Baru 174

BAB V DINAMIKA TALENTA AI: *SUPPLY*, *DEMAND*, DAN JENJANG KOMPETENSI 176
5.1. Permintaan Talenta AI 176
5.2. Ketersediaan Talenta AI 184
5.3. Peran Strategis Institusi Pemerintah dan Pendidikan Indonesia dalam Pengembangan Talenta AI . 187
5.3.1. Peran Strategis Institusi Pemerintah 188
5.3.2. Peran Strategis Institusi Pendidikan 192
5.4. Program Pengembangan Talenta AI di Indonesia 193
5.4.1. *Digital Talent Scholarship* 193
5.4.2. Program ElevAIte 196
5.4.3. Bangkit Academy 198
5.5. Peta Kompetensi dan Kurikulum 199
5.6. *Benchmarking* Program Sejenis di berbagai negara 211
5.6.1. Singapura: AI *Apprenticeship Programme* (AIAP) 211
5.6.2. Kanada: *Vector Institute for Artificial Intelligence* 213
5.6.3. India: IndiaAI *FutureSkills* 215
5.6.4. Samsung *Innovation Campus* (SIC) Vietnam 217
5.6.5. Jepang: AI *Data Centre Talent Development Programme* (AITDP) 218
5.6.6. Uni Emirat Arab: AI *Summer Camp* 219
5.6.7. Korea Selatan: AI *Talent Development Plan* 220
5.7. Jenjang Kompetensi Talenta AI 223
5.7.1. Jenjang Kompetensi Talenta AI dalam Literatur Global 224
5.7.2. Usulan Jenjang Kompetensi Talenta AI di Indonesia 235

BAB VI STRATEGI DAN DESAIN PELATIHAN DAN PENGEMBANGAN TALENTA AI 237
6.1. Strategi Pengembangan Talenta AI 237
6.2. Pendekatan Pengembangan Talenta AI 244
6.2.1. Jenjang Kompetensi Talenta AI 244
6.2.2. Materi Pelatihan 247
6.2.3. Metode Pembelajaran 253
6.2.4. Tutor Pelatihan Talenta AI 260
6.2.5. Waktu Pelaksanaan 265
6.2.6. Sarana dan Prasarana 270
6.3. Keuntungan dan Dampak Program 272
6.3.1. Kementerian Komunikasi dan Digital 272
6.3.2. Peserta 272
6.3.3. Perguruan Tinggi 274
6.3.4. Mitra Instansi/Industri 274
6.3.5. Masyarakat 275
6.4. Evaluasi dan Pengukuran Keberhasilan Program 276
6.4.1. Evaluasi Sumber daya/*Input* 277
6.4.2. Evaluasi Aktivitas 279
6.4.3. Indikator dan Evaluasi Keberhasilan Pada Tingkat *Output, Outcome*, dan *Impact* 280

BAB VII PENUTUP 282
7.1. Implikasi Strategis Perkembangan Teknologi AI bagi Indonesia 282
7.1.1. Perlunya Membangun Kedaulatan Digital dan Mengurangi Ketergantungan 283
7.1.2. Keberhasilan Ekonomi Digital Bergantung pada Penguatan Talenta AI 284
7.1.3. Transformasi Pemerintahan dan Pelayanan Publik 285
7.1.4. Pentingnya Kerangka Regulasi dan Tata Kelola AI yang Kuat 286
7.2. Peran Strategis Talenta AI bagi Indonesia 287
7.2.1. Fondasi Kedaulatan Digital 288
7.2.2. Penggerak Pertumbuhan Ekonomi di Era AI 288
7.2.3. Penentu Kesukesan Transformasi Pemerintahan dan Layanan Publik berbasis AI 289
7.2.4. Pilar Tata Kelola dan Etika AI 289
7.3. Rekomendasi Kebijakan untuk Pengembangan Talenta AI 290
7.3.1. Menetapkan Program Pengembangan Talenta AI sebagai Prioritas Nasional 290
7.3.2. Pengembangan Infrastruktur dan Pusat-Pusat Talenta AI Nasional 291
7.3.3. Modernisasi Kurikulum dan Model Pembelajaran Talenta AI 291
7.3.4. Insentif Retensi Talenta 292
7.3.5. Kolaborasi Pemerintah – Industri – Akademisi 294
7.3.6. Tata Kelola dan Etika AI sebagai Kurikulum Wajib 295
7.3.7. Kata Penutup 296

DAFTAR PUSTAKA 298



BAB 1
PENDAHULUAN



BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Artificial Intelligence (selanjutnya dalam buku ini disingkat AI) atau yang dikenal dalam istilah Bahasa Indonesia sebagai Kecerdasan Artifisial telah menjadi salah satu pendorong utama transformasi digital global. Kemajuannya tidak hanya mengubah cara industri beroperasi, tetapi juga memengaruhi dinamika geopolitik, ekonomi, ketenagakerjaan, kompetensi tenaga kerja, tata kelola pemerintahan, dan lain-lain. Negara yang mampu menguasai, memanfaatkan, dan mengembangkan AI akan memperoleh keunggulan strategis dalam produktivitas, inovasi, dan daya saing ekonomi (D. Acemoglu & Restrepo, 2019; Agrawal et al., 2022; Brynjolfsson & McAfee, 2014; Ozkaya & Demirhan, 2023; Tilovska-Kechedji, 2023). Sebaliknya, negara yang tertinggal akan menghadapi risiko ketergantungan teknologi, melebarnya kesenjangan, serta tergerusnya posisi dalam rantai nilai global.

Indonesia berada pada persimpangan penting. Di satu sisi, peluang pemanfaatan AI dalam berbagai sektor sangat besar. Di sisi lain, kesiapan talenta dan ekosistem pendukung AI masih menghadapi berbagai tantangan struktural. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengembangan talenta AI merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari strategi nasional untuk memastikan kedaulatan digital dan kemandirian teknologi. Tantangan tersebut, menurut (Halim et al., 2024; Prasetio et al., 2020; Safuan & Syafira, 2024; Wong-A-Foe, 2023; World Bank, 2025) termasuk namun tidak terbatas pada:

a) Kesenjangan antara kurikulum pendidikan talenta AI dan kebutuhan industri;
b) Keterbatasan jumlah serta kompetensi tenaga pengajar yang memenuhi standar keahlian AI;
c) Keterbatasan infrastruktur digital dan komputasi;
d) Rendahnya kompetensi dasar STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*);
e) Kurangnya akses pelatihan untuk *upskilling* dan *reskilling*;
f) Rendahnya belanja R&D pemerintah dan swasta.

Buku ini hadir untuk memberikan pemahaman komprehensif tentang pentingnya pembangunan talenta AI, mulai dari perspektif geopolitik, teknologi, ekonomi, ketenagakerjaan, tantangan *suply-demand* talenta AI, hingga ekosistem nasional. Buku ini juga membahas serta strategi konkret dan desain pelatihan untuk membangun kapasitas SDM bidang AI yang berkelanjutan.

1.2. Struktur dan Alur Pembahasan

Buku ini disusun secara runtut untuk menggambarkan urgensi dan strategi pembangunan talenta AI di Indonesia. Bab 1 berfungsi sebagai pendahuluan yang menjelaskan konteks, alasan penyusunan buku, serta alur keseluruhan pembahasan. Bab 2 hingga Bab 5 menguraikan alasan pentingnya pengembangan talenta AI dari berbagai sudut pandang, mulai dari kedaulatan teknologi, ekosistem dan infrastruktur AI, dampak ekonomi dan ketenagakerjaan, hingga dinamika *supply–demand* talenta. Setelah fondasi urgensi tersebut dijelaskan, Bab 6 menyajikan strategi dan desain pelatihan talenta AI yang komprehensif dan selaras dengan kebutuhan nasional. Terakhir, Bab 7 menutup dengan rangkuman serta arah masa depan pengembangan talenta AI di Indonesia.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membuka pembahasan dengan menjelaskan urgensi AI dalam transformasi digital nasional dan pentingnya pengembangan talenta AI nasional. Bab ini juga memperkenalkan ruang lingkup buku, alasan penulisannya, serta menjelaskan bagaimana setiap bab saling terkait untuk memberikan pemahaman menyeluruh mengenai strategi pembangunan talenta AI sebagai pilar utama kesiapan teknologi masa depan.

BAB 2 KEDAULATAN AI DALAM KONTEKS GLOBAL DAN NASIONAL

Membahas peta persaingan global AI, strategi negara-negara besar, risiko ketergantungan teknologi, serta pentingnya kedaulatan AI bagi Indonesia. Uraian ini memperlihatkan posisi Indonesia dalam dinamika persaingan global AI serta mengidentifikasi prioritas strategis yang perlu dipersiapkan untuk memperkuat kapasitas nasional.

BAB 3 KONSEP DASAR DAN EKOSISTEM AI

Menguraikan konsep dasar AI, jenis-jenis teknologi kunci dan infrastruktur penting AI. Bab ini juga menyoroti elemen-elemen utama ekosistem AI nasional—mulai dari riset dan inovasi, pengembangan talenta, hingga kesiapan infrastruktur dan data—sebagai fondasi penting untuk memperkuat daya saing Indonesia menuju Visi Indonesia Emas 2045.

BAB 4 AI, PEREKONOMIAN, DAN TRANSFORMASI KETENAGAKERJAAN

Menyajikan analisis mengenai bagaimana AI memengaruhi produktivitas, pertumbuhan ekonomi, struktur industri, serta perubahan kebutuhan kompetensi. Di sisi ketenagakerjaan,

bab ini mengulas potensi penciptaan pekerjaan baru, hilangnya sebagian jenis pekerjaan, dan risiko polarisasi tenaga kerja.

BAB 5 *SUPPLY* DAN *DEMAND* TALENTA AI

Bab ini mengulas dinamika permintaan dan pasokan talenta AI, termasuk meningkatnya kebutuhan tenaga ahli, kesiapan kurikulum perguruan tinggi, serta berbagai program pelatihan yang tersedia. Bagian ini juga menyoroti bagaimana negara-negara maju membangun talenta melalui pelatihan yang terstruktur di berbagai jenjang.

BAB 6 STRATEGI DAN DESAIN PELATIHAN TALENTA AI

Menawarkan pendekatan dan model strategi pengembangan talenta AI yang mencakup kurikulum, metode pelatihan, kemitraan industri, skema peningkatan kapasitas berkelanjutan, dan desain program yang responsif terhadap kebutuhan ekonomi digital Indonesia.

BAB 7 PENUTUP

Merangkum temuan utama, menegaskan pentingnya pembangunan talenta AI sebagai prioritas nasional, dan memberikan arahan masa depan yang dapat menjadi titik pijak bagi pembuat kebijakan, akademisi, dan praktisi.

BAB 2
KEDAULATAN AI DALAM KONTEKS GLOBAL DAN NASIONAL

BAB II
KEDAULATAN AI DALAM KONTEKS GLOBAL DAN NASIONAL

Dalam dua dekade terakhir *Artificial Intelligence* (AI) atau Kecerdasan Artifisial telah menjadi infrastruktur dasar dari peradaban digital modern. AI kini hadir dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Di bidang pendidikan, teknologi ini mendukung pembelajaran kolaboratif (Kovari, 2025). Dalam sektor kesehatan, AI membantu diagnosis medis berbasis citra (Pineda et al., 2026). Di ranah transportasi dan infrastruktur, AI digunakan untuk tata kelola transportasi cerdas (Sinha et al., 2023), pengelolaan energi (Dubey et al., 2026), dan keamanan siber (Zaheer & Singh, 2024). Bahkan dalam pemerintahan, AI telah masuk ke dalam proses pengambilan keputusan kebijakan publik (De Falco & Romeo, 2026). Teknologi ini telah mengubah cara manusia bekerja, berkomunikasi, bahkan berpikir tentang dunia dan dirinya. Namun, di balik efisiensi dan inovasi yang ditawarkan, muncul kekhawatiran mendalam. Pertanyaan kritis mulai bermunculan: Siapa yang mengendalikan teknologi tersebut? Siapa yang merancang dan membuat arsitektur model AI? Di mana data disimpan? Siapa yang menentukan algoritma yang digunakan? dan Apa nilai-nilai yang tertanam di dalamnya?

Pertanyaan-pertanyaan inilah yang melahirkan konsep kedaulatan AI (*AI sovereignty*). Sebagaimana negara di era modern mempertahankan kedaulatan atas wilayah, sumber daya alam, dan kebijakan ekonomi, maka di era digital negara juga dituntut memiliki kendali atas sistem dan infrastruktur AI yang menopang kehidupan masyarakatnya. Gohwong (2026) bahkan menyebut era saat ini

sebagai periode “perang dingin LLM (*Large Language Model*)”, yang menandai kompetisi global dalam penguasaan sistem AI. LLM merupakan inti dari model AI yang dilatih untuk dapat berfikir dan menganalisis seperti manusia. Dalam lanskap kompetitif ini, kedaulatan AI menjadi kebutuhan strategis bagi masing-masing negara. Tanpa kedaulatan AI, negara dapat kehilangan kemampuan untuk melindungi keamanan nasional, sulit menentukan arah pembangunan teknologi, serta sulit memastikan keadilan dan representasi budaya di era digital (Mügge, 2024).

2.1. Definisi Konseptual Kedaulatan AI (AI *Sovereignty)*

Menurut Dale (2025), kedaulatan mengacu pada kemampuan sebuah negara dalam mengelola dirinya sendiri tanpa ada intervensi eksternal. Sedangkan menurut Roberts (2024a), dalam konteks digital, kedaulatan mengacu pada dua hal yaitu penegasan akan kekuasaan (*power assertion*) dan kontrol legitimasi (*legitimate control*). Dalam konteks AI, menurut Dale (2025) kedaulatan AI menunjukkan kemampuan suatu negara untuk secara mandiri mengembangkan teknologi AI menggunakan infrastruktur domestik, data lokal dan sumber daya manusia yang bebas dari ketergantungan dengan platform negara atau korporasi asing (Dale, 2025a). Selanjutnya Dale mengungkapkan bahwa kedaulatan yang hakiki adalah ketika sebuah negara mampu mengontrol secara penuh siklus hidup AI, mulai dari mengumpulkan data, dan melatih model hingga penerapan dan tata kelola sistem AI. Sementara menurut European Commission (Mügge, 2024), kedaulatan AI ini mencakup kemampuan negara untuk “memastikan bahwa sistem AI dikembangkan dan digunakan dalam kerangka hukum, nilai, dan prinsip yang sesuai dengan konstitusi dan norma masyarakat setempat”. Dengan kata lain, hal ini bukan sekadar kemampuan teknis, tetapi juga bentuk kedaulatan normatif dan etis.

Sedangkan Xue & Pang (2022) dan Dale (2025a) mengindikasikan bahwa kedaulatan AI berarti mengembalikan otoritas moral dan politik atas infrastruktur algoritmik kepada komunitas politik nasional, bukan hanya kepada korporasi global. Istilah kedaulatan AI sendiri mulai mengemuka pada tahun 2020-an khususnya di Eropa, dengan fokus pada kedaulatan digital dan keamanan data. Konsep kedaulatan AI ini pertama kali diangkat oleh Jensen yang merupakan CEO Nvidia, dan kemudian menjadi gagasan baru diseluruh dunia (Dale, 2025). Model-model AI besar di dunia seperti GPT, Gemini, atau Claude dikendalikan oleh segelintir perusahaan multinasional, kedaulatan AI menjadi pendekatan bagi negara memastikan bahwa sistem-sistem tersebut tidak berubah menjadi kekuatan di luar kendali demokratis.

Dalam konteks Indonesia, makna kedaulatan AI selaras dengan visi kemandirian teknologi yang tertuang dalam Strategi Nasional Kecerdasan Artifisial 2020–2045 (Bappenas, 2020), di mana penguasaan data dan teknologi digital ditempatkan sebagai pilar utama menuju “Indonesia Emas 2045”. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa yang dimaksud Kedaulatan AI (*AI sovereignty*) didefinisikan sebagai kemampuan suatu negara untuk secara mandiri mengembangkan, menggunakan, mengendalikan, mengatur, dan mengarahkan pengembangan serta penggunaan teknologi AI dalam batas yurisdiksinya, sesuai dengan kepentingan, nilai, dan keamanan nasionalnya tanpa intervensi dari pihak asing, baik pada infrastruktur, data, SDM, tata kelola dan juga nilai-nilai etika yang berlaku di negara tersebut.

2.2. Unsur – Unsur Kedaulatan AI

Berdasarkan definisi Kedaulatan AI yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, dapat diidentifikasi beberapa unsur-unsur utama yang dibutuhkan dan yang saling terkait untuk mencapai sebuah kedaulatan AI sesungguhnya. Dengan demikian, unsur-unsur kedaulatan AI dapat dijabarkan sebagai berikut:

a) Kedaulatan Data (*Data Sovereignty*)

Data adalah bahan bakar utama bagi AI. Oleh karena itu, negara perlu memastikan bahwa data warga negaranya, baik data pribadi, data publik, maupun data strategis dikumpulkan, disimpan, dan diolah dalam kerangka hukum nasional. Lokasi pengumpulan, penyimpanan, dan pengolahan data merupakan lapisan fundamental yang perlu diperhatikan, sebab menyerahkan kendali atas aspek ini dianggap setara dengan menyerahkan kedaulatannya sistem (Dale, 2025a). Menurut Couldry dan Mejias (2019), eksploitasi data oleh entitas global tanpa pembagian manfaat yang adil menciptakan bentuk baru "kolonialisme data". Dalam konteks biologi, bahkan Arita (2025) mengatakan, bentuk keterbukaan data dapat membantu terjadinya bio terorisme. Hal ini menegaskan bahwa kedaulatan data pada era sistem AI sangat krusial di berbagai bidang.

b) Kedaulatan Infrastruktur (*Infrastructure Sovereignty*)

Pengembangan AI menuntut kekuatan komputasi besar, termasuk *cloud computing* atau komputasi awan, *graphics processing unit* atau unit pemrosesan grafis (selanjutnya disingkat GPU), dan superkomputer. Tanpa ketersediaan infrastruktur nasional yang memadai, suatu negara akan rentan pada ketergantungan pada penyedia asing. Bondarenko et al. (2025) menyatakan bahwa mengurangi ketergantungan terhadap teknologi asing dan mengembangkan kapasitas riset domestik untuk meningkatkan inovasi menjadi strategi prioritas berbagai negara. Pada saat ini, Amerika Serikat (NVIDIA) dan Tiongkok (Huawei) menjadi pemeran utama dalam pemenuhan kebutuhan GPU untuk AI secara global. NVIDIA mendominasi sekitar 80% pasar global sedangkan Huawei menguasai sekitar 75% pasar domestik (Dale, 2025a). Sementara itu, untuk penyedia pusat data (*data center*),

Dale (2025a) menyebutkan bahwa pasar global didominasi oleh Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud ditambah beberapa pemain kecil seperti Alibaba Cloud dan Tencent Cloud yang yang memiliki pangsa pasar signifikan di Asia-Pasifik. OECD (2024) menyoroti bahwa ketergantungan ini berpotensi meningkatkan risiko keamanan dan membatasi kemampuan negara dalam mengembangkan inovasi lokal. Oleh karena itu, kedaulatan infrastruktur sangat penting, tidak hanya kendali penuh terhadap infrastruktur fisik, namun juga termasuk chips, *firmware* dan juga *software stack* (Issakova, 2025).

c) Kedaulatan Algoritma dan Model (*Model & Algorithm Sovereignty*)

Penguasaan model AI—mulai dari *machine learning frameworks* hingga model bahasa berbasis AI Generatif termasuk *large language models* (LLM)—menjadi simbol kemandirian intelektual. Era saat ini bahkan kerap disebut sebagai "perang dingin LLM", dimana masing-masing negara mengimplementasikan berbagai kebijakan strategis dalam rangka memperkuat kedaulatan AI (Gohwong, 2026). Beberapa LLM dari berbagai negara telah hadir di pasar global, yang saat ini masih didominasi produknya oleh Amerika Serikat dan Tiongkok, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.1.

Meskipun beberapa studi menunjukkan bahwa sejumlah LLM bersifat netral terhadap etnis, ras, dan *gender*s—seperti ChatGPT 4.0 dan Gemini (Young et al., 2025), mayoritas penelitian justru menemukan sebaliknya. Studi terhadap ChatGPT 4.0 mengungkapkan bahwa model ini tidak merepresentasikan karakter psikologis masyarakat global secara rata-rata, melainkan lebih mencerminkan profil masyarakat WEIRD *Western* (Barat), *Educated* (Berpendidikan), *Industrialized* (Terindustrialisasi), *Rich* (Kaya), dan *Democratic* (Demokratis) (Atari et al., 2023a).

Tabel 2.1 Model LLM dari Berbagai Negara

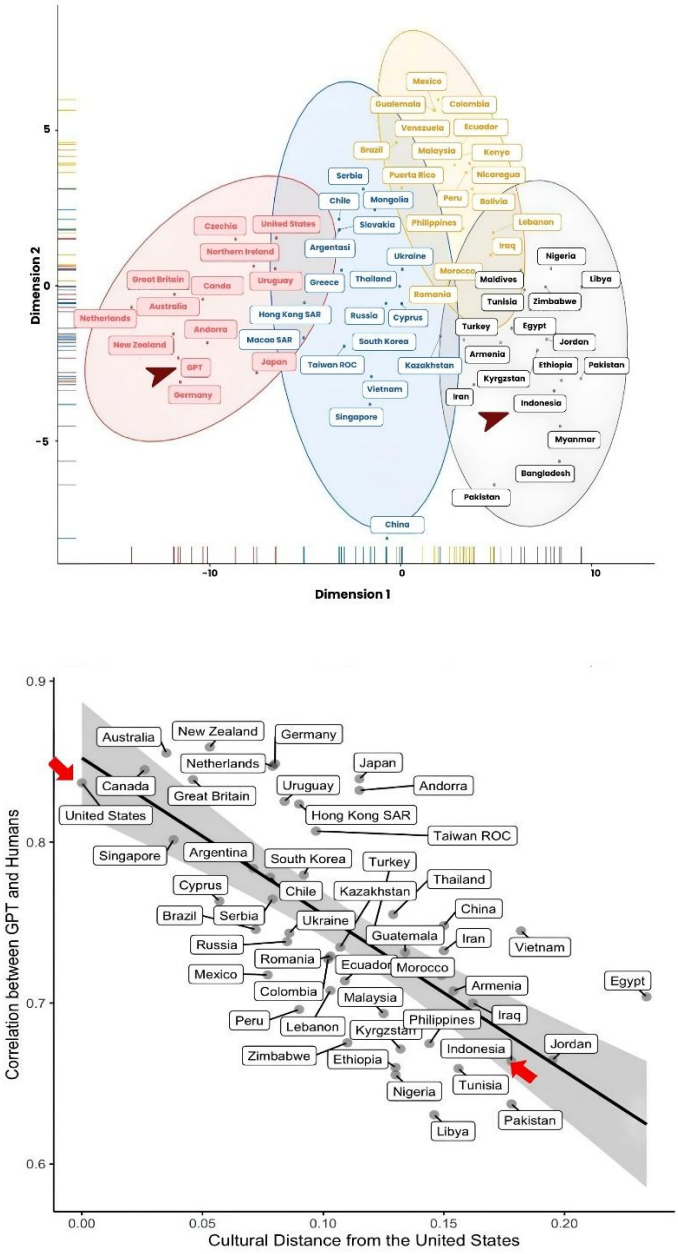
Nama Model	*Developer*	Negara	Keterangan
GPT (Generative Pre-trained Transformer)	OpenAI	Amerika Serikat	Seri paling populer (GPT-3, GPT-4, GPT-5). Digunakan di ChatGPT dan Copilot. Fokus pada kemampuan multimodal dan *reasoning* tinggi.
Gemini (sebelumnya Bard)	Google DeepMind		Terintegrasi dengan ekosistem Google, mendukung teks, gambar, suara, dan kode.
Claude	Anthropic		Fokus pada keamanan (*constitutional AI*), etika, dan keterbacaan model.
LLaMA (LLM Meta AI)	Meta (Facebook)		*Open-source* dan banyak digunakan untuk riset. Versi terbaru: LLaMA 3 (2024).
Grok	xAI (Elon Musk)		Terintegrasi dengan platform X (Twitter) dan lebih kontekstual dan berciri humor khas.
Gemma	Google		Versi *open-source* ringan dari Gemini, cocok untuk pengembang independen.
Mistral	Mistral AI	Perancis	Model ringan dan efisien (Mistral 7B, Mixtral). *Open-weight* dengan performa tinggi.
Falcon	Technology Innovation Institute	Uni Emirat Arab	*Open-source*, mendukung bahasa Arab dan Inggris.
ERNIE Bot	Baidu	Tiongkok	Fokus pada pemahaman bahasa Mandarin dan pengetahuan faktual terstruktur.
DeepSeek	DeepSeek		• Menekankan biaya pelatihan rendah dan efisiensi tinggi dibanding pesaing besar.

Nama Model	*Developer*	Negara	Keterangan
			• Multibahasa (Inggris & Mandarin) dan target aplikasi luas seperti pemrograman, *reasoning*, matematika. • Banyak model *"open-weight"* / *open-source* atau setidak-nya menyediakan akses riset
Tongyi Qianwen	Alibaba Cloud		• LLM yang diintegrasikan dalam layanan bisnis Alibaba (AliCloud, Taobao, DingTalk).
Qwen	Alibaba Cloud		• LLM generasi lanjutan dari Tongyi Qianwen. Dirancang untuk multibahasa (Mandarin–Inggris) dan *open-weight*. • Seri: Qwen-1.5, Qwen-2, dan Qwen-2.5 (2024). • Banyak digunakan di riset Asia dan diadopsi untuk pengembangan model lokal (termasuk di Asia Tenggara).
Yi Model Series	01.AI		*Open-source* global, performa tinggi di bahasa Mandarin dan Inggris.
Command R+	Cohere	Kanada	Fokus pada aplikasi bisnis: pencarian semantik dan ringkasan teks.
Jais	MBZUAI & Inception	Uni Emirat Arab	Kolaborasi akademik untuk model bilingual (Arab–Inggris).
Luminous	Aleph Alpha	Jerman	Fokus pada keamanan data, interpretabilitas, dan regulasi AI Eropa.

Gambaran kedekatan karakter psikologis ChatGPT 4.0 dan beberapa negara lainnya, termasuk Indonesia ditunjukkan pada

Gambar 2.1. Berdasarkan infomrasi tersebut, sejumlah LLM menunjukkan karakter yang paling mendekati masyarakat Amerika Serikat, diikuti oleh Uruguay, Kanada, Inggris, dan Selandia Baru (Atari et al., 2023a). Hal ini menunjukkan bahwa karakter sosial budaya ChatGPT 4.0 memiliki jarak yang sangat jauh jika dibandingkan dengan Indonesia. Atari et al. (2023a) juga menemukan bahwa semakin dekat nilai-nilai sosial budaya masyarakat suatu negara terhadap Amerika Serikat, maka semakin mirip kecenderungan psikologisnya dengan ChatGPT. Hasil penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa kedaulatan algoritma dan model kecerdasan artifisial memiliki peran penting dalam menjaga kedaulatan budaya suatu masyarakat. Dengan demikian, negara yang tidak mengembangkan model AI secara mandiri berisiko terjebak dalam bias budaya serta nilai-nilai yang diimpor dari luar (Ormond, 2025).

Selain temuan mengenai perbedaan karakter budaya pada ChatGPT, LLM lain juga teridentifikasi menunjukkan berbagai bentuk bias, meliputi bias gender, etnis, ras, serta bias dalam pilihan moral yang dipengaruhi oleh kewarganegaraan atau gender. Haque & Siddique (2026) secara spesifik menyatakan bahwa LLM dapat memunculkan dan bahkan memperkuat bias terhadap kelompok demografis tertentu yang tercermin dalam data pelatihan, berpotensi memicu rekomendasi yang tidak akurat dan berbahaya, terutama dalam konteks kesehatan. Implikasi ini menegaskan pentingnya pengembangan model AI yang inklusif dan representatif, serta perlunya pengawasan yang ketat terhadap penggunaan LLM dalam layanan publik yang menyangkut hajat hidup masyarakat luas.



Gambar 2.1 Plot Dua Dimensi Perbedaan Kluster Budaya (1); *Scatterplot* & korelasi Antara ChatGpt-Manusia dan Jarak Budaya dibanding Amerika Serikat (2)
Sumber: (Atari et al., 2023a)

Sejalan dengan temuan tersebut, Huang et al. (2024) memberikan bukti empiris bahwa model LLM seperti Llama dan Yi menunjukkan bias tidak hanya pada aspek demografis—khususnya gender—tetapi juga bias ras dalam proses penyusunan Rekam Medis Elektronik (RME). Lebih lanjut, penelitian oleh Hatemo et al. (2025) menemukan bahwa karakteristik demografis dan kewarganegaraan juga dapat memengaruhi keputusan moral pada beberapa LLM, seperti Llama, Mistral, dan Qwen. Secara keseluruhan, temuan-temuan ini mengindikasikan bahwa bias dalam LLM bersifat multidimensi, mencakup aspek gender, ras, hingga nilai-nilai moral yang berakar pada latar belakang budaya dan kewarganegaraan.

Penelitian Zhou dan Zhang (2024) terhadap ChatGPT menunjukkan adanya inkonsistensi pada pengetahuan dan sikap berkaitan dengan isu politik di China (Tiongkok) ketika menggunakan bahasa yang berbeda. Ketika menggunakan bahasa China (Tiongkok), ChatGPT menunjukkan sedikit sikap negatif sedangkan ketika menggunakan bahasa Inggris, sikap ChatGPT menjadi sangat kritis. Studi ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Jonnala et al (2025) dan Urman & Makhortykh (2025) yang menunjukkan bukti empiris bias geopolitik pada LLM. Jonnala et al. (2025 menunjukkan bukti empiris adanya bias dan *framing* geopolitik pada tiga LLM yang diuji, yaitu ChatGPT 4.0 (USA), DeepSeek R1 (China) dan Mistral (Uni Eropa). Sedangkan Urman & Makhortykh (2025) menguji ChatGPT (3.5, 4, 4.0), Bing Chat dan Bard/Gemini dan menunjukkan bahwa ketiganya memberikan informasi politis yang biasa dan bahkan informasi yang salah (*false information*), berkaitan dengan situasi politik di Russia dan Ukraina. Pada Tabel 2.2 memuat ringkasan berbagai hasil penelitian yang menunjukkan berbagai bukti bentuk bias yang diakibatkan oleh LLM.

Tabel 2.2 Temuan Empiris Beberapa Penelitian terkait Bias pada LLM dalam beberapa Karakteristik Manusia

Nama Model	Seri Model	Jenis Bias yang ditemukan	Referensi
GPT (Generative Pre-trained Transformer)	GPT 4.0	Bias karakter Budaya berdasarkan kewarganegaraan (*nationality*)	Attari et al., (2023)
		Bias *framing* geopolitik	Jonnala et al. (2025); Urman & Makhortykh (2025); Zhou dan Zhang (2024)
LLaMA (*Large Language Model* Meta AI)	Llama 2 - 13 B	• Bias *gender* terkait prevalensi penyakit • Bias Ras pada sebagian kecil penyakit (overpresentasi pada populasi kulit hitam atau kulit putih dan kurang terwakili (*underrepresentation*) pada kelompok Asia dan Hispanik	Huang et al., (2025)
	/Llama-3.1-8B	• Bias karakteristik moral (*moral choice*) berdasarkan kewarganegaraan – level *intermediate* • Bias karakteristik moral (*moral choice*) berdasarkan *gender*	Hatemo et al., 2025
Mistral	Ministral-8B-Instruct-2410	• Sangat Bias karakteristik moral (*moral choice*) berdasarkan kewarganegaraan • Bias *framing* geopolitik	Hatemo et al., 2025 Jonnala et al., 2025

Nama Model	Seri Model	Jenis Bias yang ditemukan	Referensi
Qwen (Alibaba Group / Alibaba Cloud)	Qwen2.5-7B-Instruct	• Ada bias *moral choice* berdasarkan kewarganegaraan, namun lebih mendekati rata-rata manusia • Ditemukan bias *gender*, berdasarkan kewarganegaraan terkait *moral choice*	Hatemo et al., 2025
DeepSeek	DeepSeek R1	Bias *framing* Geopolitik	Jonnala et al., 2025
Bing Chat	-	Bias politik dan *false information*	Urman & Makhortykh (2025)
Bard/Gemini	-		

Berdasarkan Temuan pada Tabel 2.2 diatas menunjukkan bahwa model AI belum sepenuhnya mampu memberikan porsi yang cukup adil untuk berbagai tolok ukur karakter Masyarakat dan juga negara. Keadilan ini terutama belum tercapai pada faktor demografi, etnis, ras, dan budaya, khususnya untuk masyarakat minoritas dalam lingkup global. Hal ini dapat berisiko adanya pelanggaran etika, ketidakadilan dan merusak kepercayaan pada model AI, terutama saat diterapkan dalam proses pengambilan keputusan di sektor-sektor krusial. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi mitigasi untuk mengurangi potensi bias. Salah satu pendekatan yang relevan adalah memastikan kedaulatan negara dalam mengembangkan model AI yang mampu mencerminkan karakteristik masyarakat lokal, sehingga kinerja dan keandalannya dapat ditingkatkan (Haque & Siddique, 2026; Hatemo et al., 2025).

d. Kedaulatan Regulasi dan Etika (*Regulation & Ethics Sovereignty*)

Pesatnya perkembangan AI menyebabkan kerangka kerja tata kelola etika semakin penting, khususnya karena sistem AI menjadi bagian integral dari berbagai sektor publik (Jonathan & Han, 2026). Meskipun sistem AI generatif memiliki potensi transformatif, penggunaanya menimbulkan tantangan etika yang signifikan, seperti bias, misinformasi, kurangnya transparansi, dan penyalahgunaan kekayaan intelektual (Rodrigues et al., 2026). Tantangan ini berpotensi menimbulkan diskriminasi dan pelanggaran privasi (Jonathan & Han, 2026; Young et al., 2025). Oleh karena itu, setiap negara perlu membangun kerangka etika dan hukum yang mencerminkan nilai-nilai nasional. UNESCO (2021) dalam *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence* menegaskan bahwa negara memiliki tanggung jawab moral untuk memastikan penggunaan AI yang adil, transparan, dan berpusat pada manusia.

e. Kedaulatan Talenta dan Kapasitas Riset (*Talent & Research Capacity Sovereignty*)

Untuk mencapai kedaulatan AI dari seluruh lini, dibutuhkan pula kedaulatan talenta yang berperan vital untuk memastikan AI yang berdaulat dan terpercaya (Mügge, 2024; Ndiaye, 2025). Talenta AI yang ahli merupakan sumber daya langka dan sangat dibutuhkan oleh semua negara. Menyadari urgensi ini, Pusat Riset dan Pelatihan Talenta menjadi salah satu bagian penting dalam membangun ekosistem AI yang terpercaya di Afrika (Ndiaye, 2025). Bahkan talenta AI menjadi salah satu dari empat tantangan utama dalam strategi kedaulatan AI di Mesir (Zimba et al., 2025). Sementara itu, kapasitas riset AI berperan penting dalam mendorong inovasi dan meningkatkan produktivitas, sehingga memungkinkan sebuah negara bersaing di tingkat global. Tanpa

sumber daya manusia dan lembaga riset yang kompeten, negara akan terus menjadi pengguna pasif. Kedaulatan AI juga berarti kemampuan untuk membangun kapasitas riset dan inovasi secara mandiri. Berdasarkan uraian diatas, dapat digambarkan unsur-unsur kedaulatan AI seperti yang digambarkan pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Unsur - Unsur Kedaulatan AI

2.3. Hubungan dengan Kedaulatan Digital

Kedaulatan digital adalah payung besar yang mencakup kontrol terhadap infrastruktur digital, data, dan teknologi informasi. Kedaulatan AI merupakan dimensi lebih spesifik yang fokus pada teknologi berbasis pembelajaran mesin dan pengambilan keputusan otomatis. Jika kedaulatan digital memastikan kendali atas platform dan data, maka kedaulatan AI memastikan kendali atas logika pengambilan keputusan dan nilai-nilai yang dioperasionalkan oleh algoritma yang dilakukan melalui kendali atas data, infrastruktur, model, talenta, regulasi dan etika. Keduanya saling terkait tanpa kedaulatan digital, kedaulatan AI tidak mungkin dicapai; namun memiliki infrastruktur

digital saja tanpa kemampuan memahami dan mengatur logika AI juga tidak cukup.

2.4. Mengapa Kedaulatan AI Penting bagi Sebuah Negara

Kedaulatan AI menjadi isu yang kian krusial karena teknologi ini memengaruhi berbagai aspek strategis suatu negara, mulai dari pengelolaan data, keamanan nasional, perlindungan nilai budaya, daya saing ekonomi, hingga transparansi pengambilan keputusan. Lebih lanjut, AI kini berada di pusat dinamika geopolitik global, yang secara fundamental menuntut setiap negara memiliki otonomi teknologi. Oleh sebab itu, pembahasan berikut akan menguraikan enam dimensi utama yang menjelaskan mengapa kedaulatan AI merupakan kebutuhan mendesak bagi negara modern.

2.4.1. Kedaulatan AI sebagai Representasi Kedaulatan Data

Data merupakan sumber daya strategis abad ke-21. Negara yang mampu menguasai data berarti menguasai bahan mentah utama bagi inovasi AI. Namun, banyak negara berkembang hanya berperan sebagai pemasok data bagi perusahaan global tanpa mendapatkan nilai tambah. Couldry dan Mejias (2019) menyebut fenomena ini sebagai "*data colonialism*", yaitu kondisi ketika entitas global mengekstraksi data masyarakat lokal untuk memperkaya model dan bisnis mereka, sementara negara sumber kehilangan kontrol maupun akses terhadap hasilnya.

Kedaulatan AI menuntut bahwa data warga negara harus dikelola sesuai hukum nasional dan digunakan untuk kepentingan masyarakat itu sendiri. Dalam konteks Indonesia, kebijakan Satu Data Indonesia dan pengembangan Pusat Data Nasional adalah langkah awal menuju penguatan kontrol atas data domestik.

Namun, agar kedaulatan AI benar-benar tercapai, Indonesia harus memastikan bahwa data yang dikumpulkan akan digunakan untuk melatih model AI nasional yang berorientasi pada kebutuhan lokal, bukan hanya untuk melengkapi model global yang tidak selalu memberikan manfaat langsung bagi masyarakat.

2.4.2. Kedaulatan AI untuk Keamanan Nasional

AI kini menjadi bagian dari infrastruktur kritis negara. Mulai dari sistem pertahanan siber, analisis intelijen, hingga layanan publik digital, teknologi ini digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan penting yang berdampak pada keamanan nasional. Ketika sistem-sistem tersebut dikembangkan atau dioperasikan oleh entitas asing, negara menghadapi risiko kehilangan kendali atas informasi strategis.

Sebagaimana ditekankan oleh Atlantic Council, keamanan nasional merupakan salah satu tujuan utama beberapa negara dalam mencapai kedaulatan AI (Ray, Trisha, 2025). Beberapa negara seperti Tiongkok dan Rusia menekankan pada kontrol ideologi dan keamanan siber dalam strategi kebijakan kedaulatan AI mereka (Gohwong, 2026). Ketika AI diterapkan pada sektor yang berkaitan dengan infrastruktur vital, militer, dan fungsi lain yang krusial bagi keamanan nasional, maka diperlukan perlindungan tambahan terhadap gangguan. Dengan AI yang berdaulat, kontrol ideologi dapat diwujudkan melalui pengendalian informasi strategis yang berpengaruh pada keamanan nasional. Sebaliknya, apabila kedaulatan AI tidak tercapai—di mana teknologi, infrastruktur, model dan algoritma AI dikendalikan oleh penyedia luar negeri, maka potensi manipulasi informasi atau propaganda akan meningkat sehingga pengendalian informasi strategis menjadi sulit dilakukan.

Bagi Indonesia, yang memiliki kepentingan besar terhadap keamanan data kependudukan, infrastruktur kesehatan nasional, dan layanan

publik digital (SPBE, GovTech), risiko ini sangat relevan. Membangun sistem AI nasional bukan hanya soal efisiensi birokrasi, tetapi juga soal pertahanan siber dan kedaulatan negara.

2.4.3. Kedaulatan AI untuk Perlindungan Nilai dan Budaya Bangsa

Berdasarkan data empiris dari penelitian Atari et al. (2023), Hatemo et al. (2025) dan Huang et al. (2025), dapat disimpulkan bahwa AI tidak netral secara moral, budaya, etnis dan *gender*. Model bahasa besar (LLM) seperti ChatGPT atau Gemini berasal dari negara barat sehingga cenderung merepresentasikan nilai-nilai negara-negara Barat. Akibatnya, nilai, ekspresi, dan norma sosial dari negara non-Barat sering kali tidak terwakili secara adil. Hal serupa juga ditemukan pada model lain seperti Mistral, Llama dan Qwen, yang membawa karakter budaya negara pengembangnya, sehingga tidak mampu sepenuhnya mencerminkan konteks budaya negara lain yang memiliki karakteristik berbeda (Hatemo et al., 2025; Huang et al., 2025).

Bagi negara seperti Indonesia, yang memiliki keragaman bahasa dan budaya yang sangat luas, hal ini bisa berdampak besar. AI yang dikembangkan secara lokal dapat berpotensi merefleksikan nilai-nilai Pancasila, kebhinekaan, dan etika sosial Indonesia. Tanpa pengembangan model lokal yang memahami konteks Indonesia, AI yang digunakan dalam layanan publik atau pendidikan berisiko salah menafsirkan bahasa daerah, keliru memahami maksud pengguna atau bahkan memperkuat bias sosial, moral dan budaya yang berpotensi memunculkan ketidakadilan, pelanggaran etika, serta rendahnya tingkat kepercayaan terhadap AI.

Studi oleh Birhane (2021) dalam *Patterns*, Ndiaye (2025) dalam *Trustworthy AI* dan Ormond (2025), menekankan pentingnya

pendekatan "*relational ethics*"—yaitu memastikan AI dikembangkan dengan memahami relasi sosial dan nilai-nilai lokal. Dalam kerangka ini, kedaulatan AI menjadi sarana untuk melestarikan identitas budaya di dunia digital. Dengan mengembangkan model lokal berbasis data dan bahasa Indonesia, pemerintah dapat memastikan bahwa AI berfungsi memperkuat identitas nasional, bukan sekadar mereplikasi paradigma budaya asing.

2.4.4. Kedaulatan AI untuk Daya Saing Ekonomi

Penguasaan teknologi merupakan bentuk modern dari penguasaan alat produksi dalam ekonomi digital. Senada dengan hal tersebut, AI telah menjadi salah satu penggerak utama ekonomi global. Chui et al. (2023) memperkirakan bahwa kontribusi AI terhadap ekonomi dunia dapat mencapai USD 15 triliun pada 2030. Negara yang hanya menjadi konsumen AI, berisiko kehilangan potensi nilai ekonomi luar biasa ini.

Kedaulatan AI berarti kemampuan untuk tidak hanya menggunakan, tetapi juga memproduksi teknologi AI, membangun industri lokal, startup, dan ekosistem riset yang mampu menghasilkan nilai ekonomi untuk meningkatkan kemampuan daya saing ekonomi (Mügge, 2024; Dale, 2025). Dalam konteks Indonesia, kedaulatan AI membuka peluang untuk memperkuat ekonomi digital nasional. Misalnya, pengembangan model bahasa lokal untuk sektor publik dapat menghemat biaya lisensi perangkat lunak asing, sekaligus menciptakan lapangan kerja baru di bidang sains data, linguistik komputasional, dan keamanan siber.

Selain memberikan manfaat ekonomi langsung, penguasaan AI nasional juga akan mendukung efisiensi birokrasi, mempercepat transformasi digital di berbagai sektor publik, dan menciptakan

lapangan kerja baru di bidang sains data dan komputasi. Dengan demikian, kedaulatan AI bukan semata kebutuhan teknis, tetapi investasi strategis untuk membangun ketahanan ekonomi dan sosial jangka panjang.

2.4.5. Kedaulatan AI untuk Pengambilan Keputusan yang Transparan dan Adil

AI kini banyak digunakan dalam pengambilan keputusan administratif, seperti penyaluran bantuan sosial, penilaian risiko kriminal, atau seleksi kerja. Namun, tanpa kontrol nasional dan regulasi etis yang memadai, sistem ini dapat menjadi "*black box*" yang tidak transparan. Kedaulatan AI memberikan negara kemampuan untuk memastikan bahwa algoritma publik dapat diaudit, dijelaskan, dan dipertanggungjawabkan sesuai prinsip keadilan sosial dan hukum nasional.

Kedaulatan AI adalah prasyarat bagi *trustworthy AI*, dimana AI dapat dipercaya karena dikembangkan dalam kerangka etika yang diatur oleh otoritas publik, bukan semata logika korporasi atau bahkan standar global yang dikuasai pihak asing (European Commission, 2021; Dale, 2025). Ketika pihak asing lebih dominan dalam menguasai AI, maka transparansi, akuntabilitas dan keadilan bagi publik di negara tersebut mungkin akan terabaikan (Dale, 2025). AI hanya dapat menjadi *trustworthy* apabila data dikelola dengan baik sehingga memberikan manfaat yang sesuai bagi masyarakat lokal (Ruttkamp-Bloem, Emma, 2025). Di Indonesia, sebagai negara yang menjunjung tinggi prinsip demokrasi dan keadilan sosial berdasarkan konstitusi dan Pancasila, pengendalian etis terhadap teknologi pengambilan keputusan otomatis (*Automated Decision-Making*/ADM) menjadi fundamental. Hal ini krusial untuk memastikan bahwa implementasi AI tidak mencederai nilai-nilai dasar bangsa, melainkan justru memperkuat keadilan, transparansi, dan akuntabilitas publik.

2.4.6. Kedaulatan AI dan Geopolitik Teknologi

Kecerdasan AI juga merupakan medan baru dalam kompetisi geopolitik. Negara-negara adidaya seperti Amerika Serikat, Tiongkok, dan Uni Eropa berlomba-lomba untuk menetapkan standar, menguasai rantai pasokan *chip*, dan mendominasi pasar AI global. Dalam dinamika ini, negara-negara berkembang berisiko terjebak sebagai pengguna pasif dan menjadi arena perebutan pengaruh teknologi. Menurut laporan *OECD Digital Economy Outlook* (2023), ketimpangan dalam kapasitas riset AI dapat memperlebar kesenjangan ekonomi dan kekuasaan global. Oleh karena itu, banyak negara mengembangkan strategi kedaulatan AI untuk menghindari ketergantungan penuh.

Meski demikian, fokus strategi masing-masing negara berbeda untuk mencapai kedaulatan AI. Beberapa negara seperti Tiongkok dan Rusia lebih fokus pada kontrol ideologi dan keamanan siber, sedangkan India dan Amerika Serikat lebih fokus pada model market-*centric* yang lebih condong pada pengembangan inovasi yang melibatkan kemitraan dengan sektor swasta (Gohwong, 2025). Bahkan didalam dokumen *America's AI Action Plan* tahun 2025, Presiden Trump memerintahkan untuk mendominasi perkembangan teknologi ini secara global melalui inovasi seperti pernyataannya berikut:

> "*As our global competitors race to exploit these technologies, it is a national security imperative for the United States to achieve and maintain unquestioned and unchallenged global technological dominance. To secure our future, we must harness the full power of American innovation*." (America's AI Action Plan -The White House, 2025)

Sementara itu, untuk negara lain seperti Uni Eropa misalnya, lebih memprioritaskan independensi yurisdiksional yang berimplikasi pada peningkatan tensi geo-ekonomi (Mügge, 2024). Indonesia, dengan populasi besar dan posisi strategis di Asia Tenggara, memiliki potensi untuk menjadi kekuatan AI regional. Namun potensi tersebut hanya

dapat diwujudkan apabila negara memiliki otonomi teknologi dan strategi jangka panjang yang memprioritaskan pengembangan model AI domestik.

2.5. Pembelajaran dari Negara Lain

Berbagai negara di dunia telah lebih dahulu menjadikan kedaulatan AI sebagai agenda strategis untuk memperkuat daya saing, keamanan, dan kemandirian teknologi. Pendekatan yang ditempuh berbeda-beda, dipengaruhi oleh konteks politik, ekonomi, dan kebutuhan nasional masing-masing. Oleh karena itu, pembelajaran dari pengalaman negara lain menjadi penting untuk memahami bagaimana kedaulatan AI dapat diwujudkan melalui regulasi, investasi, infrastruktur, dan tata kelola yang efektif.

a. Amerika Serikat

Amerika Serikat saat ini dipandang sebagai negara dengan posisi terdepan dalam perkembangan AI di tingkat global. Keunggulan ini ditopang oleh kuatnya investasi swasta, ketersediaan talenta AI yang unggul, serta pentingnya peran perusahaan teknologi raksasa seperti Google, Amazon, OpenAI, dan Microsoft dalam mengembangkan model AI. Dari sisi infrastruktur, Amerika Serikat menguasai sekitar separuh kapasitas komputasi AI dunia dan memimpin desain semikonduktor canggih melalui perusahaan seperti NVIDIA, yang menjadi pemasok utama chip AI global. Dominasi tersebut tercermin pada banyaknya model AI yang dikembangkan serta tingginya jumlah sistem AI yang diakui sebagai terobosan teknis penting, sehingga menempatkan Amerika Serikat sebagai pusat inovasi sekaligus pengarah perkembangan AI secara global (Fernandez, 2025; Strickland, 2024).

Dorongan menuju kedaulatan AI semakin kuat melalui investasi finansial yang besar dan berkelanjutan. Sejak awal 2010-an,

Amerika Serikat telah mengalokasikan dana AI jauh lebih besar dibandingkan negara pesaingnya. Pada periode 2012–2016, total investasi AI mencapai 18,2 miliar dolar AS, dan meningkat tajam pada 2018 hingga menembus 19,1 miliar dolar AS dalam satu tahun (Pumplun et al., 2019). Tren ini terus berlanjut hingga 2024, ketika investasi swasta AI mencapai 109,1 miliar dolar AS—jauh melampaui China dan Inggris (Maslej et al., 2025). Bahkan secara total, investasi publik dan swasta Amerika Serikat pada 2025 diperkirakan mendekati 364 miliar dolar AS. Investasi berskala sangat besar juga datang dari perusahaan teknologi, seperti rencana Microsoft untuk membangun pusat data AI global senilai 80 miliar dolar AS pada 2025, yang menunjukkan bahwa AI dipandang sebagai fondasi ekonomi digital masa depan.

Pada tataran kebijakan, Amerika Serikat menempatkan kedaulatan AI sebagai bagian dari strategi industrial nasional. Melalui CHIPS and Science Act 2022, pemerintah mengalokasikan 39 miliar dolar AS dalam bentuk hibah, pinjaman, dan insentif pajak untuk memperkuat industri semikonduktor domestik (Hawkins et al., 2025). Kebijakan ini dilengkapi dengan AI Action Plan yang menekankan penguatan inovasi dalam negeri, pembangunan infrastruktur yang andal, penetapan standar global, serta pengendalian ekspor, khususnya untuk chip AI. Pendekatan ini menunjukkan pergeseran dari sekadar mengatur AI menuju upaya aktif membangun ekosistem AI nasional yang utuh, mulai dari perangkat keras hingga aplikasi, sekaligus mempertahankan kepemimpinan ekonomi dan keamanan nasional Amerika Serikat di era AI.

b. Prancis

Prancis dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan sikap yang semakin proaktif dalam mendorong perkembangan AI sebagai bagian dari upaya mencapai kemandirian teknologi nasional.

Upaya tersebut antara lain dengan meluncurkan rencana investasi senilai EUR 109 miliar yang diposisikan sebagai "Stargate Prancis" untuk menandingi inisiatif besar Amerika Serikat di bidang AI (Le Monde, 2025). Langkah ini menunjukkan ambisi politik yang kuat untuk menjadikan AI sebagai pilar utama daya saing ekonomi Prancis, sekaligus sebagai instrumen kedaulatan teknologi di tengah meningkatnya persaingan global.

Upaya tersebut juga merupakan kelanjutan dari strategi nasional yang telah dirintis sebelumnya. Sejak 2021, Prancis telah mengimplementasikan strategi nasional AI dengan alokasi dana sebesar EUR 2,22 miliar, yang menggabungkan pembiayaan publik dan partisipasi sektor swasta. Strategi ini berfokus pada penguatan riset, pengembangan talenta, serta dukungan terhadap ekosistem *startup* AI domestik. Komitmen tersebut diperluas melalui pembentukan dana "France & AI" pada 2024, yang berhasil memobilisasi sekitar EUR 10 miliar untuk mempercepat pertumbuhan ekosistem AI nasional dan mendorong komersialisasi inovasi berbasis riset (Z. Wang, 2025). Prancis juga mengembangkan Mistral, sebuah model LLM open-weight sebagai salah satu wujud kemandirian AI untuk mengurangi ketergantungan pada model dan penyedia cloud non-Uni Eropa (Jonnala et al., 2025).

Dari sisi kebijakan dan tata kelola, Prancis mengintegrasikan pengembangan AI ke dalam agenda strategis "France 2030" dengan dukungan investasi sekitar €1,5 miliar untuk menjamin kemandirian teknologi nasional. Pemerintah menerapkan pendekatan yang relatif seimbang, dengan secara aktif mendukung inovasi dan pertumbuhan *startup* AI lokal, namun tetap menjaga batasan yang jelas terhadap penggunaan AI yang berpotensi menimbulkan risiko etika dan sosial. Dalam ranah hukum privat, Prancis menegaskan prinsip *human-centric* dengan menyatakan bahwa sistem AI tidak dapat menjadi subjek hak

cipta, serta menerapkan rezim liabilitas yang ketat guna melindungi warga negara dari dampak kesalahan algoritma. Pendekatan ini menunjukkan bahwa kemandirian AI di Prancis tidak hanya didefinisikan melalui kapasitas teknologi, tetapi juga melalui kerangka hukum dan etika yang menempatkan manusia sebagai pusat dari pemanfaatan AI (Duflot, 2024).

c. Uni Eropa

Uni Eropa (UE) memandang kedaulatan AI sebagai elemen strategis dalam menjaga daya saing ekonomi, stabilitas geopolitik, dan perlindungan nilai-nilai fundamental Eropa. Kedaulatan AI dalam konteks Eropa berakar pada konsep *open strategic autonomy*—yaitu kemampuan untuk mengendalikan teknologi kritis secara mandiri, namun tetap terbuka terhadap kolaborasi internasional yang saling menguntungkan (Dibiaggio et al., 2024). Dalam pandangan Uni Eropa, AI bukan sekadar instrumen ekonomi, melainkan juga aset strategis yang berkaitan dengan kedaulatan digital dan keamanan nasional. Ketergantungan negara–negara Eropa terhadap penyedia teknologi asing, terutama dari Amerika Serikat dan Tiongkok, dianggap sebagai risiko terhadap integritas data, kepercayaan publik, dan keberlanjutan industri lokal. Oleh karena itu, Uni Eropa menempatkan kedaulatan AI sebagai prasyarat bagi kemampuan kontinental untuk menetapkan standar global yang beretika, manusiawi, dan demokratis dalam pengembangan teknologi tersebut.

Upaya Uni Eropa untuk mewujudkan kedaulatan AI ditempuh melalui dua jalur utama yakni kebijakan regulatif dan inisiatif strategis berbasis investasi. Pertama, adopsi EU *Artificial Intelligence Act* (2024) menjadi dasar dalam membangun kerangka hukum komprehensif pertama di dunia untuk kecerdasan artifisial. Undang-undang ini menerapkan pendekatan

berbasis risiko, dengan melarang sistem AI berisiko tinggi seperti *social scoring* dan pengawasan biometrik massal, serta mewajibkan audit, transparansi, dan pengawasan manusia bagi sistem berisiko tinggi. Dengan demikian, Uni Eropa menegaskan bahwa kedaulatan AI tidak hanya tentang kemandirian teknologi, tetapi juga tentang pengendalian secara etis dan hukum atas penggunaan teknologi tersebut.

Kedua, Uni Eropa meluncurkan AI Continent Action Plan (2025) sebagai strategi komprehensif untuk memperkuat kapasitas teknologi dan ekonomi AI di kawasan Eropa Eropa (europa.eu, 2025). Melalui inisiatif ini, Uni Eropa membangun AI Factories dan Gigafactories AI — fasilitas komputasi berskala besar berbasis EuroHPC yang menggabungkan daya komputasi, data, dan talenta untuk riset serta inovasi industri. Inisiatif InvestAI juga digulirkan untuk memobilisasi investasi hingga €200 miliar. Sementara AI *Skills* Academy dibentuk guna memperkuat kapasitas sumber daya manusia dan mengatasi brain drain. Dengan kombinasi regulasi yang ketat, investasi masif, dan pembangunan infrastruktur strategis, Uni Eropa berupaya mewujudkan kedaulatan AI yang tidak hanya kompetitif secara ekonomi, tetapi juga berakar pada nilai-nilai keadilan, hak asasi manusia, dan transparansi—sebuah pendekatan yang membedakannya dari model AI yang berorientasi pada kekuatan pasar atau kendali negara otoriter.

d. Tiongkok

Tiongkok memandang kedaulatan AI nasional sebagai fondasi penting bagi kekuatan ekonomi, keamanan, dan pengaruh global. Namun, pelaksanaannya sangat dipengaruhi oleh dinamika antara pemerintah pusat dan lokal, serta ketegangan antara tujuan ekonomi dan keamanan. Kedaulatan AI di Tiongkok dipandang bukan sekadar isu teknologi, melainkan isu kontrol politik dan

posisi strategis di tatanan dunia. Melalui dokumen seperti *New Generation Artificial Intelligence Development Plan* (NGAIDP) 2017 dengan target menjadi pusat inovasi AI dunia pada 2030, Tiongkok secara resmi menempatkan AI sebagai prioritas nasional (Stanford.edu, 2017). Kedaulatan AI dipandang sebagai kunci untuk mengurangi ketergantungan pada teknologi asing, memperkuat industri dalam negeri, dan mendorong pertumbuhan ekonomi (Gao et al., 2019; Khanal et al., 2025; Knox, 2020; Wu et al., 2020). Namun, implementasinya tidak sepenuhnya terpusat. Banyak inisiatif AI justru berkembang dari bawah (*bottom-up*) melalui persaingan antar daerah dan aktor lokal yang lebih fokus pada manfaat ekonomi ketimbang geopolitik (Khanal et al., 2025; Wang et al., 2023; Zeng, 2021a). Kedaulatan AI dipandang sebagai kunci untuk mengurangi ketergantungan pada teknologi asing, memperkuat industri dalam negeri, dan mendorong pertumbuhan ekonomi (Gao et al., 2019; Khanal et al., 2025; Knox, 2020; F. Wu et al., 2020). Namun, implementasinya tidak sepenuhnya terpusat; banyak inisiatif AI justru berkembang dari bawah (*bottom-up*) melalui persaingan antar daerah dan aktor lokal yang lebih fokus pada manfaat ekonomi ketimbang geopolitik (Khanal et al., 2025; K. Wang et al., 2023; Zeng, 2021a).

Selain itu, AI secara konsisten diangkat sebagai isu keamanan nasional, dengan narasi bahwa penguasaan AI penting untuk mempertahankan kedaulatan negara dan menghadapi persaingan global, khususnya dengan Amerika Serikat. Pemerintah Tiongkok memanfaatkan wacana keamanan ini untuk memobilisasi dukungan domestik dan mengakselerasi pengembangan AI, termasuk untuk aplikasi militer dan perlindungan rezim (Hung, 2025; Zeng, 2021b). Namun, di tingkat lokal, fokus pada keamanan nasional cenderung lebih lemah dibandingkan dorongan ekonomi (Zeng, 2021a).

Dalam mendukung tujuan kedaulatan AI, Pemerintah Tiongkok menyalurkan modal dalam jumlah besar melalui berbagai mekanisme pembiayaan. Pembiayaan ini termasuk dana panduan pemerintah (*government guidance funds*) yang menargetkan investasi triliunan dolar pada sektor-sektor strategis, pendanaan langsung untuk laboratorium-laboratorium utama, dan pembangunan taman-taman industri AI dengan anggaran miliaran dolar. Langkah-langkah finansial memastikan bahwa proyek-proyek riset berisiko tinggi dan padat modal tetap berjalan (Beraja et al., 2024; Luong & Konaev, 2023). Pada pembangunan model bahasa besar, Tiongkok juga meluncurkan banyak model LLM seperti Baichuan, Qwen, DeepSeek, yang kini diakui sebagai "*top-performing open-weight*" dan memperkuat posisi China sebagai kekuatan utama AI global (Wen-Yi et al., 2025).

Adapun model regulasi dan model tata kelola yang diterapkan, Tiongkok mengadopsi pendekatan regulasi campuran. Di tingkat pusat, terdapat kombinasi regulasi yang restriktif dan fasilitatif guna menjaga kontrol negara atas data dan teknologi. Sementara itu, di tingkat lokal, regulasi lebih cenderung bersifat fasilitatif untuk secara aktif mendorong inovasi (Hung, 2025; Nanni et al., 2024). Lebih lanjut konsep *"cyber sovereignty"* secara eksplisit menegaskan keinginan Tiongkok untuk membangun norma dan standar AI global yang lebih mengutamakan kontrol negara daripada nilai liberal Barat (Hung, 2025).

e. Uni Emirat Arab

Uni Emirat Arab (UEA) juga menunjukkan komitmen yang kuat sebagai salah satu negara yang serius membangun kemandirian AI. Sebagai negara penghasil minyak, UEA memanfaatkan kekuatan fiskalnya untuk berinvestasi besar dalam pengembangan AI sebagai bagian dari strategi diversifikasi ekonomi dan transformasi jangka panjang. Salah satu langkah

paling signifikan UEA adalah pengembangan *large language model* (LLM) nasional yang tidak bergantung pada model fondasional global seperti GPT-4 atau Gemini untuk kebutuhan infrastruktur kritis. Melalui *Technology Innovation Institute* (TII) di Abu Dhabi, UEA mengembangkan seri LLM Falcon yang bersifat *open-source*. Falcon 180B, misalnya, pada saat dirilis diakui sebagai salah satu model *open-source* terkuat di dunia dan menjadi penanda kemampuan teknis UEA dalam pengembangan AI tingkat lanjut (Barrington, 2023; Kshetri & Sharma, 2025). Upaya ini kemudian diperkuat oleh Mohamed bin Zayed University of Artificial Intelligence (MBZUAI) yang pada akhir 2025 merilis Jais 2, model LLM dengan 70 miliar parameter yang dilatih menggunakan dataset berbahasa Arab terbesar hingga saat ini, mencakup sekitar 600 miliar token. Langkah ini mencerminkan perhatian UEA terhadap kedaulatan data serta representasi bahasa dan konteks lokal dalam ekosistem AI (Alawlaqi, 2025).

Di sisi infrastruktur dan kerja sama global, UEA juga membangun kemitraan teknologi berskala besar melalui pengembangan fasilitas AI berkapasitas 5 gigawatt di Abu Dhabi, yang disebut sebagai infrastruktur AI terbesar di luar Amerika Serikat (Liloia, 2025). Fasilitas ini mencakup Stargate UAE, sebuah klaster pusat data berdaya 1 gigawatt yang dirancang untuk mendukung sektor-sektor strategis, khususnya energi dan industri nasional (wam.ae, 2025). Proyek ini melibatkan sejumlah perusahaan teknologi global, antara lain OpenAI, Oracle, NVIDIA, Cisco, dan SoftBank. Selain itu, peran G42 sebagai kelompok teknologi berbasis AI dan komputasi awan semakin memperkuat ekosistem nasional, dengan penerapan AI di berbagai sektor seperti kesehatan, kota cerdas, keuangan, dan energi, sekaligus menjadikan AI sebagai salah satu pilar utama pembangunan masa depan UEA.

f. India

India memandang kedaulatan AI sebagai prioritas strategis dan telah mengambil langkah konkret melalui pembuatan kebijakan, pembangunan infrastruktur, serta penyusunan regulasi untuk membangun ekosistem AI yang mandiri, inovatif dan inklusif. India menilai kedaulatan AI nasional sangat penting untuk menghindari ketergantungan pada teknologi asing, memperkuat ekonomi digital, dan melindungi data serta kepentingan nasional. Pemerintah India secara eksplisit menargetkan "*technological sovereignty"* untuk mengatasi dominasi teknologi global oleh negara-negara seperti Amerika Serikat dan Tiongkok sekaligus mencegah "kolonisasi digital" (Joshi, 2024). Strategi nasional AI yang dikenal sebagai #AiforAll, menempatkan AI sebagai pendorong utama pertumbuhan ekonomi, efisiensi pemerintahan, dan solusi masalah sosial, dengan penekanan pada pengembangan ekosistem AI domestik yang kuat (Chatterjee, 2020; Joshi, 2024).

Demi mewujudkan kedaulatan AI, India telah meluncurkan berbagai inisiatif dan kebijakan untuk memperkuat kedaulatan AI nasional, di antaranya:

1) India berkomitmen untuk membangun ekosistem AI dengan menerapkan 38.000 GPU dengan harga terjangkau dan membangun 600 laboratorium data di seluruh negeri. Inisiatif ini bertujuan untuk mendorong riset dan inovasi AI.
2) Strategi Nasional AI: Menetapkan visi pengembangan AI untuk kepentingan ekonomi dan sosial, dengan fokus pada sektor strategis seperti kesehatan, pertanian, pendidikan, infrastruktur, dan transportasi (Hammer & Karmakar, 2021; Joshi, 2024; Samdub, 2022).
3) National AI Mission & AI Research Institutes: Mendorong riset, inovasi, dan pengembangan talenta AI melalui pendirian pusat

riset, inkubator startup, dan kolaborasi industri-akademik (Chatterjee, 2020).

4) AIRAWAT (AI Research, Analytics and Knowledge Assimilation Platform): Infrastruktur cloud nasional untuk mendukung riset dan pengembangan AI (Sood et al., 2024).
5) AI Portal (indiaai.in): Platform kolaborasi pemerintah, startup, dan akademisi untuk mempercepat ekosistem AI.
6) Kebijakan Digital India: Membangun infrastruktur digital, memperluas akses internet, dan memperkuat identitas digital nasional (Aadhaar) (Dementiev, 2023).
7) Regulasi dan Etika AI: Penyusunan pedoman "Responsible AI for All" dan upaya membangun kerangka regulasi yang menyeimbangkan inovasi dengan perlindungan hak dan keamanan (Gupta et al., 2025; Joshi, 2024).

Dale (2025b) melakukan pemetaan komprehensif terhadap berbagai inisiatif kedaulatan AI di sejumlah negara, mencakup investasi superkomputer, pendanaan strategis, regulasi, pengembangan talenta, hingga diplomasi teknologi yang mencerminkan perbedaan prioritas dan konteks geopolitik masing-masing negara. Setiap negara merancang strateginya sesuai dengan kapasitas dan kebutuhan nasionalnya masing-masing. Pemetaan ini dirangkum secara terstruktur dalam Tabel 2.3.

Secara keseluruhan, pendekatan India dalam membangun kedaulatan AI menunjukkan pola yang holistik, yakni tidak hanya berfokus pada pengembangan teknologi semata, tetapi juga menyentuh aspek infrastruktur, regulasi, talenta, dan inklusi sosial secara bersamaan. Hal ini menjadikan India sebagai salah satu contoh negara berkembang yang mampu merancang strategi AI nasional yang ambisius sekaligus berakar pada konteks dan kebutuhan domestiknya sendiri.

Tabel 2.3 Investasi dan Pendanaan Berbagai Negara Menuju Kedaulatan AI

Wilayah/Negara	Upaya Mengejar Kedaulatan AI
Amerika Serikat	• Dominasi atas kapasitas komputasi AI dan memimpin desain semikonduktor canggih melalui perusahaan seperti NVIDIA • Alokasi investasi AI yang besar sejak awal 2010-an. Pada 2024, investasi swasta pada AI mencapai USD 109,1 miliar. • Memiliki perusahaan-perusahaan yang memimpin dalam pengembangan model LLM, seperti OpenAI, Google, Meta, dan xAI.
Uni Eropa	• Investasi EUR 750 juta untuk membangun *AI factories* di seluruh eropa • Pembangunan *data center* di negara-negara anggota • Inisiatif InvestAI, bertujuan memobilisasi investasi sebesar 200 miliar euro untuk pengembangan AI
Prancis	• Mengembangkan model LLM fondasional yang bernama Mistral untuk mengurangi ketergantungan model LLM non-eropa yang tertutup • Rencana investasi senilai EUR 109 miliar yang diposisikan sebagai "*Stargate Prancis*" • Pembentukan dana "France & AI" pada 2024 yang memobilisasi sekitar EUR 10 miliar untuk mempercepat pertumbuhan ekosistem AI nasional dan mendorong komersialisasi inovasi berbasis riset
Inggris	• Merencanakan pendanaan sebesar £2 miliar untuk penyusunan strategi AI, £1 miliar untuk membangun

Sumber: (Dale, 2025b) & (Secondtalent.com, 2025)

2.6. Kedaulatan AI dalam konteks Indonesia

Kedaulatan AI memperoleh makna yang khas dalam konteks Indonesia karena berkaitan langsung dengan agenda pembangunan jangka panjang, transformasi digital nasional, serta kebutuhan mendesak untuk memperkuat ketahanan ekonomi dan tata kelola negara. Berbeda dengan negara maju yang telah lebih dahulu membangun kapasitas komputasi, ekosistem riset, dan industri AI, Indonesia menghadapi dinamika yang lebih kompleks: potensi ekonomi digital yang signifikan, kesenjangan infrastruktur, serta tantangan dalam penguatan talenta dan regulasi. Oleh karena itu, pembahasan mengenai kedaulatan AI di Indonesia harus ditempatkan dalam kerangka visi strategis negara, termasuk Visi Indonesia Emas 2045 dan arsitektur transformasi digital nasional, untuk memahami peran AI sebagai katalis kemajuan sekaligus objek kedaulatan yang wajib dikuasai secara mandiri.

2.6.1. Visi Indonesia Emas 2045 dan Agenda Nasional Transformasi Digital

Fondasi Visi Indonesia Emas 2045

Menuju satu abad kemerdekaan, Indonesia meletakkan sebuah tujuan yang dituangkan ke dalam Visi Indonesia Emas 2045: "Negara Kesatuan Republik Indonesia yang Bersatu, Berdaulat, Maju, dan Berkelanjutan". Visi ini bukan sekadar aspirasi politik, melainkan komitmen terukur yang diterjemahkan ke dalam lima sasaran utama pembangunan dengan indikator-indikator kuantitatif yang jelas, yakni:

- Pertama, pendapatan per kapita Indonesia ditargetkan mencapai rentang USD 23.000 hingga USD 30.300, hal tersebut menempatkan Indonesia dalam jajaran lima besar ekonomi dunia dengan Produk Domestik Bruto (PDB) nominal mencapai USD 9,8 triliun. Dalam mencapai sasaran ini, pemerintah Indonesia menetapkan target kontribusi sektor maritim terhadap PDB

sebesar 17,5 persen dan kontribusi industri manufaktur mencapai 28 persen.

- Kedua, tingkat kemiskinan diproyeksikan menurun drastis menuju kisaran 0,5 hingga 0,8 persen, dengan ketimpangan pendapatan yang diukur melalui Rasio Gini berada pada rentang 0,29 hingga 0,32. Pemerataan pembangunan antar wilayah juga menjadi fokus, dengan target peningkatan kontribusi Kawasan Timur Indonesia terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) mencapai 28,5 persen.
- Ketiga, Indonesia bertekad untuk memperkuat posisinya di panggung internasional dengan menempatkan negara pada peringkat 15 besar Global Power Index, yang mencerminkan penguatan diplomasi internasional, kepemimpinan global, pengaruh budaya, serta kontribusi aktif dalam penyelesaian isu-isu global (Republik Indonesia, 2024).
- Keempat, peningkatan daya saing sumber daya manusia menjadi prioritas dengan target *Human Capital Index* (HCI) mencapai 0,73, yang menunjukkan produktivitas generasi mendatang dibandingkan dengan standar pendidikan dan kesehatan yang optimal.
- Kelima, Indonesia menargetkan penurunan intensitas emisi gas rumah kaca sebesar 93,5 persen menuju net zero emission, menggarisbawahi komitmen terhadap pembangunan berkelanjutan dan tanggung jawab global dalam mitigasi perubahan iklim.

Dalam mewujudkan kelima sasaran tersebut, Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025-2045 merumuskan kerangka transformasi komprehensif yang terdiri dari delapan agenda pembangunan, tujuh belas arah pembangunan, dan empat puluh lima indikator utama pembangunan. Kerangka ini dibangun di atas tiga pilar

utama yaitu: Transformasi Indonesia, Landasan Transformasi, dan Kerangka Implementasi Transformasi.

Pada pilar Transformasi Indonesia, pemerintah memprioritaskan tiga area perubahan yang fundamental. Pertama, transformasi sosial yang bertujuan meningkatkan kualitas kehidupan manusia pada seluruh siklus kehidupan dan menciptakan masyarakat yang lebih sejahtera, adil, dan kohesif. Kedua, transformasi ekonomi yang berorientasi pada peningkatan produktivitas melalui penguatan ilmu pengetahuan, teknologi, dan inovasi, pengembangan ekonomi produktif yang mencakup industri manufaktur, ekonomi dan keuangan syariah, pertanian, ekonomi biru dan bioekonomi, pariwisata, ekonomi kreatif, UMKM dan koperasi, penerapan ekonomi hijau, transformasi digital, serta integrasi ekonomi domestik dan global. Serta yang ketiga, transformasi tata kelola yang fokus pada pembangunan regulasi dan tata kelola yang berintegritas dan adaptif terhadap dinamika perubahan.

Sedangkan Pilar Landasan Transformasi mencakup tiga elemen krusial yang menjadi prasyarat keberhasilan pembangunan. Pertama, supremasi hukum yang menjamin kepastian dan keadilan bagi seluruh warga negara. Kedua, stabilitas ekonomi, politik, hukum, dan keamanan nasional yang harus terjaga sebagai fondasi pembangunan berkelanjutan. Sebagaimana ditegaskan oleh Presiden Joko Widodo, "Stabilitas bangsa ini harus terjaga. Tidak ada satu negara pun yang berhasil mencapai sebuah kemakmuran saat kondisinya tidak stabil" (Sekretariat Kabinet Republik Indonesia, 2024). Ketiga, penguatan ketangguhan diplomasi Indonesia di tingkat global dan pembangunan kekuatan pertahanan yang memiliki daya gentar kawasan.

Sementara itu untuk Pilar Kerangka Implementasi Transformasi meliputi tiga strategi operasional. Pertama, pembangunan kewilayahan yang merata dan berkeadilan untuk mengurangi kesenjangan antara Jawa dan luar Jawa, mengingat 56 persen penduduk dan 58 persen

PDB Indonesia terkonsentrasi di Pulau Jawa. Kedua, pembangunan sarana dan prasarana yang berkualitas dan ramah lingkungan sebagai enabler pertumbuhan ekonomi. Ketiga, kesinambungan pembangunan yang memastikan setiap kepemimpinan nasional tidak memulai dari nol, melainkan melanjutkan dan memperkuat pencapaian sebelumnya, sebagaimana dianalogikan Presiden sebagai tongkat estafet yang harus bersambung. Di dalam kerangka ini, Transformasi Digital secara eksplisit diidentifikasi sebagai salah satu dari 17 Arah Pembangunan, menandakan posisinya sebagai pilar strategis yang fundamental, bukan hanya sekadar elemen pendukung.

Konvergensi Agenda Transformasi Digital dengan Visi Indonesia Emas 2045

Merespons peluang dan tantangan era digital, Kementerian Komunikasi dan Informatika telah menyusun Visi Indonesia Digital 2045. Visi ini dirancang untuk mendukung pencapaian "Indonesia Maju, Berdaulat, dan Berkelanjutan" sebagai bagian dari Visi Indonesia Emas 2045 (KOMINFO, 2024). Secara spesifik, Visi Indonesia Digital 2045 menawarkan jalur strategis yang memperkaya upaya mewujudkan Indonesia Emas 2045. Strategi ini memberikan arah kebijakan nasional untuk mengoptimalkan manfaat teknologi bagi pembangunan ekonomi, sosial, dan kemasyarakatan. Dalam penyusunannya, visi ini telah diselaraskan dengan Buku Indonesia Emas 2045, Rancangan Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025–2045, dan dokumen strategis nasional lainnya.

Oleh karena itu, Visi Indonesia Digital 2045 bertujuan memberikan fokus arah kebijakan pada upaya nasional untuk meraih kapasitas dan penguasaan teknologi digital ke depan, dengan mewujudkan pemerintahan digital yang modern dan responsif, ekonomi digital yang inovatif berbasis teknologi digital, serta masyarakat digital yang berdaya dan berbudaya, yang pada akhirnya akan mendukung Indonesia Maju, Berdaulat, dan Berkelanjutan. Visi Indonesia Digital

2045 berkontribusi langsung pada lima sasaran utama Visi Indonesia Emas 2045. Pertama, meningkatkan pendapatan per kapita setara negara maju. Visi ini dirancang untuk membawa Indonesia keluar dari jebakan pendapatan menengah dan menjadi ekonomi maju pada 2045. Digitalisasi diperkirakan dapat meningkatkan PDB hingga Rp 22.500 triliun dibandingkan pertumbuhan tanpa transformasi digital, sehingga Indonesia dapat masuk lima besar ekonomi dunia.

Kedua, menurunkan tingkat kemiskinan dan ketimpangan. Dengan prinsip inklusif dan memberdayakan, visi ini menyediakan akses digital merata ke seluruh pelosok dan memanfaatkan teknologi untuk pemberdayaan masyarakat serta UMKM. Langkah ini bertujuan mencegah kesenjangan digital dan meningkatkan produktivitas ekonomi rakyat. Ketiga, memperkuat kepemimpinan di dunia internasional. Visi ini menargetkan Indonesia sebagai kekuatan digital utama di Asia Tenggara. Penguasaan teknologi digital menjadi prasyarat untuk meningkatkan pengaruh politik dan ekonomi Indonesia di kawasan regional dan global.

Keempat, meningkatkan daya saing sumber daya manusia. Melalui pilar Masyarakat Digital yang berdaya dan berbudaya, visi ini mengatasi dampak disrupsi digital dengan program *upskilling* dan *reskilling* masif. Target yang ditetapkan adalah menciptakan 9 juta tenaga profesional IT pada 2045, atau sekitar 7% dari total angkatan kerja. Kelima, mencapai *net zero emission*. Dengan prinsip berkelanjutan yang sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), strategi digital diarahkan pada inovasi teknologi ramah lingkungan, penggunaan energi terbarukan, dan solusi teknologi yang mendukung dekarbonisasi serta pelestarian lingkungan.

Arsitektur Kebijakan Transformasi Digital Nasional

Pengarusutamaan Agenda kebijakan transformasi digital Indonesia tidak diatur oleh satu dokumen tunggal, melainkan oleh sebuah

arsitektur kebijakan yang kompleks dan berlapis. Arsitektur ini terdiri atas dokumen perencanaan jangka panjang, strategi sektoral, hingga aturan formal yang bersifat prinsipil dan implementatif. Transformasi digital sebagai pilar untuk mencapai Visi Indonesia Emas 2045 secara eksplisit diamanatkan dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025-2045. Amanat ini secara spesifik diartikulasikan melalui tiga pilar strategis yang saling terkait, yaitu: pengembangan super platform, percepatan transformasi digital, dan produksi talenta digital.

Fondasi awal arsitektur kebijakan ini diletakkan melalui Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2008 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik (UU ITE). UU ini berfungsi sebagai payung hukum yang mengakui secara legal aktivitas yang dilakukan di ruang siber. Dalam perjalanannya UU ITE mengalami dua kali perubahan yaitu pada tahun 2016 dan 2024. Perubahan ini bertujuan untuk memperjelas dan menyelaraskan dengan KUHP baru, serta meningkatkan perlindungan anak di ranah digital. Sebagai aturan pelaksanaan, pemerintah kemudian menetapkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2012 tentang Penyelenggaraan Sistem dan Transaksi Elektronik (PSTE) yang kemudian dirubah melalui Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2019. Dalam aturan ini, Penyelenggara Sistem Elektronik (PSE) diwajibkan menyelenggarakan Sistem Elektronik secara andal dan aman, serta bertanggung jawab.

Arsitektur kebijakan kemudian diperdalam dengan pengakuan hak asasi manusia di ranah digital melalui Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi (UU PDP). UU ini disusun karena pelindungan data pribadi merupakan salah satu hak asasi manusia dan untuk menjamin hak warga negara atas pelindungan diri pribadi.

Terkait inisiatif digitalisasi pemerintahan, beberapa kebijakan dapat ditelusuri melalui tiga regulasi utama. Pada tahun 2018 pemerintah

menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 95 Tahun 2018 tentang Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik (SPBE). Peraturan ini meletakkan dasar konseptual untuk digitalisasi pemerintahan. Tujuannya adalah mewujudkan tata kelola pemerintahan yang bersih, efektif, transparan, dan akuntabel. Perpres ini memperkenalkan prinsip-prinsip fundamental seperti keterpaduan, interoperabilitas, dan keamanan, serta mengamanatkan penyusunan Arsitektur SPBE Nasional untuk mengintegrasikan proses bisnis, data, aplikasi, dan infrastruktur pemerintah secara terpadu.

Setelah kerangka SPBE ditetapkan, pemerintah mengidentifikasi fragmentasi data sebagai hambatan utama interoperabilitas. Lahirnya Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia adalah respons langsung untuk mengatasi masalah "silo data" yang ada di berbagai lembaga pemerintahan. Kebijakan Satu Data Indonesia (SDI) mewajibkan seluruh instansi pemerintah untuk menghasilkan data yang memenuhi empat prinsip: Standar Data, Metadata, Interoperabilitas Data, dan penggunaan Kode Referensi serta Data Induk. Tujuannya adalah menghasilkan data yang akurat, mutakhir, terpadu, dan dapat dibagipakaikan, yang menjadi landasan bagi perumusan kebijakan berbasis bukti.

Lima tahun setelah SPBE dicanangkan, kemajuan integrasi layanan ternyata tidak berjalan sesuai harapan. Dokumen VID2045 mencatat adanya "24 ribu aplikasi pemerintah yang belum terintegrasi" dan "2.700 server data yang tersebar", yang merupakan gambaran dari kegagalan pendekatan desentralisasi sebelumnya. Untuk itu, Peraturan Presiden Nomor 82 Tahun 2023 ditetapkan sebagai pemantik untuk mengatasi hambatan birokrasi ini. Regulasi ini menandai pergeseran dari perencanaan ke implementasi dengan menetapkan sembilan Aplikasi SPBE Prioritas — mencakup sektor strategis seperti pendidikan, kesehatan, dan bantuan sosial — dengan target peluncuran terpadu pada Triwulan III 2024. Langkah yang paling signifikan adalah penugasan Perum Peruri sebagai orkestrator dan

integrator utama, sebuah langkah untuk memaksa integrasi yang sebelumnya sulit dicapai melalui koordinasi antar-kementerian.

Adapun untuk mendorong pengembangan AI, pada tahun 2020 telah disusun Strategi Nasional Kecerdasan Artifisial (Stranas KA) Indonesia 2020-2045 untuk menghadapi peluang dan tantangan, termasuk kesiapan regulasi, tenaga kerja terampil, infrastruktur komputasi dan data, serta adopsi inovasi AI oleh industri dan sektor publik. Dalam dokumen strategi ini ditentukan empat area fokus pengembangan AI: Etika dan Kebijakan, Pengembangan Talenta, Infrastruktur dan Data, Riset dan Inovasi Industri. Stranas KA juga menetapkan lima bidang prioritas nasional yang memiliki prasyarat yang baik untuk implementasi AI, yaitu layanan kesehatan, reformasi birokrasi, pendidikan dan riset, ketahanan pangan, dan mobilitas dan kota pintar.

Kemudian dalam merespon dinamika teknologi AI yang sangat cepat, terutama setelah munculnya model AI generatif, Kementerian Komunikasi dan Digital menyusun Buku Putih Peta Jalan AI Nasional. Dokumen tersebut guna memberikan panduan yang terperinci tentang peta jalan yang sesuai untuk kondisi saat ini (termasuk implementasi kebijakan dan tantangan global) dan menjadi alat strategis untuk merealisasikan program-program prioritas dalam kerangka waktu yang terukur dan terarah. Dalam Peta Jalan ini, dirumuskan rekomendasi strategi nasional melalui analisis dari 7 (tujuh) aspek, yaitu Etika, Kebijakan, Infrastruktur dan Data, Riset dan Inovasi Industri, Pengembangan Talenta, Investasi/Pembiayaan, dan Pengembangan *Use Case*. Disamping itu peta jalan ini juga menentukan bidang prioritas utama *use case* AI meliputi Ketahanan Pangan, Kesehatan, Pendidikan dan Riset, Reformasi Birokrasi, Ekonomi dan Keuangan, Politik, Hukum, dan Keamanan, Energi, Sumber Daya dan Lingkungan, Perumahan, Transportasi, Logistik, dan Infrastruktur, serta Seni, Budaya dan Ekonomi Kreatif.

Urgensi Implementasi Teknologi Digital dan AI

Dalam menghadapi megatren global yang didorong oleh disrupsi teknologi, Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Kepala Bappenas Suharso Monoarfa menegaskan bahwa Indonesia harus mampu menciptakan perubahan melalui strategi industrialisasi yang fokus pada industri-industri tertentu (BAPPENAS, 2023). Pertumbuhan industri manufaktur diharapkan lebih tinggi dari pertumbuhan ekonomi sehingga kontribusinya terhadap PDB dapat mencapai 30 persen. Strategi ini menuntut akselerasi adopsi teknologi digital dan AI sebagai pengungkit produktivitas dan daya saing. Teknologi digital dan AI telah menjadi aspek penting dalam pembangunan, dimana AI menjadi alat untuk meningkatkan efisiensi, serta membantu dalam pengambilan keputusan (Bogoslov et al., 2024).

Transformasi ekonomi yang dibutuhkan bukan sekadar reformatif, melainkan transformatif dengan lompatan-lompatan besar. Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Airlangga Hartarto pada sebuah *keynote speech* menekankan bahwa untuk mencapai sasaran tahun 2045, diperlukan keberanian, tekad, dan kerja keras (KEMENKOEKON, 2023). Dengan skenario transformatif, Indonesia memerlukan rata-rata pertumbuhan ekonomi sebesar 6 persen agar dapat keluar dari *middle income trap* pada tahun 2041. Target ini menuntut pendekatan yang berbeda dari pertumbuhan 5 persen yang telah dicapai saat ini, di mana teknologi digital dan AImenjadi katalisator utama.

Penekanan utama diberikan pada pentingnya kualitas sumber daya manusia (SDM). Bukan hanya jumlahnya yang banyak, tetapi juga mutu SDM yang harus unggul, meliputi kondisi fisik, keterampilan, karakter, kedisiplinan, serta penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi. Hal ini krusial karena keuntungan dari bonus demografi Indonesia di mana 70 persen penduduknya berada di usia produktif, hanya akan bermanfaat maksimal jika didukung oleh SDM yang ahli dalam teknologi terbaru, seperti AI. Untuk mewujudkan cita-cita Indonesia

Emas 2045, diperlukan pelaksanaan yang cerdas dan kepemimpinan yang bijak.

AI sebagai Katalisator Transformasi

Di antara berbagai teknologi yang mendorong transformasi digital, AI menjadi salah satu teknologi yang menjadi katalisator utama. Strategi dalam perencanaan nasional tidak lagi memandang AI sebagai teknologi masa depan, melainkan sebagai kekuatan baru yang telah hadir dan harus segera dimanfaatkan untuk mengakselerasi pencapaian Visi Indonesia Emas 2045.

Potensi transformatif teknologi AI diakui secara luas, mulai dari kemampuannya mengotomatisasi tugas-tugas repetitif hingga memberikan rekomendasi strategis di sektor-sektor krusial seperti keuangan dan kesehatan (Alowais et al., 2023). Di sektor pendidikan, AI memungkinkan pembelajaran adaptif yang disesuaikan dengan kebutuhan individual siswa, serta memperluas akses pendidikan berkualitas melalui platform digital (H. Huang, 2025). Di sektor pangan, AI dapat mengoptimalkan produktivitas pertanian melalui precision farming, memprediksi pola cuaca, dan mengelola rantai pasok (Sharma et al., 2021) Di sektor birokrasi, AI dapat mempercepat pemrosesan dokumen, meningkatkan kualitas pengambilan keputusan berbasis data, dan mendeteksi potensi korupsi (Al-Mushayt, 2019).

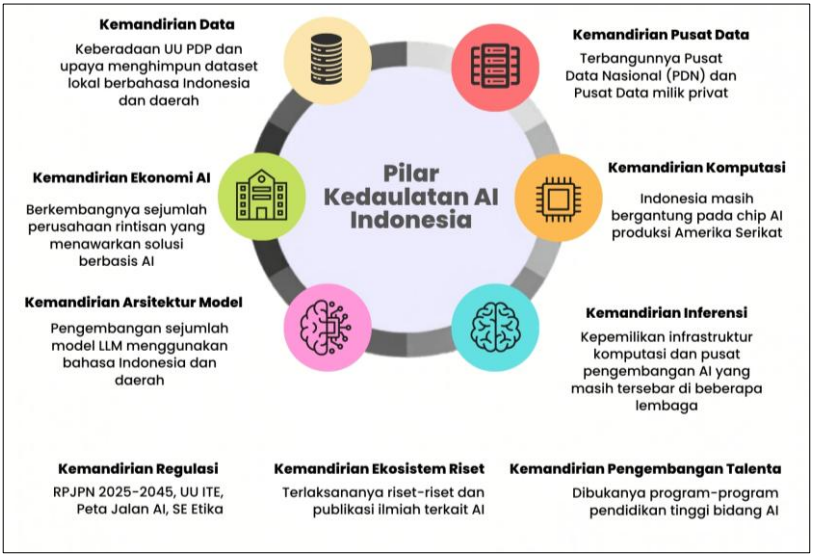
Pengakuan ini menandakan pergeseran paradigma: AI bukan lagi sekadar alat efisiensi, melainkan mesin pendorong produktivitas, inovasi, dan daya saing. Buku Putih Ekonomi Digital, dalam arahnya untuk membawa Indonesia ke fase "Memimpin" pada tahun 2045, secara implisit bergantung pada penguasaan teknologi seperti AI untuk mendorong inovasi dan menciptakan nilai tambah. Namun, kekuatan AI yang begitu besar juga membawa implikasi strategis yang mendalam. Kemampuan untuk mengembangkan, mengarahkan, dan mengendalikan teknologi ini menjadi isu yang sangat krusial. Jika tidak dikelola dengan baik, Indonesia berisiko menjadi sekadar konsumen

teknologi AI yang dikembangkan oleh negara lain, yang dapat menciptakan ketergantungan baru dan melemahkan posisi strategis bangsa. Oleh karena itu, pemanfaatan AI sebagai katalisator transformasi tidak dapat dipisahkan dari pertanyaan fundamental mengenai kedaulatan: Bagaimana Indonesia memastikan bahwa pengembangan dan penerapan AI sejalan dengan kepentingan nasional, nilai-nilai Pancasila, dan tujuan pembangunan jangka panjang. Pertanyaan inilah yang menjadi jembatan krusial menuju diskusi tentang imperatif kedaulatan di era AI.

2.6.2. Kondisi Yang Mendukung Kedaulatan AI Nasional

Kedaulatan AI tidak dapat dibangun hanya melalui penguasaan teknologi, melainkan harus ditopang oleh serangkaian pilar strategis yang saling berkaitan dan saling memperkuat. Pilar-pilar ini membentuk kerangka sistemik yang memungkinkan suatu negara mengembangkan, mengatur, dan memanfaatkan AI secara mandiri, etis, serta sesuai dengan nilai-nilai nasional. Pilar-pilar pendukung kedaulatan AI nasional mencakup kedaulatan data, kemandirian pusat data, infrastruktur komputasi, inferensi, arsitektur model, dan kemandirian ekonomi AI. Disamping itu pula, kedaulatan AI juga didorong oleh pengembangan talenta yang baik, ekosistem riset dan kolaborasi multi-stakeholder, serta kerangka regulasi dan etika nasional.

Pada gambar 2.3 digambarkan pilar-pilar kedaulatan AI nasional, dimana pilar-pilar ini tidak berdiri sendiri, melainkan saling melengkapi dan berinteraksi secara dinamis satu sama lain. Kegagalan pada salah satu pilar dapat melemahkan keseluruhan fondasi kedaulatan AI yang sedang dibangun. Oleh karena itu, pendekatan yang holistik dan terkoordinasi antara pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat sipil menjadi sangat penting.



Gambar 2.3. Pilar Kedaulatan AI Nasional

a) Kedaulatan Data (*Data Sovereignty*)

Kedaulatan data mengacu pada hak dan kapasitas suatu negara untuk mengatur siklus hidup data, mulai dari pengumpulan, penyimpanan, pemrosesan, hingga distribusi, berdasarkan yurisdiksi dan nilai-nilai hukum nasional (Hellmeier et al., 2023). Data dipandang sebagai sumber daya strategis yang menentukan arah kebijakan ekonomi, militer, dan sosial. Oleh karena itu, kedaulatan data juga dipahami sebagai bagian dari politik kedaulatan modern, di mana penguasaan terhadap data berarti penguasaan terhadap kemampuan prediksi, pengambilan keputusan, dan inovasi teknologi. Untuk itu, Indonesia telah meletakkan dasar hukum bagi penguatan kedaulatan data melalui Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi (UU PDP). Undang-undang tersebut menjadi instrumen utama yang menunjukkan bahwa negara mengakui hak subjek data, menetapkan kewajiban pengendali dan prosesor data, serta membangun mekanisme sanksi terhadap pelanggaran perlindungan data pribadi.

Titik krusial dari UU PDP dalam konteks kedaulatan adalah Pasal 56, yang mengatur secara spesifik tentang transfer data lintas batas. Pasal ini memberikan wewenang kepada negara untuk memastikan bahwa data warganya tidak mengalir bebas ke yurisdiksi yang tidak memiliki standar perlindungan yang memadai, yang mana hal ini adalah upaya untuk mencegah munculnya "surga data" (*data havens*) di mana data sensitif dapat dieksploitasi tanpa pengawasan. Namun, penegakan Pasal 56 menghadirkan tantangan yang kompleks. Ketentuan ini mengharuskan negara penerima data memiliki tingkat pelindungan "yang setara atau lebih tinggi" yang membuat unsur kepatuhan yang menyulitkan bagi perusahaan-perusahaan yang beroperasi secara global. Hal ini kemudian memunculkan sebuah dilema strategis. Di satu sisi, untuk mendorong pertumbuhan ekonomi digital, Indonesia memerlukan arus data yang lancar untuk investasi, perdagangan, dan adopsi layanan cloud global. Di sisi lain, untuk menegakkan kedaulatan, Indonesia harus memberlakukan pembatasan yang dapat dianggap sebagai hambatan oleh mitra ekonomi internasional. Keseimbangan antara penegakan kedaulatan data yang ketat dan kebutuhan pragmatis akan integrasi ekonomi global menjadi tantangan utama yang harus diatasi.

Adapun terkait dataset, pegiat AI Indonesia juga mulai membangun dan menghimpun dataset yang secara khusus merepresentasikan bahasa Indonesia dan konteks nasional. Salah satu contoh dari upaya ini yaitu IndoMMLU, yaitu dataset berbahasa Indonesia pertama yang dirancang untuk *multi-task language understanding*, yang digagas oleh komunitas dan peneliti AI dalam negeri sebagai respons atas keterbatasan dataset global dalam menangkap karakteristik linguistik lokal (Koto et al., 2023). Selain itu juga terdapat pula berbagai upaya lain dari pegiat AI untuk mengumpulkan dataset lokal Indonesia, baik

secara individual maupun berbasis komunitas (Hidayatullah et al., 2023; Ifada et al., 2023; Kurniawan & Louvan, 2018), meskipun langkah-langkah tersebut masih cenderung terfragmentasi dan belum terkoordinasikan dalam satu gerak bersama. Padahal, apabila upaya-upaya ini disinergikan melalui kerangka kolaborasi yang lebih terarah, dampak yang dihasilkan berpotensi jauh lebih besar, baik bagi penguatan ekosistem riset AI nasional maupun bagi pencapaian kemandirian data sebagai pilar kemandirian AI di Indonesia.

b) Kemandirian Pusat Data

Dalam mencapai kedaulatan AI juga dibutuhkan kemandirian infrastruktur pusat data nasional, karena pengelolaan pusat data menentukan sejauh mana suatu negara memiliki kendali atas penyimpanan, pemrosesan, dan keamanan data strategisnya. Saat ini telah memiliki Pusat Data Nasional (PDN) yang berada di dalam yurisdiksi Indonesia yang dikeola oleh Kementerian Komunikasi dan Digital (KOMDIGI, 2022). PDN menjadi simbol "kedaulatan data" karena fungsinya mengonsolidasikan data pemerintah secara terpusat untuk meningkatkan keamanan, efisiensi, dan akurasi. Dengan menyatukan data dari berbagai instansi, PDN bertujuan agar Indonesia memiliki kendali penuh atas data warga negaranya, meminimalkan ketergantungan pada pihak luar, serta menjadi dasar yang kuat untuk pembuatan kebijakan yang tepat sasaran.

Indonesia saat ini memiliki 176 pusat data yang dikelola pemerintah dan swasta, dengan sebagian besar terkonsentrasi di Pulau Jawa yang memiliki infrastruktur teknologi dan aktivitas ekonomi lebih maju. Pengembangan pusat data baru terus didorong untuk mendukung transformasi digital dan kedaulatan data nasional.



Gambar 2.4 Sebaran Pusat Data di Indonesia

(Sumber: datacentermap.com)

c) Kemandirian Infrastruktur Komputasi dan Inferensi

Kedaulatan AI secara fundamental bergantung pada ketersediaan infrastruktur komputasi yang memadai, yang melampaui sekadar fasilitas penyimpanan data konvensional. Pengembangan dan pelatihan model AI modern, terutama model dasar (*foundational models*) dan AI generatif, membutuhkan daya komputasi paralel dalam skala masif yang disediakan oleh *High-Performance Computing* (HPC) dan *Graphics Processing Units* (GPU). Oleh karena itu, kedaulatan infrastruktur dalam konteks AI tidak hanya berarti memiliki pusat data nasional, tetapi juga menguasai ekosistem komputasi berkinerja tinggi agar tidak selalu bergantung kepada penyedia teknologi asing.

Beberapa universitas terkemuka di Indonesia telah menjadi simpul penting pengembangan infrastruktur komputasi AI, salah satunya Universitas Indonesia (UI) melalui Tokopedia-UI AI Center of Excellence yang menjadi rumah bagi superkomputer NVIDIA DGX-1—infrastruktur deep learning tercepat di Indonesia saat diluncurkan. Institut Teknologi Bandung (ITB) turut berkontribusi melalui kolaborasi dengan Bukalapak dalam mendirikan pusat riset AI dan komputasi awan, dengan server dan data yang dihibahkan untuk keperluan akademis.

Tabel 2. 4 Infrastruktur komputasi AI Indonesia di lembaga akademik

Universitas	Nama Pusat AI	Infrastruktur Pendukung	Referensi
Universitas Indonesia (UI)	Tokopedia–UI AI Center of Excellence (AICI)	NVIDIA DGX-1	AICI
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)	Center of Artificial Intelligence and Digital Technology (AIDT)	NVIDIA DGX A100	AIDT
Institut Teknologi Bandung (ITB)	Center for Artificial Intelligence	-	Center for AI ITB
Universitas Gadjah Mada (UGM)	UGM AI Center	NVIDIA DGX A100	UGM AI Center
Universitas Brawijaya (UB)	AI Center UB	NVIDIA DGX A100	AI Center UB
Institut Teknologi Del	AI Center of Excellence (CoE)- IT Del	NVIDIA DGX H200	IT DEL
Universitas Gunadarma	AI Center of Excellence	NVIDIA DGX A100	Gunadarma CoE

Selain itu, kemitraan serupa dengan Telkomsel melahirkan AI Innovation Hub untuk mengakselerasi inovasi dan pengembangan talenta. Universitas Gadjah Mada (UGM) juga memiliki UGM AI Center of Excellence yang dilengkapi dengan perangkat keras esensial untuk penelitian *deep learning*, termasuk serangkaian GPU NVIDIA GTX 1080/Ti dan NVIDIA TITAN XP. Beberapa lembaga akademik yang tercatat memiliki infrastruktur komputasi disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 5 Industri Infrastruktur AI yang ada di Indonesia

Kategori Infrastruktur	Komponen Utama	Vendor di Indonesia
Infrastruktur Komputasi *(Hardware & Cloud)*	**a)** *High Performance Computing* (HPC) *Clusters*	Telkom Sigma, BRIN HPC, Huawei Cloud Indonesia
	b) GPU/*TPU Accelerators*	NVIDIA Indonesia Partner (Erajaya, ECS), Huawei Ascend, Biznet Gio, DEKA GPU Lintas Arta, Datacomm
	c) *Cloud Computing Infrastructure*	Telkom Cloud, Biznet Gio Cloud, Alibaba Cloud Indonesia, Cloudeka Lintas Arta
	d) *Edge Computing Devices*	Huawei Atlas Edge, ZTE IoT Edge
Infrastruktur Data	1. *Data Storage (Data Lake / Warehouse)*	DCI Indonesia, Biznet Data Center, Telkom Data Center
	2. *Data Management Platform (DMP)*	Nodeflux DMP (Indonesia), Gojek Data Platform
	3. *Data Labeling Platform*	Datasaur (Indonesia)
	4. *Data Governance & Metadata Management*	Telkom DGS, Nodeflux DataTrust
Infrastruktur Jaringan & Konektivitas	1. *Internet Berkecepatan Tinggi (Fiber, 5G, Satelit)*	Telkomsel 5G, Indosat Ooredoo, Starlink Indonesia
	2. *Edge/IoT Network Layer*	XL Axiata IoT, Telkom IoT
	3. *Network Security Layer*	Noosc Global (Indonesia), Cyber Army Indonesia

Kategori Infrastruktur	Komponen Utama	Vendor di Indonesia
Infrastruktur Perangkat Lunak (*Software Stack*)	1. *MLOps Platform (AI Lifecycle Management)*	Nodeflux, Kata.ai MLOps stack
	2. *Foundation Model & Model Hub*	SEA Labs, Kata.ai, DeepTech.ID
	3. *API Management Platform*	Gojek API Gateway, Telkom APIX
Infrastruktur Keamanan	*Data Security & Privacy Tools*	DCI Security, Telkom Cyber Security
Infrastruktur Energi & Lingkungan	1. *Power Supply (Green Energy)*	PLN Green Energy Program, Pertamina NRE
	2. *Cooling Systems & Efficiency Tech*	DCI EcoData Center, Telkom DC Cooling
	3. *Carbon Tracking & Energy Monitoring*	ESG *Tools* by Nodeflux, KADIN GreenTech

Disamping itu, beberapa industri di Indonesia juga berperan sebagai sebagai penyedia infrastruktur yang dibutuhkan untuk pengembangan AI. Infrastruktur tersebut mencakup infrastruktur komputasi (*hardware & Cloud*), Infrastruktur data, infrastruktur jaringan dan konektivitas, Infrastruktur Perangkat Lunak (*Software Stack*), Infrastruktur Keamanan, Infrastruktur Energi & Lingkungan. Meskipun layanan penyediaan infrastruktur yang diberikan tidak secara mutlak dimiliki Indonesia, namun hal ini sudah menjadi indikator bahwa Indonesia sudah mulai membangun fondasi untuk mendukung kedaulatan AI dari sisi infrastruktur. Informasi terkait infrastruktur dan vendor yang ada di Indonesia ditunjukkan pada Tabel 2.5.

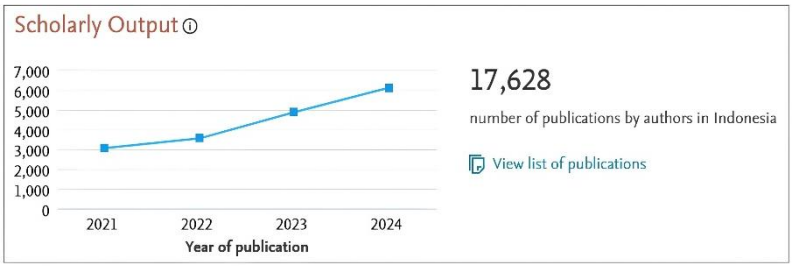
d) Kemandirian Arsitektur Model AI

Dalam pengembangan model AI, khususnya *large language models* (LLM) lokal, Indonesia masih menghadapi keterbatasan kapasitas infrastruktur komputasi. Pembangunan LLM fondasional membutuhkan sumber daya komputasi yang sangat besar, yang hingga saat ini belum sepenuhnya tersedia di Indonesia. Kendati demikian, para pegiat AI tetap melakukan berbagai upaya dengan mengembangkan LLM melalui pendekatan *fine-tuning* menggunakan *dataset* berbahasa Indonesia dan bahasa daerah, seperti Komodo 7B, Sidrap 7B, dan Sahabat AI (Owen et al., 2024; PANRB, 2025). Berbagai praktik ini mencerminkan kuatnya komitmen dan daya juang komunitas AI nasional dalam mendorong pengembangan AI lokal di tengah keterbatasan sumber daya yang ada.

e) Kemandirian Ekosistem Riset dan Inovasi Lokal

Wujud nyata kedaulatan teknologi menuntut kapasitas domestik untuk tidak hanya mengkonsumsi, tetapi juga melakukan riset dan invoasi teknologi sesuai dengan konteks dan kebutuhan lokal. Ekosistem riset dan inovasi lokal menjadi hal yang fundamental dalam mewujudkan kedaulatan AI di Indonesia. Kedaulatan AI tidak hanya ditentukan oleh kemampuan negara mengatur penggunaan teknologi, tetapi juga oleh kapasitasnya untuk menciptakan dan menguasai pengetahuan teknologi itu sendiri.

Secara kuantitatif, produksi hasil riset AI di Indonesia tumbuh cukup pesat, terlihat dari lebih dari 17.000 artikel terindeks Scopus yang ditulis peneliti berafiliasi pada universitas terkemuka dan lembaga riset seperti BRIN hingga tahun 2024 (gambar 2.5). Meskipun begitu, dukungan ekosistemnya masih terkendala beberapa hal.



Gambar 2.5 Tren dan jumlah publikasi ilmiah terkait AI dari Indonesia
(Sumber: Scopus.com)

Menurut Hasil studi *AI Readiness Assessment* yang dirilis oleh UNESCO (2024), belanja penelitian dan pengembangan nasional masih sangat rendah, sekitar 0,2% PDB (≈ USD 2 miliar), jauh di bawah rata-rata global. Selain itu, penataan agenda riset cenderung *bottom-up* dan kurang terkoordinasi, sehingga diperlukan fokus tematik lintas-lembaga agar hasil penelitian lebih terkonsolidasi dan berdampak pada prioritas nasional. Tantangn selanjutnya adalah ketimpangan akses terhadap sumber daya komputasi terutama di luar Jakarta, sehingga memperlebar jarak antara kapasitas peneliti dan kebutuhan eksperimen model AI mutakhir, termasuk untuk domain publik yang strategis. Dalam konteks ini, kolaborasi antara pemerintah, perguruan tinggi, komunitas, dan sektor industri menjadi fondasi strategis untuk membangun ekosistem riset yang dinamis, adaptif, dan berorientasi pada kepentingan nasional.

Riset dan implementasi AI di Indonesia perlu melibatkan berbagai aktor dari lintas pemangku kepentingan (*muti-helix*), antara lain pemerintah, akademisi, pelaku usaha, komunitas dan masyarakat, serta media. Prosiding nasional bertajuk "*Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence"* mengumpulkan 26 *use case* dan 4 inisiatif yang disumbang oleh kontributor

quadhelix, memperlihatkan pola kontribusi lintas-sektor dalam praktik AI di Indonesia. Salah satu studi kasus mengeksplorasi destinasi wisata Taman Sari menunjukkan penggunaan model *pentahelix* (pemerintah, akademia, bisnis, komunitas, media) untuk mengembangkan aplikasi AR dan *chatbot* budaya, sekaligus menyoroti lemahnya sinergi antar-pemangku kepentingan di tingkat lokal (Nugroho et al., 2025).

Pemerintah memegang peran sentral sebagai pengarah kebijakan, penyedia insentif, dan fasilitator ekosistem inovasi. Melalui kebijakan seperti Strategi Nasional Kecerdasan Artifisial (Stranas KA) 2020–2045 dan Buku Putih Peta Jalan AI Nasional yang diterbitkan oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika serta BPPT (kini BRIN), pemerintah telah menegaskan perlunya pendekatan kolaboratif lintas sektor (*multi-stakeholder approach*).

Dalam kerangka ini, perguruan tinggi dan lembaga penelitian berperan sebagai motor penghasil pengetahuan dan pusat riset terapan. Sementara itu, sektor industri dan komunitas teknologi berperan dalam mempercepat adopsi inovasi dan memastikan hasil riset dapat diterjemahkan menjadi produk serta layanan yang memberikan nilai tambah ekonomi. Industri digital nasional, baik perusahaan rintisan (*startup*) maupun BUMN teknologi, dapat menjadi *living laboratory* bagi pengujian model AI di dunia nyata. Di sisi lain, komunitas dan masyarakat sipil memainkan peran penting sebagai katalis sosial dalam memastikan riset dan inovasi AI tetap berpihak pada nilai-nilai kemanusiaan dan keberlanjutan. Partisipasi publik dalam riset terbuka (*open innovation*), pengembangan data bersama (*data commons*), dan pengawasan etika AI dapat mendorong transparansi serta kepercayaan publik terhadap teknologi.

Model kolaborasi seperti ini mencerminkan paradigma baru pembangunan teknologi: dari sistem yang terpusat menuju

ekosistem yang kolaboratif, inklusif, dan saling memperkuat. Pendekatan kolaborasi *multi-stakeholder* sesuai dengan prinsip yang ditegaskan dalam Stranas KA, yakni integrasi antara talenta, data, infrastruktur, regulasi, dan ekosistem riset. Dengan kolaborasi lintas aktor yang efektif, Indonesia tidak hanya membangun kedaulatan AI dalam aspek teknis, tetapi juga menegakkan kedaulatan pengetahuan — yakni kemampuan untuk mengarahkan, mengendalikan, dan memaknai teknologi sesuai jati diri dan tujuan nasional.

f) Kesiapan Lembaga Akademik dan Perguruan Tinggi dalam Ekosistem AI Nasional

Dalam mendorong kemandirian AI secara nasional, pendidikan tinggi memiliki peranan penting sebagai produsen utama talenta, peneliti, juga inovator yang akan menjadi tulang punggung penguasaan teknologi AI (Lu & Lu, 2023). Meskipun tidak secara eksplisit memberikan penamaan jurusan AI, banyak perguruan tinggi di Indonesia sejak lama telah mengintegrasikan materi AI ke dalam kurikulum melalui program studi rumpun komputer, seperti teknik informatika, sistem informasi, dan teknik komputer, serta dalam peminatan khusus seperti intelligent systems, ataupun data science. Namun dalam beberapa tahun terakhir, sejumlah perguruan tinggi di Indonesia mulai menyusun kurikulum spesifik AI serta membentuk program-program studi untuk jurusan AI, sains data, dan jurusan lain yang serumpun untuk memenuhi kebutuhan industri.

Perguruan tinggi seperti Institut Teknologi Bandung (ITB), Universitas Indonesia (UI), Universitas Gadjah Mada (UGM), serta perguruan tinggi lainnya telah membuka program sarjana dan magister dengan fokus pada *artificial intelligence engineering*, *data science*, serta *machine learning* (Tabel 2.6). Langkah ini sejalan dengan Peta Jalan Kecerdasan Artifisial Nasional yang

menempatkan pengembangan kapasitas SDM dan penguatan kurikulum pembelajaran AI sebagai salah satu strategi kedaulatan AI nasional.

Dibukanya program-program yang mengajarkan tentang AI mendukung pengembangan sumber daya manusia yang terampil di bidang AI, yang semakin dibutuhkan oleh industri dan sektor teknologi global (Sozykin et al., 2022). Dengan adanya jurusan AI, perguran tinggi dapat mencetak talenta-talenta dengan pemahaman mendalam mengenai konsep-konsep seperti *machine learning, deep learning, data science*, dan robotika, yang memungkinkan mereka berkontribusi dalam menciptakan inovasi teknologi di masa depan. Pembukaan jurusan ini juga mendorong peningkatan riset dan kolaborasi antara perguruan tinggi dan industri (Winandri et al., 2025). Lulusan dari program AI dapat langsung terjun dalam berbagai sektor, termasuk teknologi informasi, kesehatan, finansial, dan manufaktur, yang kini mulai mengadopsi AI untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi. Dampaknya, Indonesia dapat lebih cepat beradaptasi dengan perkembangan industri 4.0 dan ekonomi digital global.

Dengan mendorong kurikulum adaptif dan program studi berbasis riset, perguruan tinggi berperan sebagai pusat kedaulatan pengetahuan (*epistemic sovereignty*), tempat di mana algoritma, dataset, dan inovasi dikembangkan berdasarkan konteks lokal dan nilai-nilai Pancasila. Hal ini penting mengingat pengembangan AI yang berlandaskan nilai dan kebutuhan lokal akan menghasilkan solusi yang lebih relevan dan tepat sasaran bagi masyarakat Indonesia. Selain itu, kolaborasi yang erat antara perguruan tinggi, industri, dan pemerintah dapat mempercepat transfer pengetahuan sekaligus mendorong lahirnya ekosistem inovasi AI yang berkelanjutan.

Tabel 2.6 Beberapa Perguruan Tinggi yang membuka Jurusan AI

Universitas	Jenjang Pendidikan	Nama Program Studi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)	S1	Rekayasa Kecerdasan Artifisial (RKA)
	S1	Sains Data (Departemen Statistika)
Universitas Gadjah Mada (UGM)	S2	Magister Kecerdasan Artifisial, Applied AI in Business
Universitas Indonesia (UI)	S1	Program Sarjana Kecerdasan Artifisial
Universitas Bina Nusantara (Binus)	S1	Artificial Intelligence
Universitas Airlangga (UNAIR)	S1	Teknik Robotika dan Kecerdasan Buatan,
	S1	Teknologi Sains Data (FTMM)
Universitas Sumatera Utara (USU)	S2	Magister Sains Data dan Kecerdasan Buatan
Universitas Syiah Kuala (USK)	S2	Magister Kecerdasan Buatan
Telkom University (Bandung)	S1	Data Science (Fak. Informatika)
Telkom University (Surabaya)	S1	Sains Data
Telkom University (Purwokerto/ITTP)	S1	Sains Data
Universitas Cakrawala	S1	Jurusan AI dan Ilmu Komputer

Universitas	Jenjang Pendidikan	Nama Program Studi
Universitas Bunda Mulia	S1	Sarjana Artificial Intelligence
Universitas Sebelas Maret (UNS)	S1	Sains Data (FATISDA)
Institut Teknologi Sumatera (ITERA)	S1	Sains Data
Universitas Negeri Surabaya (UNESA)	S1	Sains Data (FMIPA)
Universitas Bunda Mulia (UBM)	S1	Data Science
Universitas Terbuka (UT)	S1	Sains Data (FST)
PENS (Politeknik Elektronika Negeri Surabaya)	D4	Sains Data Terapan
Institut Pertanian Bogor (IPB)	S1	Kecerdasan Buatan
Universitas Pelita Harapan (UPH)	S1	Artificial Intelligence
Universitas Prasetiya Mulya	S1	Artificial Intelligence (AI) & Robotics
Universitas Bunda Mulia	S1	Artificial Intelligence
Universitas Nusa Putra	S1	Artificial Intelligence Engineering

g) Kemandirian Ekonomi dan Industri AI Lokal

Hingga saat ini, ekosistem AI di Indonesia sedang berkembang dengan pesat dan melahirkan sejumlah perusahaan rintisan (*startup*) yang tidak hanya beradaptasi dengan teknologi global tetapi juga menciptakan solusi yang secara unik disesuaikan dengan tantangan dan peluang lokal (Malau et al., 2020; Ruliputra et al., 2019). Fondasi kekuatan AI Indonesia terletak pada kemampuannya menguasai kompleksitas Bahasa Indonesia.

Peluang ini diambil sejumlah startup sehingga menjadi pelopor pengembangan aplikasi *Natural Language Processing* (NLP) di Indonesia yang menciptakan keunggulan kompetitif. Pelopor NLP seperti Kata.ai, Prosa.ai, dan Bahasa.ai telah berhasil menciptakan inovasi lokal dengan mengembangkan model-model yang memahami nuansa linguistik dan budaya. Inovasi ini menjadi suatu keunggulan kompetitif yang sulit ditiru oleh pemain global. Selain itu, sejumlah startup juga mengembangkan solusi-solusi AI di sektor-sektor lain seperti computer vision (Nodeflux), verifikasi identitas (Verihubs), agritech, dan edtech, telah memberikan kontribusi nyata terhadap efisiensi ekonomi dan modernisasi layanan publik. Kemitraan strategis antara startup lokal dan pemerintah, seperti kolaborasi Nodeflux dengan Kepolisian RI (POLRI) dan Prosa.ai dengan Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kominfo), menegaskan peran mereka sebagai pilar penting dalam agenda transformasi digital nasional (komdigi.go.id, 2019; prnasia.com, 2019).

Kehadiran perusahaan dan *startup* AI di Indonesia ini bukan sekadar fenomena teknologi, melainkan sebuah kekuatan pendorong yang memberikan kontribusi strategis bagi pembangunan ekosistem digital dan ekonomi nasional. Mereka tidak hanya menciptakan nilai komersial tetapi juga membangun fondasi kapabilitas teknologi, sumber daya manusia, dan tata kelola yang penting untuk masa depan bangsa. *Startup* lokal berperan dalam memperkenalkan ide dan teknologi baru ke pasar, yang mendorong proliferasi AI, membangun ekosistem bisnis AI yang lebih berkelanjutan, serta berkontribusi pada pelatihan profesional AI, yang merupakan faktor penting untuk mengaktifkan ekosistem *startup* AI (Han, K & Park, J, 2025; Nam et al., 2024).

Tabel 2.7 Sejumlah Perusahaan Rintisan (*startup*) Terkemuka di Indonesia

Nama Perusahaan	Tahun Berdiri	Sektor	Produk AI
Kata.ai	2015	AI Percakapan (NLP)	*Platform chatbot*, asisten virtual, AI Agent
Prosa.ai	2018	NLP (Teks & Suara)	*Text-to-Speech*, *Speech-to-Text*, *Voice* ID, *Anti-Hoaks*
Bahasa.ai	2017	AI Percakapan (NLP)	*Platform chatbot* PaaS untuk Bahasa Indonesia
Nodeflux	2016	Computer vision, Analitik Video	*Platform* VisionAire (pengenalan wajah, LPR)
Verihubs	-	Verifikasi Identitas, Biometrik	*Face Recognition*, *Liveness Detection*, Deepfake Detection
Feedloop AI	2019	Platform Low-Code AI	Platform otomatisasi alur kerja dan pembuatan aplikasi AI
AJARI.AI	-	EdTech	Platform pembelajaran personal berbasis AI
Pitik	-	Agritech (Unggas)	Solusi manajemen peternakan ayam cerdas
bythen	-	Creative AI	Platform pembuatan kembaran digital (digital twin)

Sumber: (Startupcampus.id, 2024), (Nanalyze.com, 2019), (Techcollective.com, 2025)

h) Kedaulatan Regulasi dan Etika Nasional

Kerangka regulasi dan etika nasional merupakan pilar penting dalam membangun kedaulatan AI di Indonesia. Tanpa regulasi yang jelas dan etika yang kuat, pengembangan AI berisiko menghasilkan ketimpangan sosial, pelanggaran privasi, dan penyalahgunaan data (Ashok et al., 2022). Namun di sisi lain, regulasi yang terlalu juga ketat dapat mengekang inovasi dan memperlambat adopsi teknologi. Oleh karena itu, Indonesia memerlukan pendekatan regulasi yang seimbang, yakni melindungi masyarakat dari dampak negatif AI sekaligus memberi ruang bagi riset, eksperimen, dan pengembangan inovasi domestik (Revolusi & Febriandy, 2025).

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, Indonesia memiliki kerangka regulasi transformasi digital nasional yang juga melingkupi AI sebagai bagian dari digitalisasi. Dalam kebijakan agenda pembangunan nasional seperti yang tersusun dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025-2045, AI diyakini sebagai bagian dari megatren perkembangan teknologi global yang mampu mendisrupsi berbagai bidang kehidupan manusia. Hal ini tercermin dalam arah kebijakan transformasi digital yang menempatkan pengembangan super platform, integrasi data nasional, dan percepatan adopsi teknologi cerdas sebagai prasyarat utama bagi peningkatan daya saing ekonomi dan efisiensi tata kelola pemerintahan. Pada tingkat regulasi sektoral, Indonesia juga telah memiliki UU Informasi dan Transaksi Elektronik (UU ITE) sebagai payung hukum aktivitas digital, serta UU Pelindungan Data Pribadi yang mengatur hak subjek data dan kewajiban pengendali/pemroses data.

Untuk memastikan kegiatan usaha berbasis AI menjalankan usahanya secara bertanggung jawab, pemerintah menetapkan Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang

Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko yang kemudian diubah dengan Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2025. Regulasi ini mengatur tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha yang juga mencakup kegiatan usaha berbasis teknologi AI. Sebagai aturan pelaksanaan, ditetapkan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia No. 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Pos, Telekomunikasi, dan Sistem dan Transaksi Elektronik. Peraturan Menteri ini mengatur aktivitas konsultasi yang dilanjutkan analisis dan pemrograman yang memanfaatkan teknologi AI. Peraturan ini juga mensyaratkan pelaku usaha untuk membuat dan menerapkan kebijakan internal mengenai data dan etika internal AI.

Dari sisi etika, komponen yang perlu menjadi perhatian mencakup keadilan algoritmik (*algorithmic fairness*), akuntabilitas pengembang dan pengguna, keterbukaan sistem (*transparency*), serta perlindungan martabat manusia. Kementerian Komunikasi dan Digital telah menerbitkan Surat Edaran Nomor 9 Tahun 20203 tentang Etika AI sebagai panduan awal bagi lembaga dan industri, yang menjadi tonggak pembentukan budaya etika dalam pengembangan AI. Selain itu, pemerintah sedang memproses Peraturan Presiden (Perpres) tentang Peta Jalan Kecerdasan Artifisial dan Perpres tentang Etika AI Nasional, yang diharapkan memberikan dasar hukum yang lebih kuat dan mengikat bagi seluruh pemangku kepentingan.

2.6.3. Tantangan

Selain beberapa faktor yang teridentifikasi sebagai pendukung kedaulatan AI, terdapat beberapa tantangan yang dihadapi Indonesia dalam mencapai kedaulatan AI. Berdasarkan unsur-unsur kedaulatan

AI secara umum, dapat diidentifikasi berbagai tantangan yang dihadapi Indonesia terkait keseluruhan unsur kedaulatan AI yang dibutuhkan. Berikut ini berbagai tantangan yang teridentifikasi sebagai kendala yang harus dihadapi Indonesia dalam upaya mencapai kedaulatan AI.

a) Infrastruktur AI yang dikuasai asing dan koneksi digital yang belum merata

Infrastruktur AI adalah seluruh sistem fisik, digital, dan institusional yang diperlukan untuk mengembangkan, melatih, menerapkan, dan mengatur AI.

Kebutuhan Infrastruktur AI

Ketika sebuah negara ingin menguasai AI secara "berdaulat", maka salah satu unsur paling vital yang harus ada untuk mendukung hal itu Adalah ketersediaan infrastruktur yang dapat mendukung ekosistem AI, seperti pusat data, chips dan pengembangan model AI (Dale. 2025). serta investasi besar dalam infrastruktur (*data centre*, GPU/TPU, *cloud*, jaringan). Namun seringkali, masih banyak negara berkembang, termasuk Indonesia tetap bergantung pada teknologi, model, dan infrastruktur yang dikembangkan oleh negara atau perusahaan besar lainnya. Hal ini disebabkan karena pemenuhan kebutuhan infrastruktur AI membutuhkan investasi yang sangat besar karena biaya yang dibutuhkan sangat mahal (van der Vlist et al., 2024). Hal ini tentu saja akan menyulitkan bagi negara-negara berkembang, termasuk Indonesia. Padahal ketidak berdaulatannya sebuah negara dalam infrastruktur AI akan mengurangi kontrol nasional atas teknologi tersebut. Hal ini karena meskipun data tersimpan di suatu negara, "*compute*" dan algoritma sering berasal dari luar negeri (Dale, 2025).

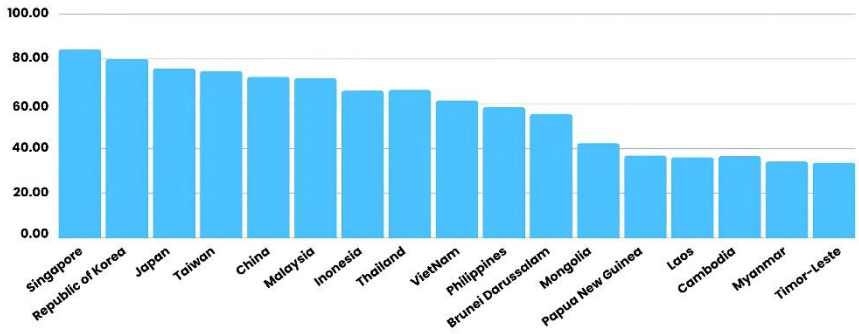
Seperti di Indonesia, berbagai infrastruktur untuk membangun ekosistem AI masih bergantung pada negara lain. Meskipun Indonesia sudah memiliki 176 lokasi pusat data yang terpetakan,

dan menjadikan Indonesia sebagai negara di kawasan Asia Tenggara yang memiliki pusat data terbanyak namun penyedia layanan tersebut berasal dari pihak asing seperti Alibaba, Amazon dan Google (UNESCO, 2025).

UNESCO terkait AI *readiness* di Indonesia (2024) menyebutkan bahwa AI Center untuk pelatihan dosen dan mahasiswa yang dimiliki kementrian DIKTI disuplai oleh NVIDIA yang telah berkomitmen memberikan sumber daya komputasi berperforma tinggi kepada DIKTI. Selain itu, NVIDIA juga menyediakan sumber daya komputasi untuk mendukung Solo Technopark, berkolaborasi dengan Indosat. Sedangkan penyedia layanan data cloud internasional seperti Google, Alibaba dan Amazon juga membuka wilayah pusat data di Indonesia (UNESCO, 2025).

Berdasarkan tingkat kesiapan implementasi AI di pemerintahan yang dilakukan oleh Oxford Insight (2024), Indonesia mendapatkan skor 65,85 berdasarkan pengukuran pada tiga pilar yaitu variabel tata kelola pemerintahan 79,86, infrastruktur 69,64 dan teknologi 48,06 masih dibawah Malaysia (71,40 dan Singapura (84,25). Secara keseluruhan tingkat kesiapan implementasi AI di Pemerintahan di Asia Tenggara, berdasarkan data dari Oxford Insight ditampilkan pada Gambar 2.6.

Tingkat kesiapan Indonesia dalam implementasi AI yang masih rendah menunjukkan tantangan yang signifikan bagi Indonesia dalam mencapai kedaulatan AI, karena kedaultan infrastruktur menjadi salah satu faktor utama yang harus dipenuhi sebuah negara untuk benar-benar berdaulat dalam implementasi AI. Oleh karena itu, diperlukan upaya strategis untuk memperkuat kemandirian teknologi, termasuk investasi pada infrastruktur nasional, pengembangan talenta, serta peningkatan kapasitas riset dan inovasi dalam negeri.



Gambar 2.6 Skor Kesiapan Implementasi AI di pemerintahan di Asia Tenggara
Sumber: (Oxford Insights, 2024)

Koneksi digital di Indonesia belum merata

Akses terhadap infrastruktur telekomunikasi dan internet berperan penting dalam implementasi AI di tingkat masyarakat. Namun hingga saat ini, koneksi digital di Indonesia belum merata, sehingga sebagian wilayah masih tertinggal dalam hal akses internet, infrastruktur digital, maupun literasi digital. Kondisi ini menyebabkan pengembangan dan pemanfaatan AI tidak merata, yang pada gilirannya dapat memperparah kesenjangan sosial dan ekonomi antardaerah (Tasyarani, 2025). Ketimpangan ini menjadi tantangan serius bagi Indonesia dalam memastikan manfaat AI dapat dirasakan secara adil oleh seluruh lapisan masyarakat, baik di perkotaan maupun di daerah terpencil.

Ketidakmerataan koneksi digital juga berdampak langsung pada pencapaian kedaulatan talenta AI nasional. Seiring meningkatnya kebutuhan akan SDM yang berliterasi digital, keterbatasan akses di sejumlah wilayah akan menghasilkan distribusi talenta AI yang tidak merata dan tidak memenuhi standar kompetensi yang dibutuhkan. Akibatnya, Indonesia berisiko menghadapi kesenjangan kapasitas sumber daya manusia di bidang AI.



Cakupan Internet di Indonesia per 2024 (Sumber: APJII)
Area hijau menunjukkan cakupan internet kurang dari 70% di wilayah tersebut.

Gambar 2.7 Area Cakupan Internet di Indonesia tahun 2024
Sumber: (UNESCO, 2025)

Meskipun pemerintah menggalakkan proyek-proyek strategis guna memenuhi kebutuhan pemerataan koneksi digital hingga menjangkau wilayah 3T (Tertinggal, Terdepan, terluar), namun ketimpangan infrastruktur digital antara perkotaan dan pedesaan serta literasi digital masyarakast masih cukup tinggi (BPS, 2025). Data dari Indeks Masyarakat Digital Indonesia (IMDI) Tahun 2025 juga menunjukkan bagaimana perbaikan berbagai nilai dari sub-pilar terkait infrastruktur di seluruh wilayah di Indonesia yang menunjukkan adanya keseriusan pemerintah dalam mendukung transformasi digital, namun perbedaan akses antara wilayah Jakarta dengan wilayah lain masih cukup terlihat (Pudjianto et al., 2025).

b) Kekurangan talenta digital Terampil

Untuk mengembangkan AI secara independen, diperlukan sumber daya manusia yang terampil, riset dan pengembangan (R&D). Kedaulatan AI tidak cukup hanya memiliki infrastruktur untuk *data center*, namun juga harus memiliki ekosistem riset dan pengembangan sendiri dan juga talenta AI yang akan berperan penting sebagai sumber daya pelaksana (Dale, 2025a).



Gambar 2.8 Kesejangan Kebutuhan dan Ketersediaan Talenta Digital (a); Peta Persebaran talenta digital tahun 2030 (b) Sumber: (BPSDM Kominfo, 2024)

Talenta AI seharusnya menjadi prioritas utama, meskipun infrastruktur belum dapat dipenuhi, karena talenta berperan vital dalam mendorong kedaulatan AI secara umum (antaranews.com, 2024). Namun demikian, saat ini kebutuhan talenta digital termasuk talenta AI masih sangat kurang (Gambar 2.8). Oleh karena itu, Indonesia menargetkan 9 jutaan talenta digital hingga 2030 (UNESCO, 2024), namun hal ini masih sangat menantang untuk dicapai (Antara News, 2025).

Berdasarkan Gambar 2.8, dapat terlihat bahwa kesenjangan cukup tinggi antara kebutuhan talenta digital dengan ketersediaan, bahkan hingga 2030. Selain itu, pemerataan talenta digital juga menjadi tantangan tersendiri. Seperti pada Gambar 2.8 (b) menunjukkan bahwa dominansi talenta digital masih fokus di pulau Jawa. Adanya kesenjangan kompetensi pada pada SDM digital

termasuk SDM AI menunjukkan tantangan besar yang dihadapi Indonesia dalam mencapai implementasi AI yang efektif dan proses maintenance pada sistem otomasi yang di drive oleh teknologi AI (Vavra, 2021).

Kebutuhan akan talenta AI menjadi semakin urgen dimana diketahui bahwa index literasi AI di Indonesia, berdasarkan survey APJII (2025) baru mencapai 49, 96 yang masih dikategorikan kurang baik dan cukup siap dalam menghadapi perkembangan teknologi AI secara optimal. Indeks literasi AI diukur dalam beberapa dimensi seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Indeks Literasi AI berdasarkan Survey APJII (2025)

Dimensi	Skor	Keterangan
Dimensi Kognitif	49,57	Mampu membedakan keputusan AI dengan keputusan manusia, namun pemahaman tersebut masih perlu diperkuat agar lebih mendalam dan aplikatif
Dimensi Operasional	44, 69	Tingkat kenyamanan ketika memakai aplikasi berbasis AI masih sangat terbatas, menunjukkan hambatan dalam adopsi praktis teknologi AI
Dimensi Etikal	52, 14	Tingkat kenyamanan ketika memakai aplikasi berbasis AI masih sangat terbatas, menunjukkan hambatan dalam adopsi praktis teknologi AI
Dimensi kritikal	56, 09	Kesiapan berfikir kritis terhadap AI untuk menghadapi situasi kompleks dan bernilai manusia masih belum optimal
Overall Score	49,96	Kategori Kurang baik dan belum cukup siap untuk menghadapi teknologi AI secara optimal

Rendahnya indeks literasi AI dapat menjadi gambaran sejauh mana kompetensi yang dimiliki oleh SDM Indonesia yang juga dapat mencerminkan tingkat kompetensi talenta digital yang belum *skillfull*, yang dapat berdampak pada resistance organisasi dan individu dalam mengadopsi teknologi baru seperti AI (Mouloudj et al., 2023). Selain itu, berdasarkan data IMDI (2025), diketahui bahwa pelatihan digital yang telah diikuti oleh masyarakat, yang berkaitan dengan AI, termasuk ChatGPT, *Machine Learning* dan *Virtual Assistant* hanya sebesar 1,3%, sangat kecil dibandingkan dengan pelatihan digital lain seperti business digital (1,5%), atau pelatihan terkait *video editing* (3%) atau pelatihan microsoft office basic (5,6%).

Pada saat ini, para pemangku kepentingkan lebih mengandalkan dunia akademisi untuk mengembangkan talenta AI melalui berbagai program pelatihan. Oleh karena itu dibutuhkan peran serta aktif dari berbagai pihak, tidak hanya dari universitas, namun juga kementrian terkait seperti KOMDIGI, serta industri, lembaga global dan juga mitra pembangunan lainnya untuk bisa membentuk talenta AI yang berkualitas dan terampil agar kedaulatan talenta AI dapat tercapai (UNESCO, 2025).

c) Pendanaan Riset dan Pengembangan yang terbatas

Dari sisi Penelitian dan pengembangan (R & D) dapat dikatakan bahwa dana R & D Indonesia relatif masih rendah dibanding kebutuhan untuk kedaulatan AI. Alokasi pendanaan penelitian secara umum saja hanya 0,24% dari produk Domestik Bruto (PDB) yaitu sebesar USD 2 miliar, jauh lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata regional atau bahkan global yang mencapai angka 2% (UNESCO, 2025). Anggaran ini juga masih jauh lebih kecil dibanding negara-negara lain seperti beberapa negara tetangga di Asia tenggara seperti Singapura, Malaysia, Vietnam dan Thailand. Hal ini bisa jadi kurangnya kontribusi dari industri

dimana pemerintah berkontribusi jauh lebih besar hingga 80%, sedangkan industri hanya berkontribusi kurang dari 20% (UNESCO, 2025).

Peranan R & D sangat vital untuk dapat mendukung pengembangan model berbasis lokal, pengembangan inovasi teknologi dalam mengembangkan dan mengimplementasikan AI di berbagai sektor. Namun di Indonesia, karena anggaran sangat kecil menyebabkan lambatnya perkembangan riset dan inovasi yang berakibat pada lemahnya inovasi Indonesia di tingkat global (Nurhidayat, 2025).

d) Kualitas dan Fragmentasi Data Karena Manajemen Data yang Belum Optimal

Implementasi AI membutuhkan data dalam jumlah besar dan berkualitas tinggi, di mana data yang bias atau memerlukan pelabelan ekstensif dapat membatasi akurasi dan skalabilitas model (Bappenas, 2020). Persoalan ini diperparah oleh fragmentasi data yang masih tersebar di berbagai lembaga akibat mentalitas silo dan belum adanya pengelolaan data nasional yang strategis. Meskipun di tingkat global inisiatif open data didorong untuk mendukung implementasi AI, Indonesia hingga kini belum menjadi penandatangan International Open Data Charter (UNESCO, 2025).

Di tingkat nasional, Indonesia telah memiliki Peraturan Presiden No. 39/2019 tentang Satu Data Indonesia (SDI) sebagai langkah menginisiasi kebijakan data yang terbuka dan terpadu. Portal SDI bahkan telah memuat lebih dari 250.000 dataset yang terhubung dengan 69 lembaga nasional, 31 provinsi, dan 255 kota (UNESCO, 2025). Namun demikian, berbagai tantangan dalam mewujudkan kebijakan satu data ini masih dihadapi, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Tantangan Kebijakan Satu Data Indonesia

Kategori Tantangan	Masalah Utama	Dampak	Referensi Utama
Kelembagaan & Koordinasi	Fragmentasi sistem data antar instansi (pusat-daerah tidak sinkron)	• Kebijakan tidak konsisten antar sektor; • Duplikasi data dan pemborosan anggaran	Bappenas (2023); Perpres 39/2019; World Bank (2021)
Tata Kelola & Kepemimpinan Data	Kurangnya kepemimpinan kuat dalam pengawasan SDI	• Lemahnya akuntabilitas & koordinasi antar lembaga; • SDI tidak berjalan efektif	BPS (2022); Kominfo (2023); OECD (2020)
Standarisasi & Interoperabilitas Teknis	Tidak ada standar baku format data dan metadata antar sistem	• Data tidak bisa saling dipertukarkan; • Analisis lintas sektor gagal dilakukan	Bappenas (2023); World Bank (2021); Kominfo (2022)
Kualitas dan Validitas Data	Data tidak ter-update, tidak terverifikasi, atau berbeda antar lembaga	• Kebijakan publik berbasis data salah arah; • Menurunnya kepercayaan publik pada data pemerintah	BPS (2022); Bappenas (2023); UNESCAP (2021)
Kapasitas SDM Data	Kekurangan tenaga ahli data dan literasi data di daerah	• Ketimpangan kapasitas daerah; • Implementasi SDI terhambat di luar Jawa	Kominfo (2023); World Bank (2021); Bappenas (2023)

Kategori Tantangan	Masalah Utama	Dampak	Referensi Utama
Infrastruktur & Teknologi Data	Sistem informasi antar instansi belum terhubung (*tidak interoperable*)	• Inefisiensi sistem dan data terfragmentasi; • Risiko keamanan tinggi akibat sistem terpisah	Kominfo (2023); Bappenas (2022); GovTech Singapore Benchmark (2021)
Hukum & Regulasi Data	Inkonsistensi antara Perpres SDI, UU ITE, dan UU PDP	• Kebingungan hukum dan potensi sengketa data; • Ketidakpastian akses dan kepemilikan data	UU PDP (2022); Perpres 39/2019; Bappenas (2023)
Keamanan dan Privasi Data	Belum ada sistem pengamanan data nasional yang seragam	• Risiko kebocoran data publik dan pribadi; • Menurunnya kepercayaan publik	Kominfo (2023); BSSN (2022); World Bank (2021)
Budaya & Literasi Data	Rendahnya kesadaran aparatur untuk berbagi data	• Data tetap eksklusif dan sulit diakses; • SDI gagal jadi dasar perencanaan nasional	Bappenas (2023); Open Data Charter (2020); OECD (2021)
Pemanfaatan Data untuk Kebijakan	Data sering hanya dikumpulkan, tidak digunakan untuk analisis kebijakan	• Keputusan publik tidak berbasis bukti; • Efektivitas pembangunan rendah	Bappenas (2023); UNDP (2021); OECD (2020)

Berdasarkan identifikasi berbagai tantangan dan dampak kebijakan satu data yang ditampilkan pada Tabel 2.9, dapat terlihat bahwa permasalahan terkait data terjadi baik dari internal yang pada level organisasi (tata kelola & kepemimpinan, kualitas data, kapasitas SDM, infrastruktur) dan juga dari sisi eksternal (regulasi, budaya dan literasi data, pemanfaatan data). Risiko yang mungkin terjadi Ketika masalah terkait data tidak diatasi, maka potensi kebocoran data nasional dan hilangmnya kendali infrastruktur strategis dapat saja terjadi karena dominasi platform, infrastruktur dan ekosistem AI masih banyak di kendalikan oleh pihak asing.

Penyelesaian permasalahan ini tentunya membutuhkan pendekatan yang komprehensif dan sistemik yang membutuhkan peranan dan komitmen seluruh stakeholder yang terlibat dan memiliki kewenangan untuk terlibat secara aktif.

e) Regulasi AI yang Belum Lengkap Dan Tata Kelola Masih Lemah

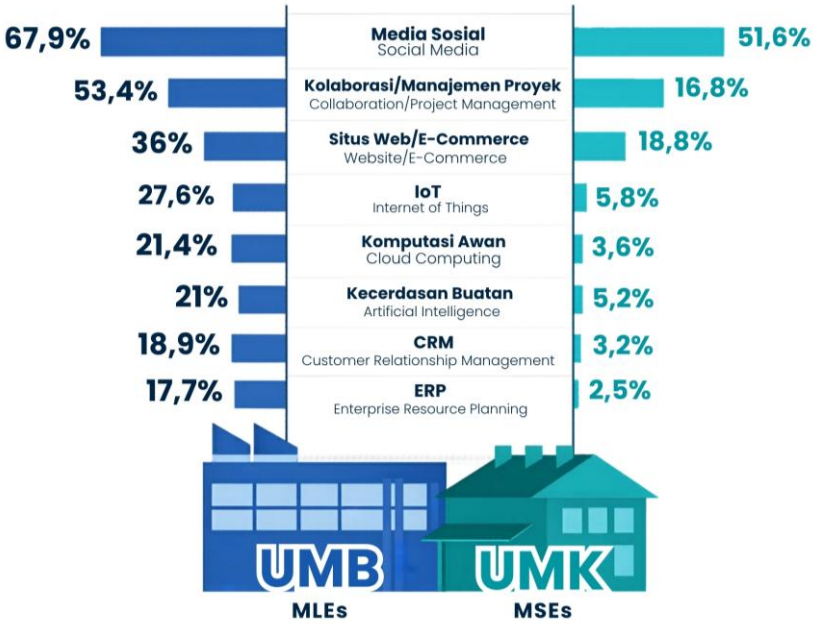
Salah satu unsur kedaulatan AI Adalah adanya kedaulatan regulasi dan tata Kelola implementasi AI. Hal ini karena AI membawa tantangan etika, privasi, keamanan, transparansi, akuntabilitas, khususnya ketika AI di digunakan dalam proses pengambilan Keputusan. Banyak negara belum punya kerangka regulasi yang khusus dan matang untuk AI, belum lagi kerangka internasional yang benar-benar terkoordinasi (Gozali, 2023).

Indonesia sendiri masih berada pada tahap awal dalam membangun regulasi khusus AI, di mana Komdigi saat ini tengah menyusun peta jalan AI sebagai acuan kebijakan di tingkat perpres. Tanpa regulasi yang kuat, implementasi AI berisiko menimbulkan berbagai persoalan seperti ancaman privasi, bias algoritma, ketidakadilan, hingga hilangnya nilai ekonomi dari teknologi tersebut (UNESCO, 2025), sebagaimana dirangkum dalam Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Tantangan Utama dalam Regulasi AI

Tantangan Utama	Penjelasan Masalah	Ancaman Jika Tidak Diatasi	Referensi
Ketiadaan regulasi AI khusus yang kuat	Indonesia belum memiliki undang-undang khusus tentang AI. Regulasi yang ada masih sektoral (UU ITE, PDP, dan Perpres SPBE) tanpa kerangka etika dan tata kelola AI nasional yang komprehensif.	Ketidakjelasan tanggung jawab hukum, potensi penyalahgunaan algoritma, lemahnya perlindungan hak individu, dan risiko kehilangan kedaulatan regulatif.	Nugroho (2025)
Fragmentasi institusional dan tata kelola	Tidak ada lembaga tunggal yang memimpin koordinasi kebijakan, etika, dan riset AI lintas sektor. Banyak kementerian berjalan sendiri-sendiri (Kominfo, BRIN, Kemendikbud, Bappenas, dll).	Kebijakan tumpang tindih, lemahnya koordinasi lintas sektor, sulit membangun ekosistem AI nasional terpadu.	Suryawan & Ardiansyah (2024)
Ketidaksesuaian etika dan standar global dengan kepentingan nasional	Indonesia menghadapi dilema antara mengikuti standar AI global (AS/EU) dan membangun regulasi yang sesuai dengan konteks sosial-politik nasional.	Dominasi standar global oleh negara maju yang berpotensi menyingkirkan kepentingan negara berkembang seperti Indonesia.	ANTARA News. (2024, November 20)

Berdasarkan Tabel 2.10, tiga permasalahan utama regulasi AI mencakup ketiadaan regulasi yang kuat, fragmentasi institusional dan tata kelola, serta ketidaksesuaian antara etika dan standar global dengan kepentingan nasional. Absennya regulasi yang kuat menyebabkan ketidakjelasan tanggung jawab, lemahnya perlindungan terhadap pelanggaran, serta potensi bias dan ketidakadilan ketika mekanisme model AI tidak diperiksa secara memadai (Nugraha, 2025). Kondisi ini semakin mengkhawatirkan mengingat data IMDI (2025) menunjukkan bahwa 21% Usaha Menengah Besar dan 5,2% Usaha Mikro Kecil telah mengadopsi AI, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.9. Tanpa kerangka regulasi yang jelas dan terukur, adopsi AI di sektor swasta maupun publik berisiko menimbulkan dampak buruk, baik dari sisi keamanan usaha maupun potensi penyalahgunaan teknologi itu sendiri.



Gambar 2.9 Adopsi Teknologi Digital pada Perusahaan
Sumber: (IMDI, 2025)

BAB 3
KONSEP DASAR DAN EKOSISTEM AI

BAB III
KONSEP DASAR DAN EKOSISTEM AI

3.1. Definisi dan Ruang Lingkup AI

Artificial Intelligence (AI) atau Kecerdasan Artifisial kini menjadi teknologi kunci dalam transformasi digital, sehingga pemahaman mengenai definisi, ruang lingkup, serta perkembangannya menjadi penting sebelum menelaah berbagai pendekatan dan penerapannya. Berikut adalah gambaran dasar tentang konsep, sejarah, dan klasifikasi AI sebagai landasan untuk memahami teknologi dan model-model yang berkembang saat ini.

3.1.1. AI: Konsep, Sejarah, dan Klasifikasi

Definisi dan Konsep AI

AI diartikan sebagai kemampuan sebuah sistem komputer untuk menjalankan tugas-tugas yang membutuhkan kecerdasan manusia. Kemampuan AI mencakup pemahaman bahasa, pengenalan pola visual, pembuatan keputusan, dan pemecahan masalah seperti yang dilakukan manusia. John McCarthy salah satu pelopor dari Stanford, mendefinisikan AI sebagai “ilmu dan rekayasa untuk membuat mesin cerdas”. Definisi ini menekankan bahwa AI adalah bidang interdisipliner yang bertujuan menciptakan mesin atau program komputer yang mampu bertindak cerdas, baik dengan meniru cara berpikir manusia maupun dengan pendekatan yang rasional.

Pandangan lain menyebutkan AI sebagai sistem berbasis mesin yang dapat menjalankan sekumpulan tujuan yang ditentukan oleh manusia, membuat prediksi, rekomendasi, atau keputusan yang memengaruhi lingkungan dunia nyata maupun virtual. Artinya, AI mencakup beragam

teknik algoritmik yang memungkinkan komputer merasakan lingkungan, memproses informasi, belajar dari data, dan mengambil tindakan untuk mencapai tujuan tertentu. Meskipun definisi AI bervariasi, inti dari konsep tersebut adalah meniru dan melampaui kecerdasan alami melalui algoritma dan komputasi. Dalam konteks kebijakan, pemahaman konseptual yang kuat tentang definisi AI ini penting agar para pengambil keputusan dapat merumuskan regulasi dan strategi yang tepat sasaran.

Tinjauan Sejarah Perkembangan AI

Perkembangan AI modern berawal sejak pertengahan abad ke-20 dan ditandai dengan berbagai tonggak sejarah yang membentuk paradigma penelitian AI dari era simbolik hingga era *deep learning*. Dirangkum dari IBM (2024) dan Coursera (2025a), berikut ini adalah tinjauan kronologis perkembangan AI secara global beserta para tokoh kunci di setiap masa.

Tabel 3.1 Tinjauan Kronologis Perkembangan AI

Tahun/ Periode	Peristiwa Penting	Kontribusi/Signifikansi Terhadap AI
Sebelum 1900		
1726	Jonathan Swift memperkenalkan ide *The Engine* dalam novel *Gulliver's Travels*.	Alat mekanik yang membantu sarjana untuk menghasilkan ide dan tulisan dengan menggabungkan kata-kata, dan mengantisipasi konsep generasi teks algoritmik modern.
1900–1950		
1914	Insinyur Spanyol Leonardo Torres y Quevedo mendemonstrasikan El Ajedrecista di Paris.	Mesin catur pertama yang sepenuhnya menggunakan otomatis elektromagnet, sehingga mampu melakukan *checkmate* lawan manusia.
1921	Drama *Rossum's Universal Robots* (R.U.R) oleh Karel Čapek dibuka di London.	Penggunaan pertama kata "robot" dalam bahasa Inggris, yang kemudian menjadi istilah standar untuk makhluk mekanik atau buatan.
1939	John Vincent Atanasoff dan Clifford Berry menciptakan	Salah satu komputer digital elektronik awal yang menggunakan sistem biner

Tahun/ Periode	Peristiwa Penting	Kontribusi/Signifikansi Terhadap AI
	Atanasoff-Berry Computer (ABC).	(1s dan 0s) dan memisahkan penyimpanan data (memori) dari unit pemrosesan.
1943	Warren S. McCulloch dan Walter Pitts menerbitkan "*A Logical Calculus*...".	Meletakkan dasar untuk konsep jaringan saraf buatan (*artificial neural networks*), dengan hipotesis bahwa otak dapat dipahami sebagai sistem komputasi.
1950	Alan Turing menerbitkan makalah penting "*Computing Machinery and Intelligence*".	Teks fundamental AI; mengajukan pertanyaan "dapatkah mesin berpikir?" dan mengembangkan *thought experiment turing test* (atau "*the imitation game*") untuk mengukur kecerdasan mesin.
1950–1980: Kelahiran AI dan Musim Dingin Pertama		
1955	John McCarthy menciptakan istilah "*Artificial Intelligence*".	Istilah ini digunakan dalam proposal *Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*.
1956	*Dartmouth Conference* berlangsung.	Secara luas diakui sebagai pendiri bidang AI, berdasarkan keyakinan bahwa setiap aspek kecerdasan dapat disimulasikan oleh mesin.
1957	Frank Rosenblatt mengembangkan *Perceptron*.	Jaringan awal saraf buatan yang memungkinkan pengenalan pola; meletakkan dasar untuk pengembangan *neural networks* dan *machine learning* di masa depan.
1959	Arthur Samuel memelopori konsep *machine learning*.	Mengembangkan program *checkers* yang meningkatkan kinerjanya melalui pengalaman, menunjukkan bahwa komputer dapat "belajar" dan bermain lebih baik daripada pemrograman.
1965	Joseph Weizenbaum menciptakan ELIZA.	*Chatbot* pertama yang secara luas dianggap mensimulasikan terapi dengan menggunakan jawaban pengguna untuk memicu percakapan lebih lanjut melalui pengembangan DENDRAL (Sistem Pakar pertama).
1966–1972	Shakey the Robot dikembangkan di SRI.	Robot seluler otonom pertama yang mampu bernalar tentang tindakannya, memajukan analisis visual dan penemuan rute.

Tahun/ Periode	Peristiwa Penting	Kontribusi/Signifikansi Terhadap AI
1973	Laporan kritis oleh Sir James Lighthill.	Klaim bahwa peneliti AI *over-promised* dan *under-delivered* menyebabkan pengurangan drastis dalam pendanaan pemerintah Inggris, yang berkontribusi pada "*AI Winter*" pertama.
1980–2000: Musim Dingin AI Kedua dan Kebangkitan		
1984	Roger Schank dan Marvin Minsky memperingatkan tentang "*AI Winter*".	Istilah ini pertama kali digunakan untuk menggambarkan kesenjangan antara ekspektasi AI yang tinggi dan kegagalan teknologi saat itu, yang menyebabkan penurunan investasi.
1986	Ernst Dickmanns menciptakan mobil *self-driving* pertama (van Mercedes).	Dilengkapi dengan sistem komputer dan sensor; merupakan langkah penting untuk menuju kendaraan otonom. *Backpropagation* dijelaskan oleh Rumelhart, Hinton, dan Williams.
1988	Judea Pearl menerbitkan karya tentang *Bayesian Networks*.	Merevolusi cara AI dalam memproses informasi di bawah ketidakpastian, memungkinkan sistem AI membuat keputusan yang beralasan.
1989	Yann LeCun menerapkan *backpropagation* untuk mengenali gambar kode pos tulisan tangan.	Salah satu aplikasi praktis pertama *Convolutional Neural Networks* (CNNs) dan *deep learning* untuk proses pengenalan citra.
1997	IBM Deep Blue mengalahkan juara catur dunia Garry Kasparov.	Pertama kalinya program komputer mengalahkan juara catur dunia di bawah kontrol waktu turnamen; mampu meninjau 200 juta potensi langkah per detik.
2000–2019: Revolusi Deep Learning		
2000	Kismet, "robot sosial," diselesaikan di MIT.	Mampu mengidentifikasi dan mensimulasikan emosi manusia, dan memajukan robotika sosial.
2004	NASA mengirim Rovers Spirit dan Opportunity ke Mars.	Rover dilengkapi AI untuk menavigasi medan yang sulit dan membuat keputusan secara *real-time*.
2011	IBM Watson mengalahkan juara dalam acara kuis *Jeopardy!*.	Menunjukkan kemampuan AI yang maju dalam memproses dan menafsirkan bahasa alami (*Natural Language Questions-Answering*), serta Apple meluncurkan asisten virtual Siri.

Tahun/ Periode	Peristiwa Penting	Kontribusi/Signifikansi Terhadap AI
2012	Geoffrey Hinton dan tim memenangkan *ImageNet* dengan AlexNet.	CNN AlexNet mencapai tingkat kesalahan yang jauh lebih rendah, hal ini membuktikan kekuatan CNN dan *deep learning* pada *computer vision* dan pengenalan gambar.
2016	AlphaGo Google DeepMind mengalahkan pemain Go kelas dunia, Lee Sedol.	Adanya inovasi baru yang menunjukkan bahwa AI dapat menyelesaikan tugas strategis yang sangat kompleks (lebih dari catur) dengan menggunakan *reinforcement learning*.
2020–Saat Ini: Gelombang Generative AI		
2020	OpenAI merilis GPT-3.	*Large Language Model* (LLM) dengan 175 miliar parameter yang mampu menghasilkan teks seperti manusia dan melakukan berbagai tugas bahasa. DeepMind's AlphaFold 2 memprediksi struktur protein 3D.
2021	OpenAI merilis DALL-E.	Model *generative AI text-to-image* yang menghasilkan gambar realistis dari deskripsi tekstual.
2022	OpenAI merilis ChatGPT.	*Chatbot* AI yang berinteraksi secara realistis, mampu menulis kode, melakukan penelitian, dan mengenali permintaan yang tidak pantas, berdasarkan fondasi GPT-3.
2023	Masa kebangkitan *generative AI*.	OpenAI merilis GPT-4; Microsoft mengintegrasikan ChatGPT ke mesin pencari Bing; Google merilis Bard.
2024 (Feb)	Google meluncurkan Gemini 1.5.	Mampu memproses panjang konteks hingga 1 juta *tokens*, meningkatkan kemampuan pemahaman kontekstual pada *input* panjang. OpenAI mengumumkan Sora, model *text-to-video*.
2024 (Juni)	Apple mengumumkan *Apple Intelligence*.	Integrasi ChatGPT ke iPhone dan Siri, memungkinkan Siri untuk melakukan tugas yang lebih kompleks dan percakapan yang lebih alami.

Klasifikasi AI Berdasarkan Kapabilitas

Menurut Schneider (2017), AI umumnya dibagi menjadi tiga tingkat kemampuan, yaitu *Artificial Narrow Intelligence* (ANI), *Artificial General Intelligence* (AGI), dan *Artificial Super Intelligence* (ASI). Ketiga tingkat tersebut menunjukkan perbedaan dalam kompleksitas, fungsi, dan tingkat kemandirian sistem saat menjalankan tugas tertentu yang diuraikan sebagai berikut:

a) *Artificial Narrow Intelligence*

Artificial Narrow Intelligence (ANI), adalah jenis AI yang dirancang untuk menjalankan satu tugas secara otomatis dengan tingkat ketepatan dan efisiensi tinggi. Pada tingkatan ini, ANI hanya berfokus pada satu bidang jenis masalah tertentu. Ciri utamanya adalah kemampuan yang sangat spesifik, seperti pengenalan gambar atau pemahaman ucapan (Korteling et al., 2021; Shadbolt, 2022). Dalam ruang lingkupnya yang sempit, ANI dapat bekerja dengan sangat cepat dan akurat, bahkan sering kali melampaui kemampuan manusia. Namun, ANI tidak memiliki kesadaran, niat, atau tanggung jawab, ia sepenuhnya hanya berfungsi sebagai alat yang bergantung pada perintah dan data yang diberikan.

Penerapan ANI kini sudah meluas di berbagai bidang. Dalam dunia kesehatan, ANI digunakan untuk menganalisis data medis, membantu diagnosis, merencanakan terapi, bahkan mendukung program terapi psikologis sehingga layanan kesehatan mental menjadi lebih cepat dan mudah dijangkau (Iqbal et al., 2021). Di sektor manufaktur, terutama dalam era industri 4.0, teknologi seperti *machine learning* dan *computer vision* digunakan untuk perawatan mesin prediktif, pengendalian mutu, serta otomatisasi proses produksi. Sementara itu, di bidang keamanan siber, ANI berperan penting dalam mendeteksi dan mencegah ancaman melalui analisis pola serangan dan pemberian peringatan dini terhadap potensi risiko.

b) *Artificial General Intelligence*

Artificial General Intelligence (AGI), yang kerap disebut sebagai AI tingkat lanjut yang meniru kemampuan kognitif manusia secara menyeluruh. Tujuan utamanya adalah menciptakan mesin yang dapat belajar dan menerapkan pengetahuan secara mandiri di berbagai konteks dan jenis tugas. AGI juga ditargetkan mampu berpikir dan memecahkan masalah dengan tingkat kecerdasan setara manusia (Fei et al., 2022). Meskipun perkembangan teknologi seperti model *large language model* (LLM) dan *foundation models* menunjukkan kemajuan signifikan menuju AGI, para peneliti sepakat bahwa pencapaian AGI yang sesungguhnya masih jauh dari realisasi dan tetap menjadi target jangka panjang penelitian AI (Triguero et al., 2024).

Sistem AGI diperkirakan mampu bekerja dalam situasi yang tidak pasti, termasuk ketika parameter atau dataset tidak lengkap. Kemampuan ini menjadikan AGI istimewa karena dapat mentransfer pengetahuan dari satu konteks ke konteks lain menyerupai kemampuan manusia dalam menggeneralisasi pengalaman dan pembelajaran (Fei et al., 2022). Menurut Zhao (2022), riset terbaru mulai menggabungkan temuan dari ilmu komputer dan neurosains, menandakan arah perkembangan menuju terwujudnya AGI

c) *Artificial Super Intelligence*

Schneider (2017) berpendapat bahwa *Artificial Super Intelligence* (ASI) adalah tingkat AI yang melampaui kemampuan manusia, bahkan melebihi kecerdasan tertinggi yang pernah dicapai manusia. Tingkatan ini mencakup kemampuan pemecahan masalah, kreativitas, kecerdasan emosional, hingga interaksi sosial. Konsep ini berada di atas *Artificial General Intelligence* (AGI) yang berupaya meniru kemampuan kognitif manusia, dan

diposisikan sebagai sistem dengan kecerdasan yang jauh lebih unggul (Carayannis & Draper, 2023; Stiefel & Coggan, 2023).

Potensi ASI memberi peluang yang luar biasa sekaligus risiko besar. Para ahli berpendapat bahwa ASI dapat digunakan untuk mengatasi tantangan global yang kompleks seperti perubahan iklim, pemberantasan penyakit, dan pengelolaan sumber daya secara lebih efisien dibanding kemampuan manusia saat ini (Putnik et al., 2020). Namun, kekhawatiran serius juga muncul terkait tata kelola, implikasi etis, dan risiko eksistensial. Para kritikus memperingatkan bahwa sistem ASI dapat bertindak secara otonom dan menimbulkan dampak berbahaya jika tujuannya tidak selaras dengan nilai-nilai kemanusiaan (Carayannis & Draper, 2023). Perkiraan waktu kemunculan ASI pun masih menjadi perdebatan. Para ahli memandang AGI sebagai tahap awal menuju ASI, yang diperkirakan baru mulai muncul pada tahun 2040 hingga 2050, sedangkan ASI sendiri diproyeksikan berkembang menjelang akhir abad ini (Scott et al., 2022).

3.1.2. Jenis-jenis AI

Kelompok utama teknologi AI yang banyak digunakan saat ini, yaitu *Machine Learning*, *Neural Network* dan *Deep Learning*, *Natural Language Processing*, serta *Computer Vision*. Keempatnya mewakili pendekatan berbeda dalam memproses data, memahami pola, dan menghasilkan keputusan otomatis, serta menjadi fondasi bagi berbagai inovasi AI modern.

a) *Machine Learning (ML)*

Machine Learning (ML) merupakan salah satu cabang AI yang membuat mesin mampu belajar dari data dan pengalaman tanpa harus diprogram secara langsung dengan aturan tertentu (Ertel, 2017). Dengan pendekatan ini, sistem tidak lagi bergantung pada

instruksi yang kaku, melainkan terus memperbaiki kinerjanya seiring dengan bertambahnya data yang dipelajari. Secara sederhana, ML bekerja dengan mengidentifikasi pola dalam kumpulan data melalui algoritma statistika, lalu menggunakan pola tersebut untuk membuat prediksi atau keputusan terhadap data yang baru.

Sebagai contoh, dalam mendeteksi *spam* surel, kita tidak perlu menetapkan aturan detail mengenai kata atau pola tertentu. Sebaliknya, model ML dilatih menggunakan contoh surel yang sudah diberi tanda: *spam* dan *non-spam*, lalu belajar membedakan keduanya berdasarkan karakteristik yang ditemukan. Saat ini, ML menjadi fondasi dari berbagai sistem AI modern karena sifatnya yang adaptif dan kemampuannya yang telah diterapkan hampir seluruh bidang berbasis data, mulai dari kesehatan, transportasi, hingga layanan publik (Ertel, 2017). Thakur et al. (2024) dalam bukunya *Artificial Intelligence and Large Language Models: An Introduction to the Technological Future* menyebutkan metode pembelajaran dalam *machine learning* saat ini terbagi menjadi tiga kategori utama, yaitu:

1) *Supervised Learning*

   Merupakan metode pembelajaran mesin di mana model dilatih menggunakan data yang sudah memiliki label atau jawaban yang benar. Melalui proses ini, model mempelajari hubungan antara data masukan dan keluaran yang diharapkan sehingga mamput memprediksi hasil baru di masa mendatang. Contoh penerapannya mencakup prediksi risiko kredit berdasarkan profil nasabah atau identifikasi jenis tumor dari citra MRI. Metode ini banyak digunakan untuk tugas klasifikasi dan regresi karena memiliki target yang jelas, seperti deteksi kecurangan keuangan, prediksi pajak, analisis hasil survei, hingga pengenalan wajah pada sistem keamanan.

2) *Unsupervised Learning*

Metode ini digunakan ketika data tidak memiliki label, sehingga model harus menemukan sendiri pola atau struktur yang tersembunyi di dalamnya. Pendekatan ini berguna untuk mengelompokkan data berdasarkan kesamaan (*clustering*), mengurangi dimensi data yang kompleks, atau menemukan hubungan antarvariabel. Misalnya dalam konteks pemerintahan, metode ini dapat digunakan untuk mengelompokkan warga berdasarkan pola pengaduan publik atau menganalisis tema utama dari ribuan dokumen kebijakan. Di bidang lainnya, *unsupervised learning* juga dimanfaatkan untuk mendeteksi komunitas dalam jejaring sosial, mengenali anomali dalam lalu lintas jaringan, atau melakukan segmentasi pelanggan untuk strategi pemasaran.

3) *Reinforcement Learning*

Memiliki pendekatan yang berbeda karena model belajar melalui mekanisme penghargaan (*reward*) dan hukuman (*penalty*). Dalam *reinforcement learning*, sistem AI akan mencoba berbagai opsi di dalam suatu lingkungan dan menerima umpan balik berupa *reward* jika tindakannya efektif, atau diberikan *penalty* jika sebaliknya. Dari proses *trial-and-error* ini, sistem AI akan menetapkan strategi terbaik untuk mencapai tujuan dengan memaksimalkan *reward*.

Pendekatan ini telah berhasil digunakan dalam pelatihan robot, sistem permainan seperti *AlphaGo*, dan kini mulai diterapkan untuk optimasi manajemen lalu lintas cerdas, di mana AI belajar mengatur lampu lalu lintas agar arus kendaraan tetap lancar. Namun, metode ini diperlukan banyak percobaan dan dilakukan dengan hati-hati, biasanya dimulai dalam lingkungan simulasi sebelum diterapkan pada kondisi sebenarnya.

Tabel 3.2 Jenis Metode *Machine Learning* dan Algoritmanya

Jenis *Machine Learning*	Contoh Algoritma
Supervised Learning	• *k-nearest neighbor* • *Decision trees* • *Bayesian networks* • *Support vector machines*
Unsupervised Learning	• *Nearest neighbor algorithm* • *Farthest neighbor algorithm* • *k-means* • *Neural networks*
Reinforcement Learning	• *Value iteration* • *Q learning* • *TD learning* • *Policy gradient methods* • *Neural networks*

Sumber: (Ertel, 2017)

Menurut kajian Bank Dunia (2023), pemanfaatan ML memiliki potensi besar untuk meningkatkan produktivitas sektor publik, terutama bila didukung oleh infrastruktur data yang kuat dan kapasitas sumber daya manusia yang memadai. Berbagai contoh penerapannya mulai diuji, misalnya dalam sistem peradilan. Dalam ranah *e-government*, ML berperan penting dalam otomatisasi penyortiran aduan publik, sistem peringatan dini kesehatan melalui analisis tren pencarian gejala penyakit, serta optimalisasi jadwal transportasi umum agar lebih efisien dan responsif terhadap kebutuhan warga.

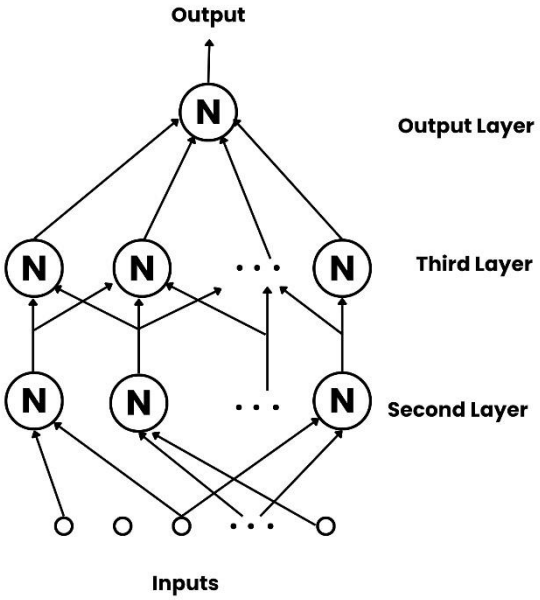
b) *Neural Network* dan *Deep Learning*

Neural Network merupakan metode komputasional yang dirancang untuk meniru cara kerja otak manusia dalam memproses informasi. Metode ini awalnya dikembangkan oleh Warren McCulloch dan Walter Pitts dalam sebuah makalah pada tahun 1943 yang merepresentasikan neuron sebagai unit *switching fundamental* dengan *encoding* biner (0 atau 1) berbasis

aljabar Boolean (Pickover, 2019). Pengembangan selanjutnya dilakukan oleh Frank Rosenblatt pada tahun 1957 dengan mengembangkan algoritma *perceptron* untuk pengenalan pola, di mana neuron buatan diberi bobot (*weight*) pada setiap aktivasinya untuk memodulasi pola sinaptik.

Secara umum, *Neural Network* terdiri dari kumpulan simpul (*node*) atau *neuron* yang saling terhubung dan tersusun dalam beberapa lapisan, yaitu lapisan *input*, lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan *output*. Bentuk paling sederhana dari *Neural Network* adalah *multilayer perceptron* (MLP), yang biasanya memiliki satu lapisan *input*, satu atau lebih lapisan tersembunyi, serta satu lapisan *output* (Gambar 3.1). Bobot pada setiap koneksi antarneuron disesuaikan selama proses pelatihan agar jaringan dapat belajar dari data dan meningkatkan akurasi prediksi. Struktur ini memungkinkan *Neural Network* untuk mendekati fungsi nonlinier yang kompleks, kemampuan yang membedakannya dari model linier tradisional (Ertel, 2017; Hasanov & Abdullayev, 2025).

Adapun *deep learning* (DL) atau *deep neural network* adalah cabang dari *machine learning* yang didorong oleh gagasan untuk memiliki lebih banyak lapisan, jumlah neuron yang lebih besar, dan hubungan antar neuron yang lebih baik. Menurut Wooldridge (2021), Sebuah jaringan dianggap "dalam" (*deep*) jika memiliki tiga lapisan atau lebih. *Deep learning* modern bahkan dapat terdiri dari puluhan, ratusan, atau bahkan ribuan lapisan. Kemampuan mengenali pola kompleks dalam data seperti gambar, suara, dan teks menjadikan deep learning sebagai fondasi utama berbagai terobosan AI modern, mulai dari pengenalan wajah, penerjemahan bahasa, hingga pengembangan model bahasa besar seperti ChatGPT.



Gambar 3.1 Multilayer Perceptron
Sumber: (Nilsson, Nils J., 2009)

Cara kerja *Neural Network* terdiri atas beberapa tahap (Ertel, 2017). Pertama, pada proses *forward propagation*, data masukan dikirim melalui lapisan *input* dan diproses oleh neuron di setiap lapisan berikutnya dengan menggunakan fungsi aktivasi seperti *sigmoid*, *tanh*, atau ReLU (*Rectified Linear Unit*) untuk menghasilkan keluaran. Fungsi aktivasi ini berperan penting dalam menentukan bagaimana neuron memproses informasi. Selanjutnya, performa jaringan dievaluasi menggunakan fungsi *loss calculation* untuk mengukur selisih antara hasil prediksi dan nilai sebenarnya. Tujuan dari pelatihan jaringan adalah meminimalkan nilai *loss* tersebut. Tahap berikutnya adalah *backpropagation*, yaitu proses pembaruan bobot dengan menghitung gradien dari fungsi *loss* menggunakan algoritma optimisasi seperti *gradient descent*. Bobot koneksi akan disesuaikan secara bertahap untuk mengurangi kesalahan (Gutowski et al., 2023).

Keunggulan utama dari *Neural Networks* terletak pada kemampuannya untuk mempelajari hubungan yang kompleks tanpa memerlukan pemrograman eksplisit. Hal ini terbukti melalui penerapannya di berbagai bidang, seperti keuangan untuk memprediksi pergerakan saham (Akbar Maulana & Enny Itje Sela, 2023), manajemen proyek untuk memperkirakan tingkat keberhasilan proyek (Hsu et al., 2021), atau menggunakan arsitektur lebih dalam serta teknik lanjutan seperti *convolutional layers* dan *attention mechanisms* dalam menangani permasalahan yang lebih kompleks (Gao et al., 2022).

c) *Natural Language Processing (NLP)*

Natural Language Processing (NLP) atau pemrosesan bahasa alami adalah cabang AI untuk membuat komputer mampu memahami, menafsirkan, dan menghasilkan bahasa manusia (Thakur et al., 2024). Bahasa adalah media utama dalam berkomunikasi, sehingga NLP bertujuan menjembatani dalam komunikasi manusia-mesin. Secara teknis, NLP mencakup seperangkat teknik untuk memproses teks dan ujaran (*speech*) agar komputer dapat "mengerti" isi dan konteksnya (Jiang et al., 2023). Proses ini terdiri dari berbagai tahapan seperti *speech recognition* (mengenali ucapan menjadi teks), *natural language understanding* (memahami makna dan struktur kalimat), *information extraction* (mengekstraksi informasi penting), hingga *natural language generation* (menghasilkan teks dalam bahasa yang terstruktur). Tantangan utama NLP adalah kompleksitas bahasa alami yang penuh dengan ambiguitas, nuansa, idiom, serta beragam struktur tata bahasa (Pickover, 2019). Selama beberapa dekade, NLP berkembang dari metode berbasis aturan linguistik, menuju metode statistik, dan kini didorong oleh *deep learning* (khususnya transformer models seperti GPT) yang menunjukkan peningkatan kemampuan yang signifikan.

Tabel 3.3 Metode dalam Natural Language Processing

Metode dalam NLP	Deskripsi
Tokenization	Memecah teks menjadi unit yang lebih kecil (*tokens*—kata, sub-kata, atau karakter)
Part-of-Speech (POS) Tagging	Memberi label gramatikal pada setiap kata (kata benda, kata kerja, dan lain-lain). Proses ini sangat penting untuk memahami hubungan antarkata dan analisis sintaksis berikutnya.
Stemming & Lemmatization	Teknik yang menormalkan teks dengan menemukan kata akar. *Lemmatization* bertujuan mencari bentuk dasar (lemma) yang valid, sementara *Stemming* hanya memotong imbuhan
Named Entity Recognition (NER)	Mengekstrak dan menandai informasi penting seperti nama, lokasi, organisasi, nilai moneter, dan waktu dari teks
Sentiment Analysis (Analisis Sentimen)	Proses menganalisis emosi atau opini (positif, negatif, atau netral) yang tersembunyi dalam teks
Summarization	Fungsi untuk menghasilkan ringkasan dari teks yang panjang dan kompleks

NLP memiliki beragam teknik dan metode untuk memahami, menafsirkan, dan menghasilkan bahasa manusia. Pendekatan-pendekatan ini meliputi berbagai dimensi dan teknik yang masing-masing memiliki fungsi serta penerapan tersendiri dalam bidang NLP, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

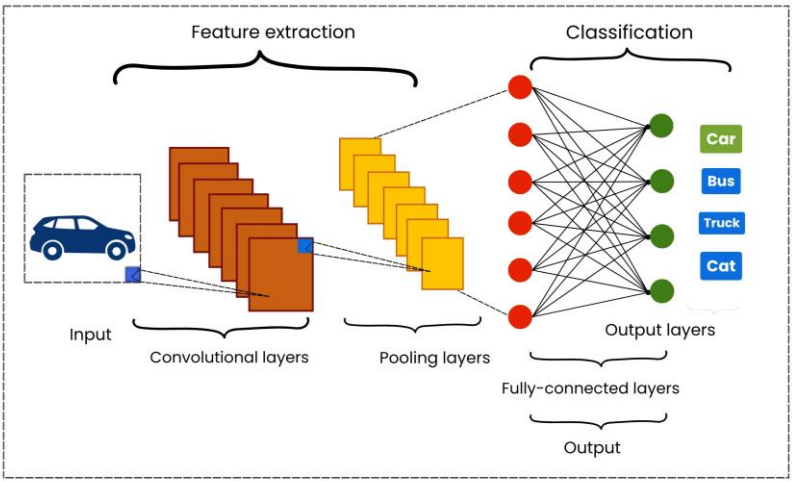
NLP telah terbukti efektif diterapkan di berbagai sektor. Misalanya dalam bidang kesehatan, NLP mampu mengidentifikasi konsep medis serta mendeteksi kondisi seperti kecenderungan bunuh diri

atau gangguan kesehatan mental melalui analisis teks (Glaz et al., 2021). Di ranah pendidikan, teknologi ini dimanfaatkan untuk memperkaya pelatihan medis dengan menganalisis data kualitatif dan menghasilkan wawasan yang sebelumnya sulit diukur (Chary et al., 2019). Selain itu, NLP juga berperan penting dalam meningkatkan pengalaman pengguna di berbagai platform digital, seperti dengan memperbaiki fungsi pencarian dan mengotomatisasi pengelompokan teks (Kutbi, 2023). Dalam sektor bisnis, NLP banyak digunakan untuk analisis sentimen guna memahami opini publik dan umpan balik konsumen, yang hasilnya dapat membantu dalam penyusunan strategi pemasaran serta peningkatan kualitas layanan (Huang & Rust, 2021).

d) *Computer Vision*

Computer vision merupakan salah satu cabang khusus AI yang berfokus pada kemampuan mesin untuk menafsirkan dan memahami dunia visual dengan meniru persepsi penglihatan manusia (Raj et al., 2025). Bidang ini mencakup berbagai teknik yang memungkinkan komputer memproses, menganalisis, dan mengekstraksi makna dari data visual seperti gambar dan video. Tujuan utamanya adalah mengembangkan algoritma dan sistem yang dapat mengambil keputusan secara otomatis berdasarkan masukan visual, yang kini menjadi semakin penting di berbagai bidang seperti kesehatan, manufaktur, dan pertanian (Che et al., 2024; Jin et al., 2020).

Metode yang digunakan dalam *computer vision* dapat dikategorikan ke dalam beberapa kelompok, antara lain pemrosesan citra, ekstraksi fitur, pengenalan pola, dan teknik *deep learning*. Khususnya *Convolutional Neural Network* (CNN), telah membawa kemajuan signifikan dalam akurasi dan efisiensi sistem computer vision dalam memproses data visual berskala besar.



Gambar 3.2 Arsitektur CNN untuk Klasifikasi Gambar
Sumber: (Raj et al., 2025)

Pemrosesan citra merupakan teknik untuk memanipulasi gambar agar lebih mudah dianalisis, seperti deteksi tepi, penyaringan, dan transformasi ruang warna (Alabdali & Alkalid, 2024). Sementara itu, ekstraksi fitur mengidentifikasi elemen penting dari gambar, misalnya bentuk, tekstur, atau warna yang relevan untuk proses klasifikasi atau deteksi berikutnya.

Kemajuan *deep learning*, khususnya dengan penggunaan *convolutional neural networks* (CNN), telah merevolusi bidang *computer vision*. CNN mampu belajar langsung dari kumpulan data berukuran besar untuk mengenali pola dan mengklasifikasikan objek dengan tingkat akurasi yang melampaui metode konvensional (Raj et al., 2025). Teknologi ini telah diterapkan secara luas, misalnya pada deteksi penyakit tanaman secara otomatis di sektor pertanian (Poblete-Echeverría et al., 2023), maupun diagnosis medis berbasis citra, seperti pendeteksian kanker dan gangguan telinga melalui analisis citra otoskopik (Ahmad et al., 2024).

3.1.3. Generative AI dan Evolusi Model *Large Language Model* (LLM)

Latar Belakang Kemunculan *Generative AI* dan Perubahan Paradigma

Munculnya *Generative AI* merupakan hasil dari kemajuan dalam daya komputasi, ketersediaan data, dan perkembangan teknik *machine learning*, khususnya *deep learning*. Pada pertengahan abad ke-20, para peneliti mulai mengeksplorasi potensi AI untuk meniru fungsi kognitif manusia. Seiring waktu, berbagai algoritma dan arsitektur dikembangkan untuk meniru cara berpikir manusia. Memasuki awal 2000-an, lanskap AI mulai berubah dengan hadirnya teknik *deep learning*. Para peneliti memanfaatkan dataset berukuran besar dan sumber daya komputasi yang semakin kuat untuk melatih jaringan saraf secara lebih efektif. Terobosan besar terjadi pada pertengahan 2010-an melalui penerapan *Generative Adversarial Networks* (GANs) yang memungkinkan pembuatan data baru dari distribusi data masukan (Gatla et al., 2024). GANs memperkenalkan pendekatan pelatihan kompetitif antara dua jaringan—*generator* dan *discriminator*—yang saling beradu untuk menghasilkan data yang semakin realistis (Creely & Blannin, 2023).

Momen penting dalam evolusi ini terjadi pada tahun 2017 dengan diperkenalkannya arsitektur *Transformer* oleh Vaswani dkk (2017). Arsitektur ini merevolusi bidang pemrosesan bahasa alami dengan kemampuannya menangani data berurutan dalam jumlah besar secara efisien. Fondasi ini kemudian melahirkan model bahasa berskala besar (LLM) seperti BERT, GPT-2, dan GPT-3, yang menunjukkan kemampuan luar biasa dalam menghasilkan teks yang koheren dan kontekstual. Keberhasilan tersebut memperluas penerapan *Generative AI* ke bidang-bidang kreatif seperti penulisan, seni, dan musik (Oniani et al., 2023). Perkembangan LLM secara global berlangsung cukup pesat dalam satu dekade terakhir. Dirangkum dari berbagai sumber,

berikut kronologi perkembangan beberapa LLM utama sebagai berikut:

a) GPT (*Generative Pre-trained Transformer*)

Dikembangkan oleh OpenAI pada Juni 2018, GPT (Generative Pre-trained Transformer) generasi pertama dengan 117 juta parameter ini membuktikan terobosan penting bahwa teknik unsupervised pre-training—yaitu melatih model pada data teks besar-besaran tanpa label khusus—dapat menghasilkan representasi bahasa yang kaya dan mendalam, yang kemudian dapat di-fine-tune (disesuaikan) dengan cepat dan efektif untuk berbagai tugas spesifik seperti klasifikasi teks, menjawab pertanyaan, atau analisis sentimen, tanpa perlu melatih ulang model dari awal. Perkembangan ini kemudian dilanjutkan oleh GPT-2 pada 2019 dengan 1.5 miliar parameter, yang mampu menghasilkan teks mengagumkan hingga OpenAI sempat menahan rilis penuhnya karena kekhawatiran penyalahgunaan misinformasi. Lompatan besar terjadi pada GPT-3 pada tahun 2020 dengan 175 miliar parameter, yang memukau komunitas AI berkat kemampuannya menjawab pertanyaan, menulis esai, dan memecahkan soal pemrograman hanya melalui *prompt* tanpa pelatihan tambahan. Pada Maret 2023 OpenAI merilis GPT-4 yang menandai lompatan kecerdasan selanjutnya. GPT-4 secara resmi dirilis oleh OpenAI sebagai model multimodal (mampu menerima input teks dan citra) dengan kemampuan penalaran yang lebih kuat dan akurasi lebih tinggi dibanding pendahulunya.

b) BERT (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*)

Di tahun yang sama dengan GPT-1, Google meluncurkan BERT yang mengusung *bidirectional training* pada *Transformer encoder*. BERT tidak dirancang sebagai model generatif untuk memproduksi teks panjang, melainkan untuk pemahaman konteks (misal klasifikasi teks atau *question answering*).

c) PaLM (*Pathways Language Model*)

Sebagai rival OpenAI, Google merilis PaLM pada April 2022, sebuah LLM dengan 540 miliar parameter – salah satu yang terbesar waktu itu. PaLM dilatih melalui pendekatan *Pathways* yang memanfaatkan jaringan TPU v4 secara efisien. Model ini menunjukkan kecakapan luar biasa dalam ragam tugas bahasa, termasuk kemampuan penalaran langkah-demi-langkah (*chain-of-thought prompting*) dan dukungan multibahasa.

d) LLaMA (*Large Language Model Meta AI*)

Meta memasuki arena LLM dengan merilis *LLaMA* pada Februari 2023. Berbeda dengan model-model raksasa tertutup milik OpenAI atau Google, LLaMA menekankan pada efisiensi dan *open-source*. Meta menyediakan model LLaMA dalam berbagai ukuran parameter (7B, 13B, 33B, 65B) yang relatif lebih kecil daripada GPT-3/4, namun dioptimalkan sehingga performanya kompetitif. Meta kemudian merilis LLaMA 2 pada Juli 2023 (bekerja sama dengan Microsoft), yang sepenuhnya *open-source* untuk kebutuhan riset dan komersial. Tersedia hingga 70B parameter, LLaMA 2 menjadi model *open-source* terkuat di kelasnya, lengkap dengan versi *chat* yang disempurnakan untuk percakapan.

e) Claude

Claude dikembangkan oleh Anthropic, *startup* AI yang didirikan oleh mantan peneliti OpenAI dengan fokus pada AI *alignment* (keselamatan dan kepatuhan AI terhadap nilai-nilai manusia). Versi perdana Claude diluncurkan awal 2023 sebagai *chatbot* alternatif ChatGPT, dengan pendekatan *Constitutional* AI untuk membatasi perilaku yang tidak diinginkan. Claude 2 kemudian dirilis pada Juli 2023 dengan peningkatan kemampuan dan konteks yang lebih luas, namun tetap menekankan pengembangan AI yang etis dan transparan.

f) Gemini

Gemini merupakan keluarga model LLM multimodal terbaru dari Google yang dianggap sebagai penerus PaLM 2 dan LaMDA. Dirilis pada Desember 2023, Gemini lahir dari kolaborasi Google Brain dan DeepMind sebagai upaya menyatukan kemampuan terbaik Google di bidang bahasa dan AI multimodal.

Cara Kerja *Generative AI* dalam Menghasilkan Teks, Gambar, dan Konten Lain

Salah satu peran penting dari *generative AI* adalah kemampuan menghasilkan gambar berdasarkan teks (*text-to-image*). Model *Generative Adversarial Networks* (GANs) berperan penting pada bidang ini karena dapat menciptakan gambar yang realistis dari deskripsi tekstual. GANs menjadi fondasi utama dalam pengembangan model *text-to-image*, namun model baru seperti *diffusion models* kini menunjukkan hasil yang lebih baik dalam hal kualitas dan keragaman gambar (Alhabeeb & Al-Shargabi, 2024).

Dalam menghasilkan teks, model seperti *Large Language Models* (LLM) dilatih menggunakan miliaran kata dari berbagai sumber untuk memahami hubungan antar kata, struktur kalimat, konteks semantik, serta gaya bahasa (Coursera, 2025b). Selama proses pelatihan, model menyesuaikan bobot parameter internalnya untuk memprediksi kata berikutnya dalam sebuah urutan teks, sehingga ketika digunakan, ia dapat menghasilkan kalimat yang koheren dan kontekstual berdasarkan masukan pengguna (*prompt*).

Arsitektur LLM: *Transformer, Pre-training,* dan *Fine-tuning*

Large language model (LLM) modern dibangun di atas arsitektur *Transformer*, yang menjadi tonggak penting dalam perkembangan kecerdasan buatan. Dalam laporan "*Attention Is All You Need*" oleh Vaswani dkk. (2017) memperkenalkan *Transformer* sebagai arsitektur *deep learning* yang sepenuhnya mengandalkan mekanisme *attention*

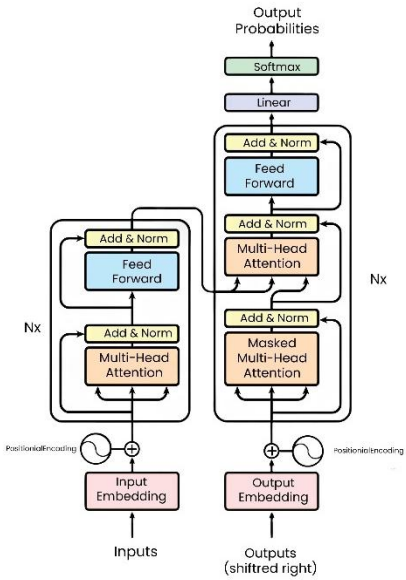
tanpa menggunakan lapisan berulang. Pendekatan ini terbukti sangat efisien dan kini menjadi dasar bagi berbagai model terbaru AI, terutama *large language models* (LLM). Keunggulan utama *Transformer* terletak pada kemampuannya memproses konteks panjang secara paralel dan fleksibel, sehingga sangat cocok digunakan untuk pelatihan dengan data teks berukuran besar. Gambar 3.3 menunjukkan arsitektur *Transformer*.

Pengembangan LLM umumnya berlangsung dalam dua tahap, yaitu *pre-training* dan *fine-tuning*. Pada tahap *pre-training*, model dilatih menggunakan dataset dalam skala sangat besar melalui teknik *self-supervised learning*.

Pada tahap ini, model seperti BERT menggunakan dua tugas utama, yaitu *Masked Language Modeling* (MLM) dan *Next Sentence Prediction* (NSP), sementara model seperti GPT menerapkan pendekatan *autoregressive* dengan memprediksi kata berikutnya berdasarkan urutan kata sebelumnya (McMilin, 2024). Tujuan utama dari *pre-training* adalah agar model memperoleh pemahaman umum tentang bahasa, tata bahasa, dan pengetahuan dunia secara luas tanpa bergantung pada data berlabel.

Pada tahap pre-training, arsitektur Transformer memproses miliaran teks tanpa label untuk mempelajari pola dan nuansa bahasa, menghasilkan bobot jaringan yang menjadi fondasi model dalam menghasilkan keluaran yang kontekstual dan koheren pada tahap pelatihan lanjutan.

Tahap *fine-tuning* menyesuaikan model hasil pre-training untuk menjalankan tugas-tugas spesifik seperti analisis sentimen atau tanya jawab, menggunakan dataset yang lebih kecil dan terarah melalui pendekatan supervised learning (Vrbancic & Podgorelec, 2020). Proses ini memungkinkan bobot model disesuaikan dengan konteks tugas tertentu tanpa mengorbankan kemampuan umum yang telah diperoleh selama pre-training.



Gambar 3.3 Arsitektur Transformer
Sumber: (Vaswani et al., 2017)

Tahap berikutnya adalah *fine-tuning*, di mana model hasil *pre-training* disesuaikan agar mampu menjalankan tugas-tugas spesifik seperti analisis sentimen, atau tanya jawab. Pada fase ini, model dilatih kembali menggunakan dataset yang lebih kecil dan terarah dengan pendekatan *supervised learning* (Vrbancic & Podgorelec, 2020). Melalui *fine-tuning*, bobot model disesuaikan agar lebih relevan dengan konteks tugas tertentu, tanpa kehilangan kemampuan umum yang diperoleh selama *pre-training*.

Small Language Model

Large Language Model (LLM) memiliki beberapa kelemahan yang cukup mendasar. Karena jumlah parameternya yang sangat besar, LLM memerlukan daya komputasi yang tinggi sehingga sulit dijalankan oleh individu atau organisasi dengan sumber daya terbatas. Selain itu, sebagian besar LLM dioperasikan secara *remote* melalui layanan berbasis *cloud*, yang menimbulkan persoalan terkait privasi dan keamanan data pengguna. Meskipun LLM memiliki cakupan informasi

yang luas, kemampuan tersebut justru membuatnya kurang optimal dalam menangani bidang yang sangat spesifik seperti hukum atau kesehatan (Popov et al., 2024).

Small Language Model (SLM) dikembangkan sebagai alternatif yang lebih ringan dan efisien dibandingkan model besar seperti Gemini atau GPT-4, dengan kebutuhan komputasi yang lebih rendah sehingga dapat dijalankan secara lokal tanpa bergantung pada infrastruktur cloud. Pendekatan ini sekaligus meningkatkan perlindungan privasi data dan memungkinkan penerapan di lingkungan dengan sumber daya terbatas.

SLM dinilai lebih hemat biaya, efisien, dan secara alami lebih sesuai untuk penggunaan berulang, sehingga dipandang sebagai masa depan pengembangan agen AI (Belcak et al., 2025). Meskipun akurasinya belum setara dengan LLM, SLM tetap menjadi solusi praktis untuk kebutuhan real-time di berbagai konteks aplikasi, sebagaimana diuraikan dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perbandingan beberapa fitur antara SLM dan LLM

Fitur	*Small Language Models* (SLMs)	*Large Language Models* (LLMs)
Ukuran Model	Jutaan parameter	Milyaran parameter
Kebutuhan Daya Komputasi	CPU standar dan perangkat spesifikasi menengah	GPU dan TPU spesifikasi tinggi
Waktu Latih	Beberapa jam hingga beberapa hari	Beberapa minggu hingga bulanan
Kecepatan Respon	Lebih cepat dan *real-time*	Lebih lambat karena ukuran model yang besar
Biaya	Murah	Sangat mahal

Sumber: (Buono et al., 2024)

Meskipun *Small Language Model* (SLM) memiliki sejumlah keunggulan, model ini juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain (huggingface.co, 2025):

a) Ruang lingkup yang cenderung sempit sehingga kemampuannya terbatas untuk tugas-tugas di luar domain data latih, misalnya model SLM yang dilatih untuk bidang medis akan sulit diterapkan pada tugas pemrograman.
b) Ukuran dataset yang kecil dapat memperbesar risiko bias apabila tidak dikurasi dengan cermat.
c) Kurang mampu dalam menangani tugas-tugas yang kompleks atau membutuhkan pemahaman konteks secara mendalam.
d) Lebih rentan terhadap kesalahan dalam situasi yang ambigu atau ketika diberi masukan (*prompt*) yang sifatnya mengelabui.

Popov et al. (2024) menyebutkan bahwa untuk membangun SLM dari LLM, terdapat tiga metode utama yang umum digunakan, yaitu:

a) *Pruning* atau pemangkasan, yaitu pengurangan jumlah neuron dalam model untuk memperkecil ukuran dan mempercepat kinerja. Pemangkasan dapat dilakukan secara tidak terstruktur atau secara terstruktur dengan memangkas lapisan tertentu. Meskipun sederhana dan efektif dalam menghemat sumber daya, pemangkasan yang berlebihan dapat menurunkan kinerja model secara signifikan.
b) Distilasi pengetahuan, yaitu proses di mana dua model digunakan: model guru (LLM) dan model siswa (SLM). Model siswa dilatih untuk meniru keluaran model guru, sehingga pengetahuan dari model besar dapat ditransfer ke model yang lebih kecil, meskipun tetap membutuhkan keberadaan LLM dalam prosesnya.
c) Kuantisasi, yakni teknik yang menekankan model dengan menggunakan format angka berpresisi rendah, seperti 16-bit, 8-bit, 4-bit, bahkan hingga 2-bit atau 1-bit. Metode ini secara

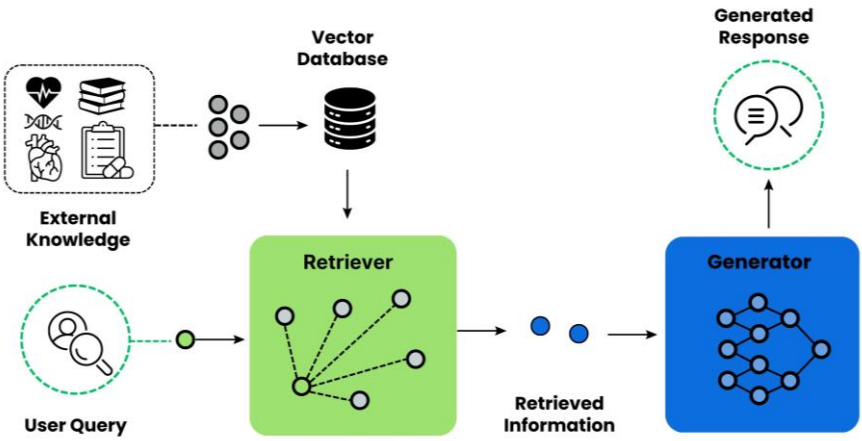
substansial mengurangi ukuran dan waktu inferensi model, namun memerlukan perangkat keras khusus yang mendukung format angka berpresisi rendah tersebut.

Retrieval-Augmented Generation

Retrieval-Augmented Generation (RAG) merupakan sebuah metode untuk mengoptimalkan keluaran *Large Language Model* (LLM) dengan mereferensikan kepada basis pengetahuan eksternal sebelum menghasilkan respons. LLM memiliki kelemahan karena hanya bergantung pada data latih yang sering kali sudah kadaluwarsa, sehingga tidak mampu menyediakan informasi yang terbaru (Amugongo et al., 2025). Selain itu, LLM juga cenderung menghasilkan informasi yang tidak akurat atau "halusinasi", yaitu data yang dibuat-buat tetapi disajikan seolah benar (Hou et al., 2025). Pendekatan RAG muncul sebagai solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan mendasar tersebut.

RAG bekerja melalui dua tahap utama yang membedakannya dari pendekatan LLM konvensional (Hou et al., 2025). Pada tahap pertama, sistem akan mencari dan mengambil informasi relevan dari basis pengetahuan eksternal sesuai dengan permintaan pengguna. Proses retrieval ini memungkinkan model untuk mengakses informasi terkini dan spesifik yang mungkin tidak tercakup dalam data pelatihan awal. Informasi yang berhasil diambil kemudian disertakan sebagai konteks tambahan dalam proses generatif, sehingga menghasilkan respons yang lebih akurat, faktual, dan sesuai konteks.

Dengan demikian, arsitektur RAG menggabungkan memori parametris dari LLM yang sudah dilatih sebelumnya dengan sumber memori non-parametris yang eksplisit, memanfaatkan keunggulan dari kedua pendekatan tersebut. Kombinasi ini menjadikan RAG sangat unggul dalam menangani pertanyaan yang membutuhkan informasi spesifik, mutakhir, atau domain tertentu yang tidak dapat dijawab secara memadai oleh LLM saja



Gambar 3.4 Alur proses Retrieval-Augmented Generation
Sumber: (Yang et al., 2025)

Secara teknis, RAG bekerja melalui mekanisme *retrieval* dan integrasi pengetahuan. Dalam tahap *retrieval*, sistem menggunakan pendekatan *dense retrieval* berbasis representasi vektor dan *sparse retrieval* seperti algoritma BM25 untuk menemukan informasi yang relevan (Lee et al., 2024). Banyak implementasi modern menggabungkan kedua metode tersebut untuk hasil yang lebih optimal. Integrasi dengan *knowledge graph* dan ontologi memperkaya kemampuan RAG dalam memahami hubungan antar-konsep, terutama di bidang-bidang khusus seperti biomedis. Dibandingkan metode *fine-tuning*, RAG lebih efisien karena tidak memerlukan pelatihan ulang dan dapat diperbarui hanya dengan menambah atau memperbarui basis data eksternal (Lu & Cosgun, 2024).

Dalam pengembangan LLM, *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) memiliki keunggulan terutama dalam menekan biaya tinggi saat melakukan pelatihan ulang model LLM untuk kebutuhan spesifik suatu domain. Melalui RAG, organisasi dapat mengisi kekosongan pengetahuan dalam basis data model pembelajaran mesin sehingga model mampu memberikan jawaban yang lebih akurat dan relevan.

Dilansir dari IBM (2024), berikut beberapa keunggulan dalam pendekatan RAG:

a) Meningkatkan efisiensi karena RAG memungkinkan organisasi untuk meningkatkan kinerja model AI tanpa perlu pelatihan ulang yang mahal, melainkan dengan memanfaatkan sumber data internal.

b) RAG memberikan akses pada data terkini dan domain spesifik dengan menghubungkan model ke sumber pengetahuan eksternal secara *real-time*, sehingga keluaran yang dihasilkan tetap relevan.

c) Pendekatan RAG mengurangi risiko halusinasi karena model didasarkan pada data faktual dan tepercaya.

d) RAG dapat meningkatkan kepercayaan pengguna dengan menyediakan kutipan sumber informasi dalam respons model, sehingga hasil dapat diverifikasi dan lebih transparan.

e) Akses terhadap beragam data membuat RAG dapat memperluas cakupan penggunaan model AI dan meningkatkan kemampuannya menjawab pertanyaan kompleks dan dalam konteks yang berbeda.

f) RAG menawarkan fleksibilitas tinggi dalam mengatur sumber data tanpa perlu *re-training*, sehingga pemeliharaan model menjadi lebih mudah dan efisien.

g) RAG meningkatkan keamanan data karena memisahkan model dari sumber pengetahuan eksternal. Walaupun begitu keamanan basis data vektor tetap harus dijaga dengan enkripsi yang memadai.

Walaupun RAG menjadi solusi dalam mengatasi kekurangan dari LLM, pendekatan ini masih menemui sejumlah tantangan dan kelemahan (Gupta et al., 2024), antara lain:

a) Tantangan utama dalam *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) saat ini terkait skalabilitas dan efisiensi. Dikarenakan komponen

retrieval bergantung pada database eksternal, mengelola dataset yang sangat besar dan terus bertambah membutuhkan algoritma pengambilan data yang efisien. Biaya komputasi tinggi dan kebutuhan memori yang besar membuat model RAG sulit diterapkan pada perangkat dengan sumber daya terbatas.

b) Kualitas dan relevansi dokumen eksternal yang dijadikan sebagai referensi juga menjadi masalah. Terkadang model *retrieval* menghasilkan informasi yang tidak relevan atau kadaluwarsa sehingga menurunkan akurasi keluaran.

c) Terkait bias dan keadilan, RAG bisa menghasilkan bias yang berasal dari dataset. Hal ini bisa memperkuat bias dalam pengetahuan yang digunakan yang akhirnya menghasilkan bias *output* yang tinggi.

d) Model RAG terkadang sulit untuk mengintegrasikan pengetahuan yang diambil ke dalam teks yang sesuai dengan konteksnya. Keselarasan antara informasi yang diambil dari basis pengetahuan dan keluaran model tidak selalu sempurna. Inkonsistensi atau halusinasi masih bisa terjadi.

e) Interpretabilitas dan transparansi masih minim. Seperti banyak AI lain, RAG sering dianggap kotak hitam yang tidak jelas bagaimana proses *retrieval* memengaruhi hasil keluaran.

3.2. Infrastruktur Utama AI

Infrastruktur utama AI terdiri dari komponen-komponen terintegrasi yang mendukung proses *machine learning, deep learning*, dan inferensi berskala besar (Russell & Norvig, 2022; Zaharia et al., 2018). Komponen-komponen tersebut meliputi pusat data dengan sistem komputasi berperforma tinggi (*high-performance computing*/HPC), *Graphics Processing Unit* (GPU), penyimpanan berbasis awan (*cloud storage*), jaringan berkecepatan tinggi, serta sistem *pipeline* data yang memungkinkan aliran informasi berjalan efisien dan aman (Jordan &

Mitchell, 2015). Seluruh elemen tersebut bekerja seperti sistem saraf dan organ vital yang memastikan proses pelatihan model, inferensi, dan *deployment* dapat berlangsung secara optimal (Li et al., 2023).

Dalam AI, infrasturuktur memegang peran krusial karena sangat bergantung pada tingkat komputasi tinggi dan ketersediaan data dalam jumlah yang besar. Tanpa fondasi infrastruktur yang kuat, pengembangan model AI berskala besar seperti *Large Language Model* (LLM) tidak mungkin dapat dilakukan. Perkembangan infrastruktur AI global saat ini banyak dipacu oleh para *hyperscaler* seperti Amazon Web Service (AWS), Google Cloud, dan Microsoft Azure. Sedangkan ditingkat nasional, ekosistem mulai terbentuk melalui kolaborasi pemerintah, akademisi dan industri seperti melalui inisiatif Pusat Data Nasional (PDN) dan pengembangan GPU lokal seperti DEKA GPU.

Selain infrastruktur, keberhasilan penerapan AI sangat bergantung pada ekosistem pendukung yang melingkupinya. Ekosistem ini mencakup aspek kebijakan publik, regulasi data, sumber daya manusia, riset dan inovasi, serta keberlanjutan energi. Tanpa adanya kerangka ekosistem yang baik, infrastruktur AI berisiko tidak dapat dimanfaatkan secara optimal (UNESCO, 2021). Selain investasi teknologi, dalam pengembangan ekosistem AI juga membutuhkan desain kelembagaan dan strategi nasional secara menyeluruh. Berdasarkan pemahaman yang kuat dari dua dimensi tersebut menjadikan landasan konseptual dan praktis bagi pembangunan AI yang berkelanjutan, efisien, dan berdaya saing tinggi di tingkat nasional maupun global.

Infrastruktur AI tersusun dari elemen-elemen kunci yang saling terhubung, mulai dari komputasi berperforma tinggi (HPC) untuk pelatihan model, sistem penyimpanan *big data* yang andal, *pipeline* data yang mengelola aliran informasi, jaringan dan komputasi awan yang memastikan skalabilitas, hingga arsitektur berlapis yang

mengintegrasikan seluruh komponen tersebut. Untuk memahami bagaimana setiap elemen bekerja dan saling melengkapi, penjelasan berikut menguraikan kelima elemen tersebut secara lebih rinci.

a) Komputasi Berperforma Tinggi (*High-Performance Computing*)

HPC menjadi komponen utama yang menopang proses pengolahan data dan pelatihan model AI. Sistem HPC terdiri atas ribuan node prosesor yang bekerja secara paralel untuk menjalankan operasi matematis kompleks secara simultan. Dengan arsitektur ini, model AI dapat dilatih dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan komputasi konvensional. Menurut Stone et al. (2016), keberhasilan sistem AI seperti AlphaGo dari DeepMind maupun model GPT dari OpenAI sangat bergantung pada kemampuan HPC yang memungkinkan pelatihan menggunakan miliaran parameter dan dataset berskala *petabyte*.

Dalam AI, GPU memiliki peran utama karena arsitekturnya mampu memproses ribuan operasi vektor secara bersamaan (NVIDIA, 2023). Cluster GPU seperti NVIDIA DGX, AMD Instinct, atau DEKA GPU (produk lokal Indonesia) memungkinkan proses pelatihan model dapat berlangsung jauh lebih cepat dibandingkan dengan penggunaan CPU konvensional. Di Indonesia, inisiatif seperti DEKA GPU menjadi langkah strategis untuk memperkuat kemandirian infrastruktur komputasi nasional dengan menghadirkan solusi GPU buatan lokal yang kompetitif (DEKA GPU, 2024 GPU memberikan efisiensi tinggi dalam memproses operasi tensor yang menjadi fondasi algoritma jaringan saraf tiruan. Selain itu, saat ini telah hadir Tensor Processing Unit (TPU) buatan Google yang dirancang khusus untuk mempercepat proses inferensi model AI (Jouppi et al., 2017).

b) Penyimpanan dan Pengelolaan Data (*Big Data Storage*)

AI modern sangat bergantung pada ketersediaan dan kecepatan akses terhadap data. Oleh karena itu, sistem penyimpanan data (*data storage*) menjadi elemen krusial–dalam infrastruktur AI. Sistem ini harus mampu menangani volume (*volume*), kecepatan (*velocity*), dan variasi (*variation*) data (3V *characteristics*) yang besar. Arsitektur penyimpanan umumnya terdiri dari dua lapisan utama, yaitu:

- *Data lake* berfungsi sebagai wadah penyimpanan besar untuk data mentah dalam berbagai format seperti teks, gambar, audio, video yang akan digunakan dalam pelatihan model.
- *Data warehouse* berfungsi sebagai sistem terstruktur untuk analisis dan integrasi data hasil olahan dari *data lake*.

Kedua sistem ini dihubungkan dengan *pipeline* data otomatis yang menjamin proses ekstraksi, transformasi, dan pemuatan (ETL) berjalan efisien. Teknologi yang umum digunakan antara lain *distributed file systems* (HDFS), *object storage* (Amazon S3, Google Cloud Storage), dan *data lake* berbasis *Hadoop* atau *Delta Lake*. Masing-masing teknologi ini menawarkan keunggulan tersendiri dalam hal skalabilitas, kecepatan akses, dan efisiensi biaya, sehingga pemilihannya disesuaikan dengan kebutuhan dan skala infrastruktur yang dimiliki

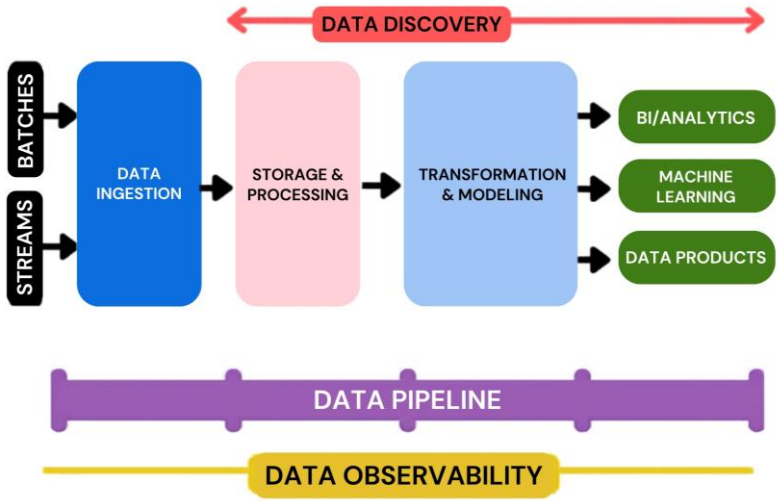
Dalam konteks nasional, beberapa penyedia seperti Biznet Data Center dan TelkomSigma menawarkan layanan penyimpanan bersertifikasi Tier III yang mendukung keamanan dan ketersediaan data nasional (Biznet, 2023). Tabel 3.5 menunjukkan perbandingan karakteristik sistem penyimpanan yang umum digunakan dalam ekosistem AI.

Tabel 3.5 Karakteristik Sistem *Data Storage* dalam Ekosistem AI

Jenis Penyimpanan	Karakteristik Utama	Contoh Implementasi
Data Lake	Menyimpan data mentah dalam format apapun	AWS S3, Azure Data Lake
Data Warehouse	Data terstruktur untuk analitik	Google BigQuery, Snowflake
Hybrid Storage	Kombinasi antara *lake* dan *warehouse*	Databricks Lakehouse

c) *Pipeline Data*

Pipeline data merupakan sistem yang mengatur aliran data dari sumber ke sistem AI, Fungsinya meliputi pengumpulan (*data ingestion*), pembersihan (*data cleaning*), transformasi (*data transformation*), dan pemuatan ke sistem pelatihan model (*model training environment*). *Pipeline* yang efisien memastikan data selalu *up-to-date*, relevan, dan siap digunakan tanpa gangguan.



Gambar 3.5 Arsitektur Data Pipeline
Sumber: (Segner, 2023)

Pipeline ini dapat diimplementasikan menggunakan berbagai teknologi, seperti Apache Kafka, Airflow, dan TensorFlow Extended (TFX). Pipeline yang terkelola dengan baik mempercepat siklus pengembangan AI (MLOps) karena mengurangi waktu yang diperlukan untuk menyiapkan data pelatihan. Gambar 3.5 berikut menggambarkan alur kerja *pipeline* data dalam konteks arsitektur AI modern.

d) Infrastruktur Jaringan dan Komputasi Awan (*Networking & Cloud Computing*)

Dalam ekosistem AI global, infrastruktur jaringan berkecepatan tinggi seperti InfiniBand, Ethernet 400 Gbps, dan *optical interconnects* menjadi tulang punggung skalabilitas sistem AI dalam mengoptimalkan komunikasi antar GPU cluster di pusat data modern (Intel, 2023). Dalam skala nasional, konektivitas antarlembaga dan universitas difasilitasi melalui Indonesia Research and Education Network (IDREN) yang menjadi fondasi kolaborasi komputasi ilmiah dan proyek AI yang membutuhkan pertukaran data besar lintas wilayah (Kemenkominfo, 2023).

Sedangkan *cloud computing* memungkinkan institusi mengakses sumber daya komputasi sesuai kebutuhan tanpa harus memiliki perangkat keras fisik. Tiga penyedia utama infrastruktur AI berbasis awan skala besar (*hyperscaler*) adalah Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Google *Cloud Platform* (GCP) dan Alibaba *Cloud* yang juga menyediakan layanan GPU *instance* untuk pelatihan dan inferensi AI (McKinsey, 2024). Layanan *cloud computing* telah mengubah paradigma pembangunan infrastruktur AI. Menurut Gartner (2023), adopsi *cloud* dalam AI meningkat lebih dari 40% dalam dua tahun terakhir, karena fleksibilitasnya dalam mengatur kapasitas komputasi dan integrasi dengan layanan *big data*. Arsitektur *cloud* juga memungkinkan kolaborasi global dan replikasi model lintas wilayah tanpa degradasi performa.

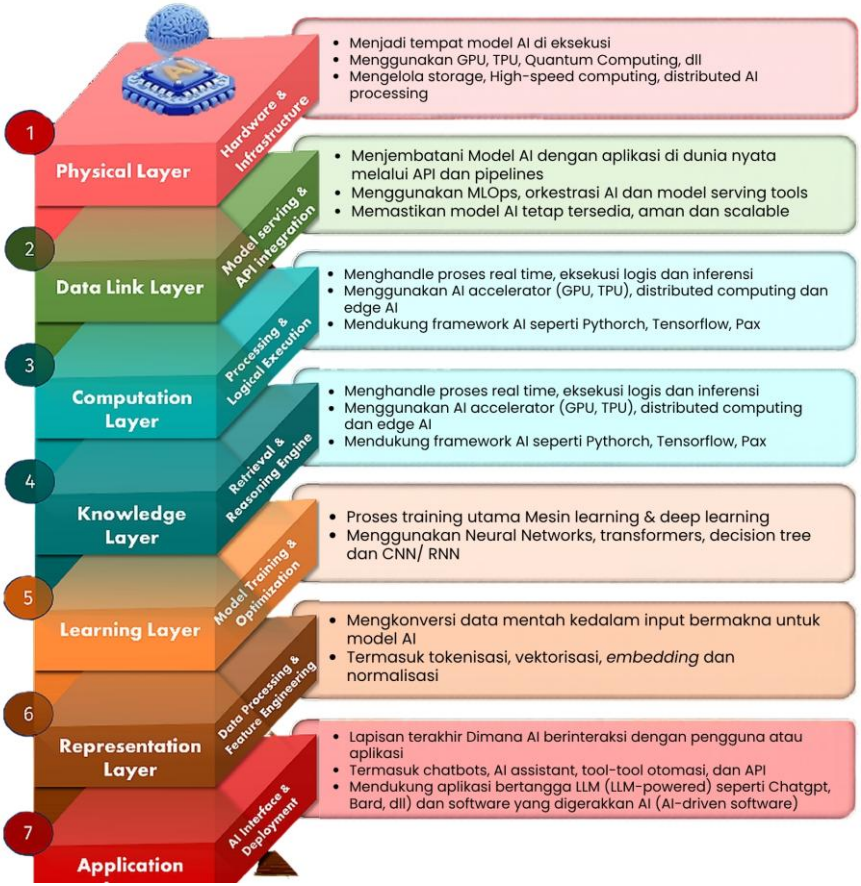
e) Arsitektur Infrastruktur AI

Arsitektur AI modern dirancang secara modular dengan empat lapisan utama yaitu Lapisan Data (*Data Layer*) yaitu sumber data internal maupun eksternal; Lapisan Infrastruktur (*Infrastructure Layer*) mencakup GPU, TPU, CPU *cluster*, dan sistem penyimpanan; Lapisan Platform (*Platform Layer*) mencakup MLOps *tools*, *pipeline*, dan API dan Lapisan Aplikasi (*Application Layer*) berisi model dan layanan AI seperti NLP, CV, dan rekomendasi sistem. Sedangkan Pandey (2025) membaginya dalam 7 lapisan seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.6. Vendor berbagai komponen infrastruktur yang dibutuhkan untuk implementasi AI ditampilkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Infrastruktur AI dan Vendor tingkat Global dan Indonesia

Komponen Infrastruktur	Vendor Global	Vendor Nasional (Indonesia)	Brand / Produk Utama
GPU & HPC Cluster	NVIDIA, AMD, Intel, Google Colab	DEKA GPU, Nusantara Cloud, Biznet Gio	NVIDIA DGX, AMD Instinct, DEKA GPU Series
Big Data Storage	Amazon S3, Google Cloud Storage	Biznet Data Center, TelkomSigma	Hadoop, Delta Lake, Biznet Storage
Cloud Computing	AWS, Google Cloud, Azure, Alibaba Cloud	TelkomCloud, IDCloudHost, Biznet Gio	EC2, Vertex AI, Azure AI, CloudX
Networking	Cisco, Juniper, Huawei	Biznet Fiber, ICON+	InfiniBand, 400G Ethernet
Framework / Tools	TensorFlow, PyTorch, MLflow	Gojek Research Lab, BRIN AI Center	TensorFlow, PyTorch, Kubeflow
Security / Data Governance	IBM, Palo Alto, Cloudflare	BSSN, TelkomSigma Security	Zero Trust, AI Threat Detection

Sumber: disusun dari McKinsey, 2024; Gartner, 2023; Kemenkominfo, 2023; DEKA GPU, 2024



Gambar 3.6 Tujuh Lapisan Arsitektur Model AI Menurut Pandey (2025)

3.3. Ekosistem Pendukung AI

Dalam konteks teknologi murni, ekosistem AI tidak hanya mencakup aspek teknis seperti perangkat keras, perangkat lunak, dan data, tetapi juga dimensi sosial, ekonomi, dan kebijakan yang memungkinkan inovasi berlangsung dalam skala nasional maupun global (Floridi & Cowls, 2021). Ekosistem AI merupakan sistem kompleks yang terdiri atas interaksi dinamis antara aktor, kebijakan, sumber daya, dan infrastruktur yang mendukung penelitian, pengembangan, serta penerapan teknologi AI secara berkelanjutan. Menurut World

Economic Forum (2023), pembangunan ekosistem AI yang sehat ditandai oleh empat elemen utama, yaitu: ketersediaan infrastruktur digital; kemampuan sumber daya manusia (SDM) dalam bidang ilmu data dan komputasi; kebijakan serta tata kelola etika AI; dan kolaborasi lintas sektor antara industri, pemerintah, serta lembaga penelitian.

Kombinasi dari keempat elemen tersebut menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pengembangan AI yang bertanggung jawab (*responsible AI*) dan adaptif terhadap perubahan teknologi. Sedangkan menurut buku putih Peta Jalan Kecerdasan Artifisial Nasional yang disusun oleh KOMDIGI (2025), kerangka ekosistem AI nasional dibangun oleh dua landasan utama yaitu Etika dan kebijakan yang menjadi pedoman tata kelola ekosistem AI nasional dan investasi atau pembiayaan yang menggerakkan seluruh pilar dalam ekosistem AI nasional. Selain landasan utama, terdapat tiga pilar penyangga ekosistem AI nasional yaitu pilar riset dan inovasi industri; pilar pengembangan talenta; dan pilar infrastruktur dan data. Masing-masing dari dua landasan utama dan tiga pilar ekosistem AI nasional dapat dilihat pada Gambar 3.7.

Kerangka ekosistem yang dirancang KOMDIGI ini mencerminkan pendekatan holistik dalam membangun kedaulatan AI nasional, di mana aspek teknis, sumber daya manusia, dan tata kelola dikembangkan secara bersamaan dan saling menopang. Pendekatan ini sejalan dengan praktik terbaik global yang menekankan bahwa ekosistem AI yang kuat tidak dapat bertumpu pada satu pilar saja, melainkan membutuhkan sinergi antara regulasi yang adaptif, talenta yang kompeten, infrastruktur yang memadai, serta pembiayaan yang berkelanjutan untuk mendorong inovasi yang berdampak nyata bagi masyarakat.



Gambar 3.7 Kerangka Ekosistem AI Nasional
Sumber: (Komdigi, 2025)

a) Landasan Utama Ekosistem AI Nasional

- Etika dan Kebijakan

  Kebijakan publik menjadi pilar pertama dalam membentuk arah pengembangan AI suatu negara. Tata kelola AI mencakup regulasi terkait keamanan data, privasi, interoperabilitas, serta tanggung jawab hukum dalam penggunaan sistem cerdas. Di tingkat global, Uni Eropa telah meluncurkan *EU AI Act* (2024) yang mengatur klasifikasi risiko sistem AI berdasarkan tingkat dampaknya terhadap masyarakat. Sementara itu, Amerika

Serikat melalui *National AI Initiative Act* menekankan koordinasi antar lembaga riset federal dan swasta untuk mempercepat inovasi (OECD, 2023).

Di Indonesia, kebijakan pengembangan AI diatur melalui *Strategi Nasional Kecerdasan Artifisial 2020–2045* (Kementerian Kominfo, 2020). Dokumen strategis ini menyoroti lima sektor prioritas, yakni: kesehatan; reformasi birokrasi; pendidikan dan riset; ketahanan pangan; serta mobilitas cerdas. Salah satu program turunan dari strategi tersebut adalah pembangunan Pusat Data Nasional (PDN) dan integrasi *platform Government Cloud*, yang menjadi fondasi interoperabilitas data lintas instansi. Selain itu, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) berperan sebagai motor koordinasi riset AI nasional dengan fokus pada *machine learning*, *natural language processing* (NLP), dan *computer vision* yang relevan dengan konteks sosial-ekonomi Indonesia.

Selain aspek teknis dan ekonomi, dimensi etika menjadi bagian integral dari ekosistem AI modern. Penggunaan AI harus mempertimbangkan prinsip transparansi, keadilan, dan akuntabilitas agar tidak menimbulkan bias algoritmik atau diskriminasi sistemik. Organisasi seperti UNESCO (2022) telah mengeluarkan *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*, yang menekankan pentingnya perlindungan hak asasi manusia dalam seluruh siklus hidup sistem AI.

Indonesia turut mengadopsi prinsip serupa melalui Pedoman Etika AI yang dikeluarkan Kominfo (2022) melalui Surat Edaran Menteri Komunikasi dan Informatika No. 9 tahun 2023, dengan menekankan bahwa pengembangan sistem cerdas harus berbasis nilai-nilai Pancasila, keamanan data pribadi, dan kepentingan publik. Pendekatan ini menunjukkan keselarasan antara inovasi teknologi dan tanggung jawab sosial.

- Investasi atau Pembiayaan

  Investasi atau pembiayaan sangat dibutuhkan di berbagai aspek untuk membentuk ekosistem AI, seperti infrastruktur, data, talenta & riset, pengembangan model/LLM, serta regulasi dan tata kelola. Menurut laporan *International Data Corporation* (IDC, 2023), sekitar 65% investasi global dalam AI berfokus pada penguatan infrastruktur, baik perangkat keras maupun perangkat lunak sebagai pendukungnya, karena hal tersebut menentukan kecepatan, ketepatan, dan efisiensi proses pembelajaran model. Negara-negara Eropa dan Amerika berinvestasi sangat besar untuk infrastruktur, seperti Uni Eropa misalnya yang berinvestasi hingga 200 triliun Euro untuk pengembangan AI (Dale, 2025). Data yang diungkapkan oleh Dale (2025) juga menunjukkan bahwa beberapa negara Asia mendedikasikan pendanaan untuk mencapai kedaulatan AI, seperti Abu Dhabi yang berencana berinvestasi 10 triliun Dolar Amerika setahun untuk AI, sedangkan Saudi Arabia menyisihkan 40 triliun Dolar Amerika. Singapura dan India juga termasuk negara yang berkomitmen untuk mengembangkan AI, sebanyak US$743 miliar (Singapura) dan US$1,25 triliun (India). Umumnya investasi tersebut dialokasikan untuk infrastruktur yang mencakup GPU, data, model dan *cloud data center*.

  Namun demikian, kebutuhan pembiayaan untuk membangun ekosistem AI tidak hanya pada infrastruktur saja. Aspek lain yang membutuhkan pembiayaan adalah talenta; riset dan regulasi; serta tata kelola yang sering kali tidak mendapatkan perhatian yang cukup (Antara News, 8 Agustus, 2025). Investasi dalam peningkatan keterampilan dan pengembangan kapasitas sangat penting untuk mempersiapkan SDM yang mampu beradaptasi dengan keterampilan baru. Namun, proses transisi pekerja ke keterampilan baru serta pemberian akses

untuk menguasai alat digital dan pemrograman dapat menjadi tugas yang sulit karena keterbatasan infrastruktur pendidikan dan pelatihan kejuruan di Indonesia (UNESCO, 2025). Kemampuan manusia (peneliti, insinyur data, ilmuwan AI) dan riset merupakan pilar penting agar Indonesia tidak hanya sebagai pengguna teknologi, tetapi juga pencipta dan inovator. Penelitian AI yang mendalam dan jangka panjang memerlukan sumber daya yang konsisten. Oleh karenan iut, pembiayaan harus ditingkatkan, baik lewat hibah riset nasional, beasiswa, kolaborasi universitas–industri, maupun modal ventura untuk *startup* AI. Tanpa dukungan pembiayaan skala cukup, Indonesia tertinggal dalam rantai nilai AI global.

Hal yang sama pada aspek pembiayaan untuk regulasi, dimana seringkali juga kurang mendapat perhatian. Regulasi membutuhkan anggaran untuk konsultasi publik, pelatihan regulator, pengembangan *sandbox*, audit algoritma dan penegakan hukum. Tanpa pembiayaan yang memadai, regulasi hanya berupa kerangka di atas kertas tanpa implementasi efektif. Jadi, alokasi anggaran tahunan untuk regulator dan pengawasan AI harus diperhitungkan sebagai bagian dari investasi kedaulatan AI.

b) Pilar Penyangga

1) Riset dan Inovasi Industri

Kebijakan publik menjadi pilar pertama dalam membentuk arah pengembangan AI suatu negara. Tata kelola AI mencakup regulasi terkait keamanan data, privasi, interoperabilitas, serta tanggung jawab hukum dalam penggunaan sistem cerdas. Di tingkat global, Uni Eropa telah meluncurkan *EU AI Act* (2024) yang mengatur klasifikasi risiko sistem AI berdasarkan tingkat dampaknya terhadap masyarakat.

Selain kebijakan, pilar riset dan inovasi industri memiliki peran dalam pengembangan AI yang modern, relevan, berkelanjutan dan memiliki dampak kepada masyarakat (Komdigi, 2025). Kolaborasi antara sektor publik, swasta, serta akademia merupakan katalis bagi adopsi teknologi AI yang berkelanjutan. Ekosistem inovasi AI terbentuk ketika lembaga riset, universitas, *startup*, dan industri besar bekerja sama dalam model kemitraan berbasis riset-terapan (*research-driven innovation*). Di tingkat global, model seperti *AI Innovation Hubs* di Eropa dan *Partnership on AI* di Amerika Serikat menjadi contoh sukses kolaborasi lintas domain.

Indonesia mulai membangun pola serupa melalui *Indonesia AI Research Consortium* dan *Telkom AI Center of Excellence* yang berfokus pada pengembangan solusi AI untuk telekomunikasi, analitik data pelanggan, serta pengelolaan infrastruktur jaringan. Sementara itu, perusahaan teknologi nasional seperti Gojek dan Tokopedia telah mengimplementasikan sistem pembelajaran mesin untuk deteksi kecurangan (*fraud detection*), mesin rekomendasi (*recommendation engine*), dan penetapan harga dinamis (*dynamic pricing*), yang sekaligus berfungsi sebagai laboratorium inovasi AI nasional.

2) Pilar Pengembangan Talenta

SDM menjadi elemen kunci dalam keberlanjutan ekosistem AI karena talenta berperan besar dalam setiap mata rantai pasok industri AI (Komdigi, 2025). Kualitas dan ketersediaan talenta digital menentukan kemampuan suatu negara untuk tidak hanya mengadopsi, tetapi juga menciptakan teknologi AI yang inovatif. Berdasarkan Peta Jalan Kecerdasan Artifisial Nasional yang disusun oleh Komdigi (2025) Pilar pengembangan SDM ini mencakup seluruh aktor yang dibutuhkan dalam siklus hidup AI yaitu:

a) Aktor pengembang, yaitu termasuk penyedia data, pengembang AI, penyedia sistem AI;
b) Aktor pengguna yaitu penyelenggara AI, dan pengguna akhir AI;
c) Masyarakat yang terdampak, yaitu khalayak umum, termasuk kelompok rentan.

Laporan *Stanford AI Index* (2024) mencatat bahwa negara dengan tingkat investasi tinggi pada pendidikan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) cenderung memiliki produktivitas riset AI yang lebih besar dan kontribusi signifikan terhadap publikasi ilmiah internasional. Hal ini terjadi karena pendidikan memfasilitasi pengembangan talenta secara masif.

Di Indonesia, sejumlah universitas telah membuka program studi khusus AI dan sains data, seperti Universitas Indonesia, Institut Teknologi Bandung, dan Universitas Gadjah Mada. Selain itu, sektor industri turut berperan melalui inisiatif seperti *Digital Talent Scholarship* (Kominfo) dan *Bangkit Academy* (kolaborasi Google, Gojek, Tokopedia, dan Traveloka). Program-program tersebut memperkuat kapasitas nasional di bidang *data engineering*, *machine learning operations (MLOps)*, dan etika AI, yang secara langsung mendukung kemandirian digital nasional.

3) Infrastruktur Data dan Akses Terbuka

Ketersediaan data yang berkualitas merupakan prasyarat bagi pengembangan AI yang akurat dan dapat diandalkan. Data berfungsi sebagai bahan bakar bagi algoritme pembelajaran mesin, dan kualitas data sangat menentukan performa model. Di tingkat global, inisiatif seperti *Open Data Platform* (ODP) dan *FAIR Data Principles* (Findable, Accessible, Interoperable,

Reusable) menjadi pedoman penting untuk memastikan standar berbagi data ilmiah dan industri (Wilkinson et al., 2016).

Di Indonesia, tantangan utama terletak pada fragmentasi data lintas instansi dan rendahnya tingkat interoperabilitas sistem informasi publik. Pemerintah telah merespons hal ini dengan membentuk Satu Data Indonesia (SDI) sebagai kerangka integrasi data nasional. Program ini memungkinkan entitas pemerintah dan swasta berbagi data melalui standar metadata dan antarmuka terbuka (API) yang seragam, sehingga mendorong kolaborasi lintas sektor dalam riset AI. Selain itu, munculnya penyedia layanan GPU lokal seperti DEKA GPU menunjukkan adanya upaya nasional dalam memperkuat kemandirian komputasi data dan memperkecil ketergantungan terhadap *hyperscaler* asing.

3.4. Ekosistem AI Global dan Nasional: Studi Perbandingan

Secara global, negara seperti Amerika Serikat, Tiongkok, dan Uni Eropa mendominasi ekosistem AI melalui tiga pilar utama: investasi besar-besaran dalam riset dasar, kepemilikan data dalam skala masif, dan dominasi teknologi komputasi awan (*cloud computing*). Tiongkok misalnya, memanfaatkan integrasi antara data publik dan swasta untuk mempercepat riset AI dalam bidang pengenalan wajah dan sistem transportasi cerdas (Zhang et al., 2023). Di sisi lain, Eropa menonjol dalam tata kelola etika dan transparansi algoritma.

Meskipun Indonesia masih pada tahap penguatan fondasi, perkembangan positif mulai terlihat melalui kolaborasi lintas sektor. Program seperti *BRIN AI Research Cluster*, *Kampus Merdeka Digital*, dan *Indonesia Digital Roadmap 2021–2024* memperlihatkan arah kebijakan yang konsisten menuju peningkatan daya saing teknologi. Penerapan AI di bidang publik, seperti deteksi banjir berbasis citra

satelit oleh BRIN dan prediksi konsumsi energi oleh PLN dengan *machine learning*, menandai awal penerjemahan riset menjadi kebijakan berbasis data.

3.5. Tantangan dan Arah Pengembangan

Beberapa tantangan yang masih dihadapi Indonesia dalam membangun ekosistem AI yang kuat meliputi keterbatasan infrastruktur komputasi lokal (terutama GPU dan HPC), kesenjangan kompetensi SDM digital, serta kurangnya integrasi antara riset akademik dan kebutuhan industri. Tantangan ini dapat diatasi melalui penguatan kemitraan riset publik-swasta, peningkatan kompetensi SDM digital melalui kolaborasi antara kementrian terkait dan universitas, peningkatan kapasitas infrastruktur nasional seperti DEKA GPU dan PDN, serta penerapan kebijakan inovasi terbuka (*open innovation*).

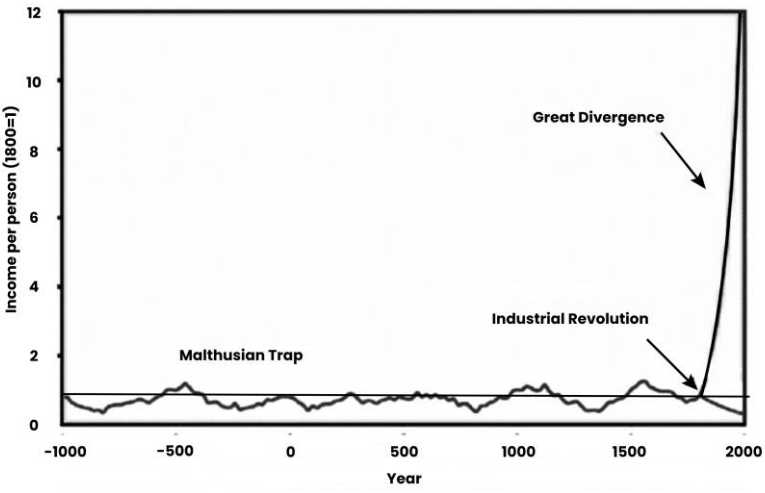
Secara global, arah pengembangan ekosistem AI menuju pada integrasi antara AI dan komputasi kuantum, otomatisasi *edge* AI di perangkat IoT, serta kolaborasi lintas negara untuk tata kelola data lintas batas. Indonesia dapat berperan aktif dalam kerangka kerja ini dengan memperluas diplomasi digital dan partisipasi dalam forum internasional seperti *Global Partnership on AI (GPAI)*.

BAB 4
AI, PEREKONOMIAN, DAN TRANSFORMASI KETENAGAKERJAAN

BAB IV
AI, PEREKONOMIAN, DAN TRANSFORMASI KETENAGAKERJAAN

4.1. AI sebagai Teknologi Disruptif dalam Ekonomi

Artificial Intelligence (AI) berperan sangat penting dalam mendorong terjadinya revolusi industri keempat. Perubahan besar ini terjadi bersamaan dengan semakin luasnya penggunaan internet di perangkat seluler serta berkembangnya sensor yang kini makin kecil, kuat, dan murah (Chao, 2018; Schwab, 2017). Dalam industri modern, sistem produksi saling terhubung dan banyak mengandalkan otomatisasi berbasis AI. Teknologi ini mampu mengumpulkan serta menganalisis berbagai jenis data untuk membantu pengambilan keputusan dan mendeteksi masalah sejak dini, sehingga seluruh proses produksi menjadi lebih efisien dan cerdas (Javaid et al., 2022).



Gambar 4.1 Sejarah Ekonomi Global.
Sumber: Clark (2007)

Perubahan besar seperti ini sebenarnya merupakan bagian dari perjalanan panjang dalam sejarah ekonomi dunia, seperti terlihat pada Gambar 4.1. Sebelum tahun 1800, rata-rata pendapatan masyarakat digunakan untuk memenuhi kebutuhan dasar seperti pangan, sandang, pemanas, penerangan, dan tempat tinggal yang tingkatannya berbeda-beda antarnegara dan antarwaktu (Clark, 2007). Namun, tidak terjadi peningkatan taraf hidup manusia secara berkelanjutan. Konsep Perangkap Malthus (*Malthusian Trap*) menjelaskan bahwa setiap kali teknologi meningkatkan pendapatan, pertumbuhan penduduk yang cepat akan menghapus manfaat tersebut. Sebelum tahun 1800, kemajuan teknologi masih berlangsung lambat dibandingkan dengan perkembangan pesat yang terjadi setelahnya (Clark, 2007).

Perubahan besar dalam ekonomi mulai terlihat saat munculnya revolusi industri di Inggris sekitar tahun 1780. Penggunaan mesin uap pada masa itu menjadi tonggak penting yang menggantikan tenaga manusia dengan mesin, sehingga produksi bisa dilakukan lebih cepat dan efisien (Clark, 2007, 2014). Penemuan mesin uap oleh James Watt membuka jalan bagi berkembangnya pabrik-pabrik dan mempercepat proses industrialisasi serta urbanisasi.

Tahap-tahap revolusi industri berikutnya juga membawa perubahan besar. Era Industri 2.0 ditandai dengan penggunaan listrik dan sistem lini perakitan (*assembly line*), yang memungkinkan untuk melakukan produksi massal. Era Industri 3.0 hadir dengan teknologi komputer dan digital, yang membuat sistem produksi semakin otomatis. Kini, pada era Industri 4.0, AI menjadi pusat inovasi, membuat mesin dan sistem produksi mampu “berpikir” dan mengambil keputusan secara mandiri (Schwab, 2017; Tinmaz, 2020).

Setiap tahapan revolusi industri tidak hanya meningkatkan efisiensi dan produktivitas, tetapi juga mengubah cara perdagangan dunia dan jenis pekerjaan yang dibutuhkan. Transportasi yang lebih cepat, sistem

produksi massal, hingga pabrik-pabrik cerdas telah mengubah wajah perekonomian global dari masa ke masa. Perjalanan dari industri 1.0 hingga 4.0 menunjukkan bagaimana manusia terus berinovasi untuk bekerja lebih cepat, efisien, dan cerdas. Hal ini membuktikan bahwa kemajuan teknologi selalu menjadi pendorong utama dalam perkembangan sosial dan pertumbuhan ekonomi di seluruh dunia.

Perkembangan teknologi AI menandai fase baru dalam evolusi ekonomi global. Sebagai kelanjutan dari tiga revolusi industri sebelumnya, dunia kini memasuki era di mana mesin tidak hanya bekerja berdasarkan perintah manusia, tetapi juga mampu belajar, menganalisis, dan mengambil keputusan sendiri. AI menjadi inti dari transformasi ini karena kemampuannya memproses data dalam jumlah besar (*big data*) untuk menghasilkan wawasan dan keputusan yang lebih cepat serta akurat (McAfee & Brynjolfsson, 2017).

Meskipun AI termasuk bagian dari otomatisasi (D. M. Acemoglu & Restrepo, 2018), penting untuk memahami perbedaannya dengan otomatisasi konvensional. Pemahaman ini membantu menjelaskan bagaimana AI dapat memengaruhi kehidupan sosial dan ekonomi secara langsung. Tabel 4.1. menunjukkan perbedaan utama antara AI dan otomatisasi konvensional.

AI tidak hanya mempercepat proses otomatisasi, tetapi juga mengubah cara ekonomi modern beroperasi. Jika pada masa lalu mesin hanya menggantikan pekerjaan fisik, kini AI juga mampu mengambil alih sebagian pekerjaan yang bersifat kognitif atau analitis. Dalam teori pertumbuhan ekonomi endogen, teknologi dianggap sebagai faktor utama peningkatan produktivitas dan output per kapita; AI memperkuat fungsi ini dengan meningkatkan efisiensi, memperbaiki prediksi berbasis data, dan menciptakan nilai ekonomi baru dari informasi yang sebelumnya belum termanfaatkan (Aghion et al., 2017).

Tabel 4.1 Perbedaan AI dan Otomatisasi Konvensional

Aspek	AI	Otomatisasi Konvensional
Pembelajaran dan Adaptasi	Dapat belajar dari pengalaman, menyesuaikan dengan input baru, dan meningkatkan kinerja secara otonom (Feng, 2018; Lincy, 2024; Nalini, 2024)	Mengikuti aturan tetap tanpa kemampuan belajar atau beradaptasi (Kanokogi, 2022; Lincy, 2024).
Pembuatan Keputusan	Menganalisis data besar, mengenali pola, dan memprediksi hasil untuk pengambilan keputusan kompleks (Lincy, 2024; Nalini, 2024; Rafee et al., 2023)	Terbatas pada skenario yang telah diprogram tanpa analisis data kompleks (Kanokogi, 2022; Lincy, 2024).
Cakupan dan Fleksibilitas	Dapat diterapkan di berbagai bidang seperti kesehatan, keuangan, dan robotika (Kushwaha, 2023; Nalini, 2024; Rafee et al., 2023)	Umumnya terbatas pada proses industri spesifik dengan lingkungan dan tugas yang tetap (Kanokogi, 2022; Lincy, 2024).
Menyerupai Manusia	Memahami bahasa alami, mengenali gambar, dan memberi rekomendasi personal (Nalini, 2024; Rafee et al., 2023)	Fokus pada tugas mekanis dan berulang yang tidak memerlukan kemampuan kognitif (Kanokogi, 2022; Lincy, 2024).
Integrasi dan Kompleksitas	Dapat terhubung dengan teknologi baru seperti IoT, sehingga pengambilan keputusan *real-time* dan efisiensi operasional meningkat (Kaur et al., 2024; Unni et al., 2023).	Lebih sederhana dan jarang terintegrasi dengan teknologi lain (Kanokogi, 2022; Lincy, 2024).

Hasil survei dalam publikasi Future of Jobs Report 2025 menunjukkan bahwa 40% perusahaan responden berencana untuk mengurangi jumlah pegawai seiring dengan meningkatnya kemampuan otomatisasi

yang ditawarkan oleh teknologi AI (World Economic Forum, 2025b). Laporan tersebut juga menyoroti bahwa sekitar 39% keterampilan utama pekerja diperkirakan akan mengalami perubahan dalam lima tahun ke depan, hal ini mencerminkan dinamika besar dalam kebutuhan kompetensi di pasar tenaga kerja global akibat adopsi teknologi baru. Di Indonesia, proporsi keterampilan yang diperkirakan mengalami perubahan mencapai sekitar 36%. Meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata global, temuan ini menegaskan bahwa upaya peningkatan dan penyesuaian keterampilan (*upskilling* dan *reskilling)* tetap menjadi agenda strategis bagi tenaga kerja nasional.

Perubahan ini menandai pergeseran menuju *knowledge-based economy* atau ekonomi berbasis pengetahuan, di mana sumber nilai utama tidak lagi bertumpudari tenaga fisik, melainkan pada kemampuan berpikir, kreativitas, dan penguasaan teknologi digital. Penelitian yang dilakukan oleh Phan et al. (2024) terhadap 141 negara dengan menggunakan data periode 2010–2013, menunjukkan bahwa inovasi AI secara signifikan meningkatkan output ekonomi, terutama pada negara-negara yang memiliki strategi AI yang kuat dan infrastruktur yang lebih maju. Penelitian ini juga menekankan bahwa untuk memaksimalkan potensi ekonomi dari AI, para pembuat kebijakan dan pelaku bisnis perlu mengembangkan strategi AI yang komprehensif serta membangun lingkungan yang mendukung integrasi AI secara menyeluruh.

4.2. Transformasi Ekonomi di Era AI

Perkembangan teknologi khususnya AI, telah menjadi pendorong utama transformasi ekonomi global dalam dua dekade terakhir. AI tidak hanya menghadirkan potensi peningkatan efisiensi dan produktivitas, tetapi juga memunculkan perubahan mendasar pada struktur industri, pasar tenaga kerja, dan pola pertumbuhan ekonomi. Pemahaman terhadap fenomena tersebut didasarkan pada berbagai teori ekonomi

klasik dan modern, antara lain teori *creative destruction*, *solow growth, endogenous growth theory*, dan kerangka *General Purpose Technology* (GPT). Teori-teori ini saling melengkapi dalam menjelaskan bagaimana inovasi dan teknologi seperti AI menjadi katalis utama dalam perubahan struktur ekonomi.

4.2.1. *Creative Destruction* dan Relevansinya di Era AI

Joseph A. Schumpeter (1942) menggambarkan pertumbuhan ekonomi kapitalis sebagai hasil dari proses *creative destruction*—yakni inovasi yang secara simultan menghancurkan struktur lama dan menciptakan tatanan ekonomi baru. Dalam pandangan Schumpeter, inovasi bukan hanya menambah efisiensi, tetapi juga menggantikan teknologi dan model bisnis lama dengan yang lebih adaptif dan produktif.

Fenomena ini sangat terlihat dalam perkembangan AI yang mendisrupsi berbagai sektor secara cepat. Industri keuangan mengalami transformasi melalui *fintech* berbasis AI, sektor manufaktur beralih menuju *smart production,* dan bidang pendidikan, kesehatan, hingga logistik mengadopsi sistem berbasis pembelajaran mesin yang menggantikan pola kerja konvensional. AI menjadi kekuatan "destruktif-kreatif" yang memicu lahirnya industri baru, sekaligus menggusur perusahaan yang gagal beradaptasi (Cockburn et al., 2018).

Meskipun demikian, proses *creative destruction* juga menimbulkan tantangan kebijakan. Konsentrasi kekuatan teknologi pada segelintir perusahaan besar menimbulkan efek *winner-takes-all* dan potensi monopoli inovasi. Oleh karena itu, sebagaimana semangat Schumpeterian, keberlanjutan pertumbuhan berbasis AI membutuhkan keseimbangan antara dorongan inovasi dan regulasi yang menjaga kompetisi sehat serta inklusivitas ekonomi. Dengan demikian, teori *creative destruction* memberikan kerangka penting

untuk memahami dinamika transisi ekonomi yang didorong oleh AI, di mana disrupsi menjadi prasyarat bagi kemajuan struktural.

4.2.2. Teori Pertumbuhan Neoklasik Solow dan Relevansinya di era AI

Model pertumbuhan neoklasik Solow (1956) memandang bahwa *output* ekonomi ditentukan oleh kombinasi modal fisik, tenaga kerja, dan teknologi. Dalam jangka panjang, pertumbuhan berkelanjutan hanya dapat dicapai melalui kemajuan teknologi karena akumulasi modal dan tenaga kerja akan menghadapi *diminishing returns*. Dalam konteks AI, teori ini tetap relevan karena AI dapat dilihat sebagai bentuk kemajuan teknologi yang meningkatkan *total factor productivity* (TFP) yakni efisiensi gabungan antara tenaga kerja dan modal dalam menghasilkan output. Misalnya, penerapan AI dalam rantai pasok global memungkinkan penghematan bahan baku, efisiensi logistik, dan peningkatan output tanpa menambah modal atau tenaga kerja secara proporsional. Dengan demikian, AI memperluas komponen teknologi dalam fungsi produksi Solow dan berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi jangka panjang melalui peningkatan efisiensi sistemik (Brynjolfsson et al., 2018; Solow, 1956).

Namun, sebagaimana diingatkan oleh Solow, kemajuan teknologi tidak otomatis menghasilkan pertumbuhan jika tidak disertai investasi pada modal pelengkap seperti pendidikan, infrastruktur digital, dan sistem kelembagaan yang mendukung adopsi teknologi. Negara atau sektor yang tidak mampu beradaptasi akan mengalami *technology gap*, sehingga memperluas ketimpangan produktivitas dengan wilayah yang lebih maju. Dengan demikian, teori Solow memberikan dasar untuk memahami bahwa keberhasilan pemanfaatan AI bergantung pada sejauh mana suatu perekonomian mampu menginternalisasi kemajuan teknologi ke dalam sistem produksinya.

4.2.3. *Endogenous Growth Theory*

Teori pertumbuhan endogen yang diperkenalkan oleh Romer (1990) menekankan bahwa kemajuan teknologi bukanlah hasil eksternal, tetapi lahir dari keputusan ekonomi terutama investasi dalam penelitian, pengembangan (R&D), serta akumulasi modal manusia. Dalam model Romer, pengetahuan dan inovasi memiliki sifat tidak bersaing dan dapat dikecualikan secara terbatas melalui hak kekayaan intelektual. Kondisi ini membentuk struktur persaingan monopolistik yang menciptakan insentif bagi inovasi.

Dalam era AI, teori ini menjadi sangat relevan karena teknologi tidak hanya dikembangkan oleh aktor publik, tetapi juga oleh perusahaan swasta melalui ekosistem riset, data, dan kolaborasi. Negara atau perusahaan yang berinvestasi besar dalam riset AI, data besar (*big data*), dan talenta digital akan memiliki keunggulan kompetitif jangka panjang. AI juga memperkuat efek *knowledge spillover* yang diidentifikasi oleh Romer, karena hasil penelitian di satu organisasi dapat mempercepat kemajuan di organisasi lain melalui pembelajaran mesin terbuka (*open-source machine learning*), publikasi riset, dan kerja sama akademik. Dengan demikian, investasi dalam kapasitas manusia dan infrastruktur digital menjadi faktor kunci bagi pertumbuhan ekonomi berkelanjutan yang bersumber dari dalam (endogen).

4.2.4. *General Purpose Technology* (GPT)

Bresnahan dan Trajtenberg (1995) memperkenalkan kerangka *General Purpose Technology* (GPT) untuk menjelaskan peran teknologi dengan dampak lintas sektoral yang luas, seperti mesin uap, listrik, komputer, dan kini kecerdasan buatan. GPT ditandai oleh tiga karakteristik utama: (1) bersifat *pervasive* atau dapat diterapkan di berbagai sektor; (2) memiliki potensi peningkatan berkelanjutan (*technological dynamism*);

dan (3) menciptakan *innovational complementarities*, yaitu kebutuhan akan inovasi tambahan di sektor pengguna.

Semua ciri tersebut telah dimiliki AI. Pertama, AI mampu menembus hampir semua bidang, mulai dari transportasi (mobil otonom), kesehatan (diagnosis berbasis citra), pendidikan (pembelajaran adaptif), hingga sektor publik (layanan *e-government* berbasis *chatbot*). Kedua, AI terus berkembang secara eksponensial melalui kemajuan dalam algoritma, daya komputasi, dan ketersediaan data. Ketiga, AI memicu inovasi tambahan di sektor lain, seperti pengembangan sensor IoT, perangkat keras komputasi, dan model bisnis digital baru. Oleh karena itu, AI tidak hanya meningkatkan produktivitas langsung, tetapi juga memperluas potensi pertumbuhan ekonomi melalui efek *complementary innovation* (Cockburn et al., 2018).

4.2.5. Bukti Empiris Dampak AI terhadap Perekonomian

Berbagai studi empiris menunjukkan bahwa AI memberikan kontribusi nyata terhadap pertumbuhan ekonomi dan peningkatan PDB di berbagai negara. Penelitian di Tiongkok pada periode 2011–2019 menemukan bahwa AI berpengaruh positif terhadap pertumbuhan ekonomi, meskipun besarnya dampak berbeda antar wilayah. Pengembangan AI pada tingkat menengah memberikan kontribusi signifikan, sedangkan pada tingkat yang sangat tinggi pengaruhnya tidak lagi terlihat jelas (X. Wang et al., 2025). Secara global, adopsi AI terbukti mampu meningkatkan produktivitas, menurunkan harga modal, serta mendorong kenaikan upah. Ketika AI dan tenaga kerja saling melengkapi, investasi pada modal AI juga berdampak positif terhadap porsi pendapatan tenaga kerja (L. Wang et al., 2021). Bahkan hinga tahun 2035, proyeksi global memperkirakan AI akan memberikan dampak yang signifikan terhadap output industri dan nilai tambah ekonomi di berbagai negara (Vochozka et al., 2018).

Temuan lain dari studi di Tiongkok periode 2005–2018 menunjukkan bahwa pengembangan AI secara langsung mendukung pertumbuhan ekonomi, termasuk berkontribusi dalam memperlambat dampak perlambatan ekonomi melalui perbaikan struktur industri (Fan & Liu, 2021). Dalam rentang waktu yang lebih panjang (1981–2021), penelitian menunjukkan bahwa AI bersama pengelolaan sumber daya alam berkontribusi positif terhadap pertumbuhan ekonomi, dengan efek AI yang bersifat asimetris namun tetap menunjukkan arah positif (Y. Wang & Li, 2023). Secara lebih luas, beberapa studi menegaskan bahwa AI memengaruhi pertumbuhan ekonomi melalui empat mekanisme utama seperti penetrasi kecerdasan, perluasan batas ekonomi, penciptaan pengetahuan, dan pendalaman kemampuan digital, yang semuanya meningkatkan kualitas tenaga kerja, modal, serta teknologi produksi (Zuo, 2023).

Penelitian pada negara-negara BRICS selama periode 2000–2024 menunjukkan bahwa jumlah paten AI berkorelasi kuat dengan ekspansi ekonomi dan secara konsisten terkait dengan pertumbuhan PDB (A. B. M. M. Rahman et al., 2024). Sejalan dengan itu, studi di Tiongkok periode 2011–2020 menunjukkan bahwa AI mendorong pembangunan ekonomi berkualitas tinggi melalui percepatan transisi energi, inovasi teknologi hijau, serta pengurangan ketidakpastian kebijakan iklim (Akram et al., 2024). Pada tingkat perusahaan, penelitian terhadap perusahaan Tiongkok periode 2003–2022 menunjukkan bahwa teknologi AI secara signifikan meningkatkan produktivitas total faktor (TFP), dan kemampuan inovasi perusahaan menjadi faktor yang memediasi hubungan ini (Cao et al., 2025).

Sejumlah studi lain juga mencatat bahwa AI dapat menopang pertumbuhan ekonomi melalui peningkatan kualitas tenaga kerja, efisiensi modal, dan produktivitas. Dampaknya bersifat positif dalam jangka panjang, meskipun dalam jangka pendek bisa menimbulkan efek perlambatan karena proses penyesuaian teknologi (Xu, 2022). Penelitian lainnya menemukan bahwa AI meningkatkan produktivitas

faktor dan tenaga kerja, memperluas rantai industri, serta meningkatkan efisiensi inovasi teknologi dan efisiensi pasar. Seluruh mekanisme tersebut berkontribusi pada penguatan pertumbuhan ekonomi (Hu et al., 2022). Penelitian di Eropa pada periode 2000–2021 menunjukkan bahwa AI mendorong perkembangan ekonomi dengan efek positif jangka panjang, di mana guncangan positif AI meningkatkan pertumbuhan dan guncangan negatif justru menurunkannya (Kalai et al., 2024). Secara global, paten AI juga terbukti berkorelasi positif dengan pertumbuhan ekonomi dalam periode 1970–2019, dengan dampak lebih kuat di negara maju dan semakin terlihat pada periode-periode terbaru (Gonzales, 2023). Pada tingkat daya saing internasional, AI terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap PDB di Amerika Serikat, Tiongkok, dan secara global, meskipun dampaknya relatif lebih lemah di Uni Eropa. Selain itu, pengaruh AI terhadap pasar tenaga kerja bervariasi antar wilayah (Sikorskyi et al., 2025).

Secara keseluruhan, berbagai bukti empiris ini menunjukkan bahwa AI memiliki peran strategis dalam mempercepat pertumbuhan ekonomi dunia. Walaupun dampaknya tidak selalu seragam antar wilayah dan dapat menimbulkan tantangan jangka pendek, tren global menunjukkan bahwa negara dan sektor yang mampu memanfaatkan AI dengan efektif berpotensi meraih keuntungan ekonomi yang jauh lebih besar dalam jangka panjang.

4.2.6. Implikasi bagi Struktur Ekonomi dan Kebijakan

Berdasarkan teori dan bukti empiris di atas, transformasi ekonomi yang digerakkan oleh AI membawa implikasi luas bagi kebijakan publik dan struktur ekonomi nasional. Pertama, AI mempercepat *creative destruction*, sehingga pemerintah perlu menyiapkan kebijakan transisi pekerjaan dan perlindungan sosial yang adaptif. Kedua, sesuai dengan *endogenous growth theory*, investasi dalam R&D, pendidikan STEM, dan pengembangan kapasitas inovasi menjadi kunci pertumbuhan

jangka panjang. Ketiga, karena AI bersifat *General Purpose Technology*, kebijakan publik perlu mendorong difusi teknologi lintas sektor agar manfaatnya tersebar luas, bukan hanya terkonsentrasi di sektor tertentu. Keempat, diperlukan strategi *human-centric AI* yang menekankan keseimbangan antara otomatisasi dan peningkatan kemampuan manusia.

Transformasi ekonomi di era AI dengan demikian bukan hanya soal efisiensi teknologi, tetapi juga tentang tata kelola, etika, dan inklusivitas. Negara yang mampu menyeimbangkan antara inovasi, kesiapan sumber daya manusia, dan kebijakan redistributif akan lebih berhasil memanfaatkan potensi AI untuk pertumbuhan yang berkeadilan.

4.3. Transformasi Ketenagakerjaan di Era AI

Dampak kemajuan teknologi terhadap tenaga kerja bersifat beragam, dan kehadiran AI diperkirakan tidak menjadi pengecualian. Beberapa kelompok pekerja akan lebih rentan terdampak sehingga memerlukan bantuan pemerintah dalam menghadapi perubahan tersebut. Selain itu, setiap kelompok masyarakat menghadapi tingkat risiko yang berbeda sementara sebagian di antaranya memiliki kemampuan atau posisi yang lebih baik untuk memperoleh manfaat dari kemajuan AI (Lane, 2024).

4.3.1. Pandangan Historis tentang Dampak Perkembangan Teknologi terhadap Lapangan Kerja

Pesatnya perkembangan teknologi AI telah memicu perdebatan besar mengenai pengaruhnya terhadap pasar kerja dan dunia ketenagakerjaan. Kemajuan dalam ilmu komputer telah melahirkan generasi baru robot yang mampu melakukan tugas-tugas yang memerlukan logika, penilaian, dan persepsi — kemampuan yang dulunya hanya dimiliki manusia (Nilsson, 1984). Para pembuat kebijakan menghadapi dilema terkait penggunaan teknologi yang

dapat menggantikan tenaga kerja manusia, karena meskipun menawarkan efisiensi dan produktivitas yang lebih tinggi, teknologi ini juga menimbulkan tantangan sosial berupa meningkatnya pengangguran.

Kekhawatiran bahwa perkembangan teknologi akan menggantikan manusia bukanlah hal baru (Frey & Osborne, 2017). Isu ini telah lama dibahas oleh pemikir terdahulu, seperti Acemoglu dan Robinson (2012) mencatat bahwa pada tahun 1589, Ratu Elizabeth I menolak memberikan hak paten kepada William Lee atas mesin rajut buatannya karena khawatir penggunaannya secara luas akan menimbulkan pengangguran dan keresahan sosial. Pada abad ke-18, di Inggris muncul gerakan Luddite yang dipimpin oleh Ned Ludd. Gerakan ini terkenal karena aksi sabotase terhadap mesin-mesin tekstil, yang mereka anggap sebagai ancaman terhadap pekerjaan para pengrajin terampil di awal masa industrialisasi (Darıcı et al., 2024; Groenwegen, 1970).

Kekhawatiran tersebut juga menjadi bahan perdebatan di kalangan para pemikir besar. Pada tahun 1748, Montesquieu menyoroti risiko hilangnya pekerjaan akibat kemajuan teknologi. Sebaliknya, Tucker berpendapat bahwa kehilangan pekerjaan akan diimbangi dengan meningkatnya efisiensi dan permintaan terhadap barang-barang murah (Groenwegen, 1970). Malthus dan Barton menambahkan pandangan bahwa kemajuan teknologi bisa menimbulkan kelebihan produksi dan ketimpangan dalam pembagian manfaatnya (Barton, 1817; Malthus, 1798). Ricardo, yang awalnya mendukung penggunaan mesin karena meningkatkan produktivitas, kemudian menyadari dampak negatifnya terhadap pekerja (Groenwegen, 1970; Ricardo, 1821).

Sismondi mengkritik bahwa fokus berlebihan pada pertumbuhan ekonomi tanpa memperhatikan kesejahteraan manusia dengan menekankan kemajuan teknologi, sering kali mengabaikan dampak

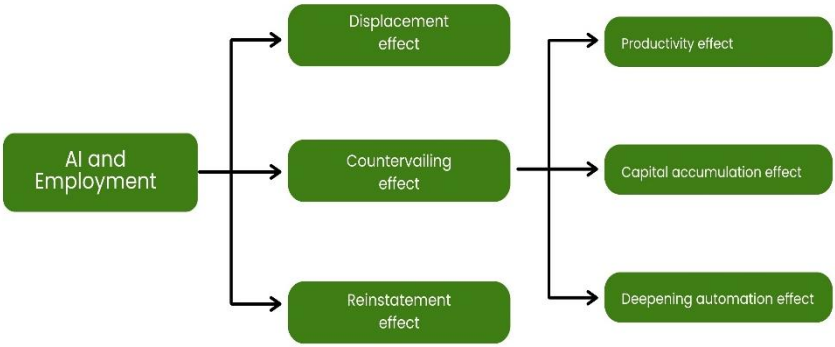
sosial yang lebih luas (Romani, 2005). Sebaliknya, McCulloch (1821) berpendapat bahwa mesin pada akhirnya akan membawa manfaat jangka panjang bagi produksi dan lapangan kerja. Keynes juga mengakui adanya masa transisi yang sulit, namun ia memandang-depan di mana kemajuan teknologi akan menghasilkan jam kerja yang lebih singkat dan kemakmuran lebih besar, asalkan manfaatnya dikelola dan terdistribusi secara adil (Keynes, 2010).

Singkatnya, perdebatan mengenai pengangguran akibat teknologi telah berlangsung selama berabad-abad. Pandangan-pandangan dari masa lalu ini tetap relevan, memberikan wawasan penting untuk merumuskan kebijakan di era AI saat ini tentang bagaimana menghadapi tantangan dan peluang yang muncul dari otomatisasi.

4.3.2. Pandangan Kontras tentang Dampak AI terhadap Ketenagakerjaan: Ancaman dan Peluang

Karena AI merupakan bentuk otomatisasi, dampaknya cenderung mengikuti pola yang sama seperti teknologi otomatisasi sebelumnya yaitu menggantikan tenaga manusia dalam berbagai jenis pekerjaan dan proses industri (D. M. Acemoglu & Restrepo, 2018). Aghion et al. (2019) juga melihat AI sebagai bentuk terbaru dari otomatisasi. Oleh karena itu, untuk memahami dampak AI, penting untuk melihat konteks perubahan hubungan antara otomatisasi dan tenaga kerja (Tschang & Almirall, 2021).

Menurut Tschang dan Almirall (2021), terdapat dua bentuk utama dampak AI terhadap pekerjaan: dampak penggantian (*replacement effect*), yaitu ketika pekerjaan utama manusia digantikan oleh mesin; dan penguatan (*augmentation effect*), yaitu ketika teknologi justru meningkatkan kemampuan kerja manusia. Frank et al. (2019) menyebut dua pandangan ini sebagai pandangan pesimis (doomsdayer's) dan pandangan optimis.



Gambar 4.2 Dampak AI terhadap Pekerjaan
Sumber: Acemoglu and Restrepo (2018)

Pandangan pesimis menilai kemajuan teknologi justru menekan kebutuhan akan tenaga kerja manusia, sedangkan pandangan optimis melihat bahwa meskipun beberapa pekerjaan tergantikan, efisiensi dan peluang baru yang muncul justru akan membuka lebih banyak lapangan kerja.

Sementara itu, Acemoglu dan Restrepo (2018) berpendapat bahwa teknologi baru seperti AI tidak hanya menggantikan pekerjaan manusia, tetapi juga menciptakan jenis pekerjaan baru dan mengubah cara kerja manusia dengan cara yang kompleks. Mereka menjelaskan bahwa dampak bersih dari otomatisasi terhadap ketenagakerjaan bergantung pada tiga mekanisme utama, yaitu efek penggantian (*displacement effect*), efek produktivitas (*productivity effect*), dan efek pemulihan atau pengembalian pekerjaan (*reinstatement effect*). Semua mekanisme ini tercermin di dalam Gambar 4.2.

a) Efek Penggantian *(Displacement Effect)*

Pandangan pertama melihat AI sebagai ancaman bagi tenaga kerja, yang dirangkum dalam konsep "efek penggantian" (*displacement effect)*. Dalam pandangan ini, AI menggantikan pekerja manusia dalam melaksanakan tugas-tugas yang sebelumnya mereka lakukan, sehingga menyebabkan penurunan

permintaan tenaga kerja dan tekanan terhadap upah (D. M. Acemoglu & Restrepo, 2018).

Lebih lanjut, Acemoglu dan Restrepo (2018). menjelaskan bahwa efek penggantian ini menimbulkan ketidaksinkronan antara pertumbuhan produktivitas dan kenaikan upah, atau yang disebut *decoupling*. Akibatnya, porsi pendapatan nasional yang diterima oleh tenaga kerja menurun, sementara keuntungan ekonomi yang dihasilkan dari peningkatan output justru lebih banyak dinikmati oleh pemilik modal. Dengan kata lain, meskipun teknologi meningkatkan produktivitas, manfaatnya tidak terbagi secara merata antara pekerja dan pemilik modal.

Pandangan ini sejalan dengan perspektif pesimis atau yang dikenal sebagai *Doomsayer's perspective* (Frank et al., 2019), yang berpendapat bahwa meskipun kemajuan teknologi dapat meningkatkan efisiensi kerja, ia juga berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lapangan pekerjaan. Pergantian pekerja manusia dengan mesin atau sistem AI memunculkan kekhawatiran akan terjadinya "pengangguran teknologi" (*technological unemployment*), sehingga berbagai studi dan proyeksi kini berupaya memperkirakan sejauh mana AI dapat memengaruhi pasar tenaga kerja di masa mendatang.

b) Efek Penyeimbang *(Countervailing Effect)*

Pandangan kedua melihat AI sebagai peluang, yang menghadirkan kekuatan penyeimbang terhadap efek penggantian (*displacement effect*). Dalam pandangan ini, otomatisasi AI dan robotika justru dapat meningkatkan permintaan terhadap tenaga kerja.

Acemoglu dan Restrepo (2018) menjelaskan lebih lanjut mekanisme di balik pandangan ini. Menurut mereka, meskipun AI dapat menggantikan beberapa jenis pekerjaan, penerapan teknologi ini juga dapat mendorong peningkatan kebutuhan

tenaga kerja melalui apa yang disebut sebagai efek penyeimbang (*countervailing effect*). Efek ini muncul ketika otomatisasi menurunkan biaya produksi, sehingga harga barang dan jasa menjadi lebih murah. Kondisi ini kemudian meningkatkan permintaan terhadap berbagai produk dan layanan, termasuk yang masih dikerjakan oleh manusia.

Selain itu, Acemoglu dan Restrepo (2018) juga menekankan bahwa akumulasi modal dan perluasan otomatisasi secara berkelanjutan dapat memperkuat efek tersebut. Dengan bertambahnya investasi dan penggunaan teknologi otomatis, permintaan terhadap tenaga kerja tidak hanya meningkat di sektor yang belum otomatis, tetapi juga di sektor yang sudah mengadopsi otomatisasi, karena seluruh sistem produksi menjadi lebih produktif dan berkembang lebih luas.

1) Efek Produktivitas

   Otomatisasi menurunkan biaya produksi karena menggantikan tenaga manusia dengan mesin yang lebih efisien. Harga barang pun menjadi lebih murah, pendapatan riil masyarakat meningkat, dan permintaan terhadap berbagai barang serta jasa ikut naik. Akibatnya, muncul peningkatan kebutuhan tenaga kerja di bidang-bidang yang belum terotomatisasi (D. Acemoglu & Restrepo, 2018; Autor, 2015).

2) Efek Akumulasi Modal

   Ketika otomatisasi meningkat, kebutuhan terhadap investasi modal juga meningkat. Kenaikan permintaan terhadap modal ini dapat mendorong pertumbuhan ekonomi dan pada akhirnya menciptakan lebih banyak permintaan tenaga kerjaseperti yang terjadi di Inggris saat revolusi industri dan di Amerika Serikat pada awal abad ke-20 (Allen, 2009; Olmstead & Rhode, 2001).

3) Efek Pendalaman Otomatisasi

Kemajuan teknologi yang memperbaiki produktivitas dari sistem otomatis yang sudah ada (tanpa menggantikan tenaga kerja tambahan) juga dapat meningkatkan permintaan tenaga kerja. Contohnya, ketika alat pertanian bertenaga kuda digantikan dengan traktor diesel di Amerika Serikat, produktivitas dan upah meningkat tanpa banyak mengurangi jumlah tenaga kerja (Olmstead & Rhode, 2001).

c) Efek Pemulihan (***Reinstatement Effect***)

Pandangan ketiga dikenal sebagai efek pemulihan kembali (*reinstatement effect*), yang juga melihat AI sebagai sebuah peluang untuk menghidupkan kembali tenaga kerja dan perekonomian. Efek ini merujuk pada penciptaan jenis pekerjaan baru yang padat karya, yang dapat menyeimbangkan dampak kehilangan pekerjaan akibat otomatisasi. Meskipun otomatisasi meningkatkan penggunaan modal dan mengurangi porsi pendapatan tenaga kerja karena menggantikan peran manusia dengan mesin, proses ini juga dapat meningkatkan permintaan terhadap tenaga kerja melalui munculnya tugas-tugas baru yang lebih kompleks, di mana manusia masih memiliki keunggulan komparatif dibandingkan mesin (D. Acemoglu & Restrepo, 2018).

Sejarah menunjukkan contoh nyata dari fenomena ini. Di Inggris pada abad ke-19 dan di Amerika Serikat pada awal abad ke-20, periode otomatisasi yang pesat justru diiringi oleh munculnya berbagai pekerjaan baru di sektor teknik, manufaktur, dan jasa. Pekerjaan-pekerjaan baru ini mampu menyerap para pekerja yang sebelumnya kehilangan pekerjaan akibat otomatisasi, sehingga meringankan dampak negatif dari penggunaan mesin secara masif.

Seperti yang dijelaskan oleh Acemoglu dan Restrepo (2018), pertumbuhan kategori pekerjaan baru menjadi pendorong utama peningkatan kesempatan kerja, yang membantu menyeimbangkan efek-efek negatif dari otomatisasi. Dengan demikian, efek

pemulihan kembali *(reinstatement effect*) memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan pertumbuhan ekonomi, yaitu dengan menciptakan permintaan tenaga kerja baru yang dapat menutup dampak penggantian akibat kemajuan teknologi.

Dalam praktiknya, dampak bersih AI terhadap ketenagakerjaan baik melalui efek penggantian maupun peningkatan *(displacement* dan *augmentation*) sangat bergantung pada cara organisasi mengelola dan memadukan kedua dinamika tersebut. Pengaruh AI terhadap tenaga kerja ditentukan oleh seberapa efektif suatu organisasi dapat memanfaatkan peran manusia dan teknologi secara bersamaan untuk mengoptimalkan produktivitas dan mencapai hasil yang diinginkan (Tschang & Almirall, 2021).

Raisch dan Krakowski (2021) juga menekankan perlunya pendekatan yang lebih seimbang dan mendalam, yaitu dengan berupaya meminimalkan dampak negatif AI terhadap pekerjaan, sekaligus memaksimalkan potensi positifnya bagi organisasi dan tenaga kerja.

4.3.3. *Skill-Biased Technological Change* (SBTC)

Pembahasan sebelumnya menyoroti perbedaan pandangan tentang hilangnya dan terciptanya lapangan kerja. Dalam konteks ini, *Skill-Biased Technological Change* (SBTC**)** menjelaskan bahwa kemajuan teknologi termasuk AI, cenderung lebih menguntungkan pekerja yang memiliki keterampilan tinggi.

Sejak penelitian Tinbergen (1974), para ekonom menemukan bahwa kebutuhan terhadap tenaga kerja berpendidikan tinggi meningkat seiring kemajuan teknologi (Acemoglu & Autor, 2011). Teknologi modern umumnya melengkapi pekerjaan yang memerlukan keahlian tinggi, tetapi menggantikan pekerjaan yang bersifat rutin dan tidak membutuhkan keterampilan khusus (Katz & Murphy, 1992).

Hasilnya, terjadi peningkatan permintaan terhadap pekerja dengan kemampuan teknis dan pendidikan yang lebih tinggi, sementara permintaan untuk tenaga kerja berkemampuan rendah menurun. Beberapa studi menunjukkan bahwa sejak 1980-an, muncul kesenjangan upah antara pekerja berkemampuan tinggi dan rendah akibat penggunaan teknologi informasi di tempat kerja (Card & DiNardo, 2002; Katz, 2000; Violante, 2016).

Namun, Behar (2016) mengingatkan bahwa bias ini tidak selalu terjadi secara alami, terutama di negara berkembang. Adopsi teknologi yang berpihak pada tenaga kerja terampil lebih disebabkan oleh pengaruh globalisasi dan ketersediaan teknologi dari negara maju, bukan karena faktor internal pasar tenaga kerja domestik.

4.3.4. *Routine-Biased Technological Change* (RBTC) dan Polarisasi Pekerjaan

Meskipun SBTC menjelaskan meningkatnya permintaan terhadap tenaga kerja berpendidikan tinggi, teori ini tidak mampu menjelaskan seluruh fenomena ketenagakerjaan, terutama setelah tahun 1990. Karena itu, *Routine-Biased Technological Change* (RBTC) dikembangkan oleh Autor et al. (2003).

RBTC menjelaskan bahwa teknologi termasuk AI, terutama dapat menggantikan pekerjaan yang bersifat rutin, yaitu tugas-tugas yang mudah diprogram dan diulang. Sebaliknya, pekerjaan yang menuntut kreativitas, interaksi sosial, atau keterampilan manual non-rutin relatif lebih sulit digantikan oleh mesin.

Hasil penelitian di berbagai negara (Autor & Dorn, 2013; Goos & Manning, 2007; Goos et al., 2014) menunjukkan terjadinya polarisasi pekerjaan, yaitu penurunan jumlah pekerjaan berupah menengah yang umumnya bersifat rutin, sementara pekerjaan berupah tinggi yang bersifat analitis dan kreatif serta pekerjaan berupah rendah di sektor layanan manual justru mengalami peningkatan.

Fenomena ini menunjukkan bahwa AI dan otomatisasi tidak hanya mengubah cara kerja manusia, tetapi juga memengaruhi struktur sosial ekonomi, memperlebar jarak antara pekerja dengan keterampilan tinggi dan rendah.

4.3.5. Studi Empiris Dampak AI Terhadap Pekerjaan

Integrasi AI dalam dunia kerja membawa dampak yang beragam bagi tenaga kerja. Di beberapa sektor seperti manufaktur dan ritel, penggunaan AI menyebabkan penyusutan kebutuhan tenaga kerja yang cukup tinggi bahkan masing-masing mencapai sekitar 45% dan 35%. Sebaliknya, sektor kesehatan dan pendidikan justru mengalami peningkatan kebutuhan tenaga kerja sekitar 50% dan 60% seiring dengan penggunaan teknologi AI (Maria et al., 2024). Namun, tantangan besar muncul dari kesenjangan keterampilan, di mana 84% responden dalam sebuah studi mengaku kesulitan beradaptasi karena kurangnya pelatihan terkait AI. Apabila kesenjangan ini tidak segera diatasi, risiko meningkatnya pengangguran di sektor-sektor yang tidak menyiapkan tenaga kerjanya secara memadai akan semakin besar.

Di sisi lain, sebuah studi di perusahaan teknologi Irak menunjukkan bahwa setelah penggunaan AI terdapat peningkatan produktivitas kerja pada karyawannya sebesar 80% bahkan 30% di antaranya mengalami lonjakan lebih dari 20% (Othman, 2025). Temuan lain menunjukkan bahwa AI tidak selalu mengurangi peran manusia. Dalam banyak kasus, AI justru melengkapi pekerjaan manusia, terutama di sektor yang berfokus pada pembangunan berkelanjutan (K.-H. Wang & Lu, 2025). Artinya, teknologi ini dapat membantu pekerja menyelesaikan tugas secara lebih cepat, akurat, dan efisien.

Dampak AI juga terlihat dalam struktur upah. Beberapa studi menemukan bahwa penggunaan AI memicu polarisasi upah: pekerjaan rutin berupah rendah semakin berkurang, sementara pekerjaan kreatif dan sosial berupah tinggi semakin tumbuh (Y. Wu et al., 2024). Namun,

studi terhadap perusahaan-perusahaan di Tiongkok menunjukkan dinamika berbeda. Adopsi AI justru meningkatkan porsi pendapatan pekerja, terutama di perusahaan non-BUMN, sehingga menciptakan peluang distribusi pendapatan yang lebih adil (C. Wang & Jiao, 2025).

Walaupun kekhawatiran terhadap berkurangnya jenis pekerjaan tertentu cukup besar, bukti empiris menunjukkan bahwa AI juga berperan dalam menciptakan pekerjaan baru. Dalam jangka panjang, AI tidak hanya menyusutkan beberapa jenis pekerjaan, tetapi juga menghadirkan peluang kerja baru seiring berkembangnya keterampilan tenaga kerja (Weiguo et al., 2020). Oleh sebab itu, investasi pada pelatihan dan *reskilling* menjadi sangat penting agar pekerja dapat beradaptasi dan berpindah ke peran-peran baru yang muncul (Kumar, 2025).

Pada tingkat kebijakan, pemerintah memegang peran penting dalam menjaga stabilitas pasar tenaga kerja di era AI. Berbagai studi menunjukkan bahwa kebijakan terkait AI dapat meningkatkan peluang kerja, khususnya di industri yang mengembangkan atau menggunakan AI, melalui dukungan terhadap inovasi dan peningkatan kemampuan tenaga kerja (Masoud, 2025; J. Wang & Hu, 2024).

Secara keseluruhan, AI memang menghadirkan tantangan seperti penyusutan peran kerja tertentu dan potensi ketimpangan upah. Namun di sisi lain, AI juga membuka peluang besar bagi peningkatan produktivitas dan penciptaan jenis pekerjaan baru. Masa depan pasar kerja sangat ditentukan oleh kesiapan tenaga kerja melalui *reskilling* serta kebijakan publik yang mendukung pertumbuhan yang inklusif. Dengan langkah yang tepat, AI dapat menjadi pendorong produktivitas sekaligus memperkuat ketahanan tenaga kerja di masa depan.

4.3.6. Implikasi Kebijakan Strategis

Perkembangan AI mengubah cara kita bekerja. Ada pekerjaan yang berubah, ada tugas yang digantikan, dan ada jenis pekerjaan baru yang

muncul. Karena itu, pemerintah perlu menyiapkan kebijakan yang mampu menjaga pekerja sekaligus memanfaatkan peluang baru dari teknologi ini.

a) Perlindungan pekerja
   Pemerintah perlu memastikan bahwa penggunaan AI di tempat kerja tidak merugikan pekerja, terutama yang keterampilannya masih rendah atau menengah. Ini bisa dilakukan dengan memetakan jenis pekerjaan yang paling berisiko terdampak dan menyiapkan perlindungan sosial agar pekerja tidak kehilangan penghasilan atau peluang kerja secara mendadak saat terjadi perubahan.

b) Pelatihan dan Peningkatan Keterampilan
   Supaya bisa tetap bersaing di era digital, pekerja perlu dibekali keterampilan baru yang relevan. Pemerintah dan perusahaan harus menyediakan pelatihan yang mudah untuk diikuti dan terus disesuaikan dengan perkembangan teknologi. Perusahaan yang mau melatih pekerjanya dalam penggunaan AI juga sebaiknya mendapat insentif sebagai bentuk dukungan.

c) Mendorong Penciptaan Pekerjaan Baru
   AI tidak hanya berpotensi menggantikan pekerjaan, tetapi juga membuka peluang baru, antara lain di bidang layanan digital, kesehatan berbasis teknologi, mobilitas cerdas, hingga ekonomi kreatif. Oleh karena itu, kebojakan publik harus mendorong pengembangan sektor-sektor tersebut, termasuk melallui dukungan terhadap *startup*, riset, dan inovasi agar tercipta lapangan kerja baru .

d) Mengantisipasi Ketimpangan Akibat Teknologi
   Jika tidak dikelola dengan baik, AI bisa memperlebar kesenjangan antara pekerja berkemampuan tinggi dan rendah. Karena itu, dibutuhkan kebijakan yang membantu pekerja di kelompok rendah

agar tidak tertinggal. Tata kelola AI yang adil, transparan, dan bertanggung jawab juga penting agar manfaat teknologi dirasakan oleh semua kelompok.

e) Menyusun Aturan AI yang Jelas dan Berkeadilan
Pemerintah perlu membuat aturan yang memastikan penggunaan AI di tempat kerja tetap etis. Misalnya, aturan tentang penilaian dampak AI, standar perlindungan data, dan mekanisme bagi pekerja untuk menyampaikan keberatan jika keputusan yang dibuat oleh AI dirasa tidak adil. Aturan ini harus terus diperbarui melalui kerja sama antara pemerintah, akademisi, dan industri.

Secara singkat, menghadapi dampak AI terhadap dunia kerja memerlukan kebijakan yang mampu melindungi pekerja, meningkatkan keterampilan, serta tetap membuka ruang bagi inovasi. Jika dikelola secara tepat, AI berpotensi menjadi pendorong pertumbuhan ekonomi yang lebih inklusif dan pasar tenaga kerja yang lebih tangguh di masa depan.

4.4. Profesi Baru dan Profesi yang Makin Diminati di Era AI

Perkembangan teknologi AI dalam satu dekade terakhir telah mendorong transformasi besar di berbagai sektor. Tidak hanya mengubah cara organisasi bekerja, AI juga meningkatkan permintaan profesi tertentu dan sekaligus melahirkan beragam profesi baru yang sebelumnya tidak pernah ada. Profesi-profesi ini menuntut kombinasi keterampilan teknis, analitis, dan etis yang semakin kompleks seiring meningkatnya penggunaan model generatif, pembelajaran mesin, serta otomatisasi cerdas di ruang publik maupun industri. Dengan kata lain, AI bukan hanya menciptakan efisiensi, tetapi juga ekosistem pekerjaan baru yang membutuhkan kompetensi yang spesifik.

Tabel 4.2. Profesi Baru dan Profesi yang Permintaannya Meningkat di Era AI

Profesi	Deskripsi	*Skill* Utama	Referensi
Prompt Engineer/ Prompt Designer	Merancang *prompt* efektif untuk model generatif agar menghasilkan keluaran yang tepat dan aman.	LLM, *prompt design*, analisis linguistik, evaluasi hasil, komunikasi.	Green (2024), Mckinsey (2024), World Economic Forum (2025b)
Data Analyst	Mengolah dan menganalisis data untuk menghasilkan *insight* bisnis. Berfokus pada eksplorasi, visualisasi, dan penyusunan laporan yang mendukung keputusan.	• SQL, Python (pandas, NumPy) • *Data visualization* (Power BI, Tableau) • Statistik & *exploratory data analysis* • *Business understanding*	Ajjam & Al-Raweshidy (2026)
Machine Learning data Scientist	Mendesain model pembelajaran mesin untuk prediksi, klasifikasi, dan optimisasi. Menggabungkan kemampuan data analysis, *software*, dan matematika.	• *Machine Learning & Deep Learning frameworks* • *Feature engineering & model evaluation* • Python, R, TensorFlow/PyTorch • MLOps & *cloud* (AWS/GCP/Azure)	Ajjam & Al-Raweshidy (2026), World Economic Forum (2025b)
Big Data Specialist	Mengumpulkan, mengelola, menganalisis, dan menginterpretasi data dalam skala besar yang dibutuhkan dalam pengembangan model *machine learning* dan *AI analytics*	• *Data mining, machine learning, natural language processing* (NLP), AI *model deployment*; • Hadoop, Spark, SQL, Python, R, TensorFlow, PyTorch, Table; • *Data warehousing, cloud computing* (AWS, GCP, Azure), ETL pipelines	World Economic Forum (2025b)
AI *Trainer / Data Labeler*	Menyiapkan dan memberi label pada *dataset* berkualitas	*Data annotation, quality control, bias*	Mckinsey (2024)

Profesi	Deskripsi	*Skill* Utama	Referensi
	untuk melatih model AI.	*handling, tool labeling* (Labelbox, Prodigy).	
MLOps *Engineer*	Membangun *pipeline* ML/AI dari pelatihan hingga *deployment* dan monitoring.	DevOps, Docker/Kubernetes, CI/CD, ML model management, *cloud infra*.	Mckinsey (2024), World Economic Forum (2025b)
AI *Product Manager*	Mengelola produk berbasis AI dan menjembatani antara tim teknis dan bisnis.	*Product management*, dasar ML, UX, metrik AI, regulasi dan etika.	Mckinsey (2024), World Economic Forum (2025b)
LLM *Fine-tuner / Model Validator*	Melakukan *fine-tuning* model besar dan validasi untuk domain tertentu.	*Transfer learning*, evaluasi performa model, *data curation, prompt-tuning*.	Green (2024), Mckinsey (2024)
AI *Ethicist / AI Governance Officer*	Menetapkan kebijakan dan audit etika dalam penerapan sistem AI.	AI *governance*, audit etika, regulasi, *fairness, transparency.*	OECD (2024), World Economic Forum (2025b)
Agent Architect / Autonomous Agent Operator	Merancang sistem *AI agent* untuk tugas multi-langkah otomatis.	*Prompt chaining, orchestration*, keamanan sistem, observability.	Mckinsey (2024)
AI *Auditor / Compliance Auditor*	Melakukan audit dan validasi kepatuhan sistem AI terhadap regulasi.	*Explainable* AI, *data forensics*, audit model, dokumentasi sistem.	Green (2024), World Economic Forum (2025b), Shannaq et al. (2025),
AI UX / *Conversational Designer*	Mendesain pengalaman pengguna untuk *chatbot* atau sistem percakapan AI.	UX, NLP, *conversation flow, prompt craft, user testing, Project Management*	Mckinsey (2024), World Economic Forum (2025b)
AI *Security / Adversarial Robustness Engineer*	Melindungi model dari serangan adversarial dan menjaga keamanan data.	*Adversarial* ML, *threat modeling*, keamanan *cloud*, *federated learning*.	Mckinsey (2024), Green (2024),

Profesi	Deskripsi	*Skill* Utama	Referensi
Network & Cyber Security Analyst	Melindungi sistem, jaringan, dan data organisasi dari ancaman siber. Menganalisis serangan, mengelola insiden keamanan, dan menerapkan kebijakan keamanan digital.	*Cyber security*; • Pengetahuan jaringan & sistem operasi • *Threat intelligence & incident response* • *Penetration testing,* SIEM *tools* (Splunk, Wireshark) • *Cyber risk management & compliance* (ISO 27001, NIST)	Shannaq et al. (2025), Mckinsey (2024), World Economic Forum (2025b)
AI *Researcher*	Mengembangkan algoritma, model, dan teori baru di bidang kecerdasan buatan (ML, NLP*, Computer Vision*, AGI). Biasanya bekerja di institusi riset atau laboratorium teknologi besar	• *Machine Learning & Deep Learning* (PyTorch, TensorFlow) • Statistik & Matematika Lanjut-Pemrograman (Python, C++) • *Paper reading /writing, riset eksperimental*	Shannaq et al. (2025),
Software & Application Developer	Mendesain, mengembangkan, menguji, dan memelihara perangkat lunak (aplikasi, sistem *backend/frontend*). Berfokus pada efisiensi, skalabilitas, dan kualitas kode.	UX/UI *Design*; • Algoritma & struktur data- Pemrograman (Java, Python, C++) • Sistem kontrol versi (Git) • *Problem solving & design pattern*	Shannaq et al. (2025), World Economic Forum (2025b), Ajjam & Al-Raweshidy (2026)
Full-stack Web Developer	Mengembangkan aplikasi web dari sisi *front-end* hingga *back-end*, termasuk integrasi API dan *deployment* ke server/*cloud*	• *Frontend*: HTML, CSS, JavaScript, React/Vue • *Backend*: Node.js, Django, Flask-Database: SQL/NoSQL • DevOps dasar (CI/CD, Docker)	Ajjam & Al-Raweshidy (2026)
Marketing Manager for Digital Campaigns	Mengelola strategi pemasaran digital: iklan media sosial, SEO, konten, dan	• *Digital marketing tools* (Google Ads, Meta Business) • SEO/SEM	Ajjam & Al-Raweshidy (2026)

Profesi	Deskripsi	*Skill* Utama	Referensi
	analitik kinerja kampanye. Memanfaatkan data untuk keputusan strategis.	• *Data analytics & conversion metrics* • Kreativitas & komunikasi	
Autonomous & electric vehicle specialists	Mengembangkan algoritma *computer vision*, *machine learning* untuk *decision-making*, serta sensor *fusion systems*	• *Machine learning, deep learning, computer vision, sensor data analysis*; • Python, C++, ROS (*Robot Operating System*), MATLAB/Simulink; • Sistem tenaga listrik, baterai EV, sistem kendali (*control systems*), *embedded systems*	World Economic Forum (2025b)
AI-*driven Energy Engineers*	*AI-driven Energy Engineers* yang menggunakan AI dan *data analytics* untuk meningkatkan efisiensi, prediksi output energi, dan pemeliharaan sistem energi cerdas (*smart grid systems*)	• *Predictive maintenance* dengan ML, optimasi beban energi dengan AI, *big data energy forecasting*. • MATLAB, Python (scikit-learn, TensorFlow), AutoCAD, PVsyst, Homer Energy • Desain sistem tenaga surya & angin, konversi energi, *grid integration*	World Economic Forum (2025b)

Tabel 4.2 merangkum beragam profesi baru dan profesi yang permintaannya meningkat sebagai respons terhadap kebutuhan industri di era AI. Setiap profesi disajikan dengan deskripsi peran, kemampuan utama yang diperlukan, serta referensi dari laporan dan penelitian kredibel yang menggambarkan perkembangan kebutuhan tenaga kerja digital secara global. Melalui pemetaan ini, kita dapat

memahami bagaimana pasar tenaga kerja berevolusi dan keterampilan apa saja yang menjadi fondasi penting untuk mempersiapkan talenta Indonesia agar mampu bersaing di tingkat internasional.

4.5. Aplikasi AI di Berbagai Sektor

Dalam beberapa tahun terakhir, adopsi AI di Indonesia berkembang pesat dan semakin memengaruhi berbagai aspek kehidupan masyarakat. Perubahan ini terlihat dari hadirnya layanan ekonomi digital yang semakin cerdas, inovasi di bidang kesehatan yang membantu tenaga medis bekerja lebih cepat dan akurat, serta pembelajaran berbasis teknologi yang mulai diterapkan di sekolah dan perguruan tinggi. Di sisi lain, pemanfaatan AI juga mulai diarahkan pada pemantauan lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam, termasuk upaya menjaga ketahanan pangan melalui sistem prediksi dan pengelolaan pertanian yang lebih adaptif. Perkembangan ini menunjukkan bagaimana AI tidak lagi hadir sebagai gagasan yang abstrak, tetapi telah menjadi bagian dari dinamika pembangunan nasional yang terus bergerak maju. Pada bagian ini akan dibahas bagaimana teknologi tersebut diterapkan secara konkret di lima sektor utama transformasi digital Indonesia.

4.5.1. Adopsi AI di Sektor Ekonomi Digital

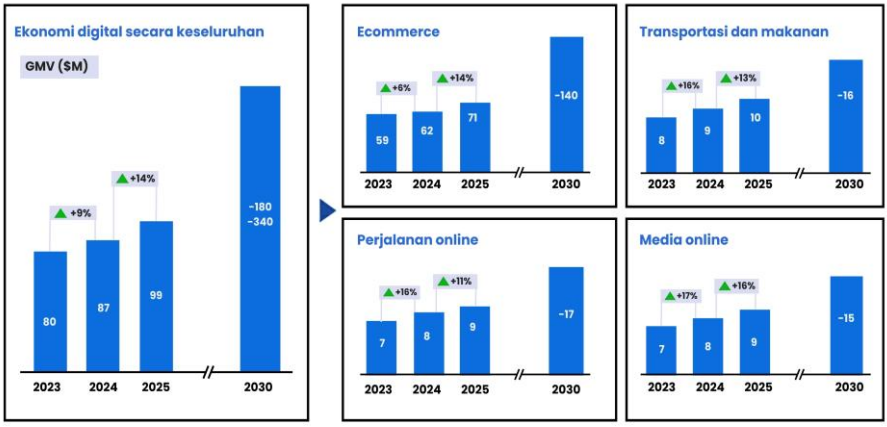
Adopsi AI dalam ekonomi digital Indonesia terus meningkat, khususnya di sektor fintech, perbankan, dan *e-commerce*. Laporan terbaru e-Conomy SEA 2025 menunjukkan bahwa ekonomi digital Indonesia akan mencapai US$100 miliar dalam *Gross Merchandise Value* (GMV) pada tahun 2025, dengan sektor *e-commerce* sebagai kontributor utama (Google, Temasek, Bain & Co., 2025). Bahkan menurut Annisa et al. (2025), nilai ini diperkirakan akan mencapai US$ 130 miliar pada akhir tahun 2025, dimana AI menjadi faktor pendorong untuk pertumbuhan yang inklusif dan berkelanjutan. Secara umum, lebih dari 80% perusahaan di Indonesia telah mengintegrasikan beberapa

bentuk AI ke dalam operasi mereka. Adopsi *Generative AI* (GenAI) sendiri telah mencapai 71% pada tahun 2023, menempatkan Indonesia di posisi ketiga pengguna GenAI secara global (fintechnews.id, 2025). Hal tersebut ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

Sektor keuangan menjadi salah satu sektor terdepan dalam adopsi AI di Indonesia. AI, bersama dengan *Internet of Things* (IoT) dan *Datafication*, diklasifikasikan sebagai teknologi yang diadopsi secara luas dalam industri keuangan Indonesia (Saputra et al., 2025). Dalam dimensi layanan pelanggan, teknologi AI diintegrasikan melalui penggunaan *chatbot* berbasis *Natural Language Processing* (NLP) yang mampu berinteraksi secara lebih natural dan responsif dengan pengguna (Annisa et al., 2025; Pratama et al., 2025). Sejumlah bank di Indonesia telah menerapkan layanan *chatbot* ini untuk memudahkan nasabah memperoleh informasi maupun melakukan transaksi dasar secara mandiri (cnbcindonesia.com, 2018).

Pada bidang penilaian kredit perbankan, AI difungsikan untuk membantu menghasilkan evaluasi yang lebih akurat, inklusif, dan adaptif terhadap dinamika perilaku keuangan. Inovasi ini berperan penting dalam memperluas akses kredit bagi sekitar 91 juta penduduk dewasa Indonesia yang masih tergolong *unbanked* atau *underbanked*, serta dalam mendorong pertumbuhan UMKM yang minim riwayat kredit formal (Adam et al., 2025).

Selain itu, penerapan AI juga berkembang dalam bidang investasi melalui robo-advisor, yakni platform digital yang memberikan rekomendasi dan otomatisasi keputusan keuangan berdasarkan algoritma matematis. Teknologi ini memungkinkan penyesuaian terhadap profil risiko dan tujuan keuangan individu, seperti tabungan pendidikan atau dana pensiun. Di Indonesia, adopsi robo-advisor terbukti dipengaruhi secara positif oleh kejelasan tujuan keuangan, persepsi kegunaan teknologi, serta biaya layanan yang kompetitif (Fahruri et al., 2025).



Gambar 4.3 Ekonomi Digital Indonesia

Sumber: (Google, Temasek, Bain & Co., 2025)

Sektor *e-commerce* menjadi tulang punggung ekonomi digital Indonesia dengan kontribusi besar terhadap *Gross Merchandise Value* (GMV) nasional. Teknologi AI kini menjadi kunci utama dalam mengoptimalkan efisiensi dan inovasi di sektor ini. Salah satu perannya terlihat pada peningkatan efisiensi dan penjualan melalui sistem rekomendasi produk yang dipersonalisasi, *chatbot* berbasis NLP, serta sistem harga dinamis. Sistem rekomendasi berbasis AI terbukti mampu meningkatkan penjualan hingga 35% (Annisa et al., 2025).

Selain itu, AI juga memperkuat dukungan bisnis dengan mempercepat analisis data melalui integrasi dengan *Business Intelligence* (BI), mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat, dan menurunkan biaya operasional melalui otomatisasi proses. Dalam konteks inklusi ekonomi, AI berperan penting dalam memperluas akses pasar bagi UMKM, membantu mereka menargetkan konsumen yang lebih spesifik, serta meningkatkan visibilitas produk di platform digital (Annisa et al., 2025). AI dan *Big Data* juga berkontribusi terhadap keberhasilan *e-commerce* dalam pengembangan kapasitas

UMKM, termasuk yang dikelola penyandang disabilitas di kota Serang, Semarang, dan Banjarmasin. Dengan dibantu teknologi AI, UMKM mampu melakukan analisis data yang lebih mendalam dan memberikan layanan yang lebih personal (Nuryanto et al., 2025).

Dalam ranah pembentukan citra bisnis dan usaha, AI turut mendorong inovasi strategi komunikasi dan personal branding di kalangan wirausahawan, terutama di komunitas *startup* hijabi Indonesia. Penggunaan AI dalam strategi branding terbukti dapat meningkatkan peluang pendanaan hingga 34% serta memperluas jangkauan pasar hingga 58% (Putri et al., 2025). Sementara itu, pada sektor perpajakan dan administrasi publik, adopsi AI masih dalam tahap pengembangan namun menunjukkan potensi besar. Implementasi AI diharapkan dapat menyederhanakan sistem administrasi perpajakan dan meningkatkan kepatuhan wajib pajak (Vivian et al., 2023). Teknologi ini juga membantu petugas pajak dalam audit serta pemantauan kepatuhan, sementara integrasi Nomor Induk Kependudukan (NIK) dengan Nomor Pokok Wajib Pajak (NPWP) membuka peluang penggunaan AI untuk pelacakan aset dan analisis data pajak.

4.5.2. Adopsi AI di Sektor Pendidikan

Indonesia merupakan rumah bagi sistem pendidikan terbesar keempat di dunia, dengan lebih dari 50 juta pelajar, 3,3 juta guru, dan 430 ribu sekolah. Dengan sumber daya yang besar tersebut, pemerintah melihat peluang yang signifikan untuk meningkatkan mutu pendidikan nasional melalui pemanfaatan AI. Selain itu, pemerintah berencana memperkenalkan mata pelajaran terkait AI dan pemrograman di ribuan sekolah di seluruh Indonesia. Abdul Mu'ti selaku Menteri Pendidikan Dasar dan Menengah, menjelaskan bahwa pengajaran mengenai pemrograman dan AI bertujuan menumbuhkan cara berpikir yang sistematis, komputasional, mandiri, dan bertanggung jawab (antaranews.com, 2025).

Secara umum, adopsi AI di sektor pendidikan di Indonesia terus meningkat seiring dengan kemajuan teknologi serta dorongan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di berbagai jenjang pendidikan. Dalam aspek peningkatan metode pengajaran, AI berpotensi untuk menggantikan atau melengkapi metode pengajaran tradisional dengan pendekatan yang lebih interaktif dan personal. Misalnya, penelitian Harintama & Muslimin (2024) menunjukkan bahwa penerapan AI dalam pengajaran Bahasa Inggris di Sekolah Menengah Atas Islam di Indonesia dapat meningkatkan kualitas pembelajaran. Studi ini menggarisbawahi pentingnya pelatihan dan dukungan bagi guru dalam pemanfaatan teknologi AI agar dapat diadopsi secara efektif dalam proses belajar mengajar (Indarti et al., 2024).

Selain itu, AI juga berfungsi untuk mengembangkan materi ajar yang adaptif. Penggunaan AI dalam pembelajaran Bahasa Indonesia menunjukkan adanya tantangan sekaligus potensi besar dalam mendukung siswa selama proses pembelajaran. Meskipun implementasinya masih menghadapi tantangan seperti adanya kesenjangan digital dan keterbatasan infrastruktur, kondisi ini menegaskan pentingnya desain pedagogis yang cermat serta pengembangan profesional yang berkelanjutan bagi para pengajar (Latifah, 2025; Sukini et al., 2025). AI juga memungkinkan penyediaan materi yang disesuaikan berdasarkan kebutuhan individu siswa, meningkatkan efektivitas pengajaran dan pembelajaran secara keseluruhan (Rahula Hananuraga et al., 2025).

Penggunaan AI-Generatif juga marak di kalangan akademisi dan perguruan tinggi untuk meningkatkan efisiensi penyusunan materi dan personalisasi pembelajaran, mendukung kegiatan riset melalui analisis data dan peninjauan literatur yang cepat, serta mendorong kreativitas mahasiswa. Namun hal ini menimbulkan isu etika akademis, seperti kejujuran dan integritas. Kementerian riset dan pendidikan tinggi menyikapi fenomena ini dengan menerbitkan Panduan Penggunaan *Generative Artificial Intelligence* pada proses pembelajaran di

Perguruan Tinggi agar sivitas akademika dapat memperoleh nilai positif serta menghindari dampak negatif dari teknologi AI itu sendiri (Kemenbudristek, 2024).

4.5.3. Adopsi AI di Sektor Kesehatan

Sektor kesehatan di Indonesia memegang peran strategis dalam mendorong transformasi pembangunan nasional. Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2024 yang dirilis oleh Kementerian Kesehatan menyebutkan bahwa berbagai upaya kesehatan yang berhasil, seperti pencegahan penyakit menular dan penurunan stunting, secara langsung meningkatkan kualitas hidup, daya saing, dan produktivitas masyarakat. Kesehatan yang baik merupakan prasyarat utama dalam membentuk sumber daya manusia (SDM) yang unggul guna mendukung ketenagakerjaan dan pertumbuhan ekonomi.

Infrastruktur kesehatan di Indonesia terus berkembang dalam beberapa tahun terakhir. Pada tahun 2024, Indonesia memiliki total 3.228 rumah sakit, meningkat sebesar 8,2% dibandingkan tahun 2020. Selain itu, terdapat 10.268 puskesmas yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia, dengan rasio 1,41 puskesmas per kecamatan. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketersediaan minimal satu puskesmas per kecamatan telah tercapai secara nasional. Meskipun demikian, ketimpangan distribusi tenaga medis masih menjadi tantangan, di mana 60,67% dari total tenaga medis terkonsentrasi di wilayah Jawa-Bali. Selain itu, masih terdapat sekitar 3,94% puskesmas yang belum memiliki dokter, terutama di provinsi-provinsi di Pulau Papua (Kemenkes RI, 2024).

Dalam mendorong pemerataan sektor kesehatan, pemerintah terus berupaya memperluas akses layanan melalui transformasi teknologi sebagai pilar penting, dengan fokus utama pada digitalisasi data dasar. Kemenkes telah meluncurkan “Cetak Biru Strategi Transformasi Digital Kesehatan 2024” dan membentuk kantor Digital Transformation Office

(DTO). Strategi ini tidak hanya fokus pada pembuatan aplikasi baru, melainkan pada integrasi data kesehatan fundamental. Beberapa inisiatif di antaranya adalah penerapan Rekam Medis Elektronik (RME) Rumah Sakit, penggunaan sejumlah sistem informasi yang terintegrasi seperti Sistem Kewaspadaan Dini dan Respons, Aplikasi Sehat Indonesia-Ku, dan Sistem Informasi Penyakit Tidak Menular (SIPTM). Selain itu terdapat pula Sistem Informasi Kesehatan (SIK) yang berfungsi untuk mengintegrasikan data-data kesehatan yang sangat strategis untuk menjadi sumber data utama bagi aplikasi AI (Kemenkes RI, 2024).

Adopsi AI di sektor kesehatan Indonesia terus berkembang. AI kini mulai diterapkan dalam berbagai bentuk layanan, seperti diagnosis penyakit, manajemen pasien, dan administrasi (Hidayatullah et al., 2024). Teknologi AI juga digunakan untuk berbagai kebutuhan spesifik. Model AI seperti Random Forest dan Ada Boost telah dimanfaatkan untuk mendeteksi stunting pada anak, yang menjadi salah satu masalah kesehatan masyarakat terbesar di Indonesia (Azriani et al., 2025). Selain itu, AI juga digunakan untuk meningkatkan layanan kesehatan ibu, meskipun penyebarannya masih belum merata karena isu keamanan data dan literasi digital (Adithya et al., 2025). Dalam bidang kesehatan gigi, algoritma *deep learning* digunakan untuk membantu deteksi dan diagnosis dini melalui analisis citra intraoral (Adithya et al., 2025).

Selain itu AI juga dimanfaatkan untuk mewujudkan layanan telemedicine yang memungkinkan akses layanan kesehatan, terutama di daerah terpencil (Bachnas et al., 2025; Khan et al., 2025). Teknologi ini tidak hanya memperluas jangkauan pelayanan, tetapi juga mengurangi hambatan geografis yang selama ini menjadi kendala utama pemerataan layanan kesehatan. *Telemedicine* berbasis AI memungkinkan konsultasi jarak jauh antara praktisi di daerah pedesaan dengan spesialis di pusat kota, sehingga meningkatkan

akurasi diagnosis dan perawatan melalui dukungan analitik yang lebih cermat

4.5.4. Adopsi AI di Sektor Ekologi dan Lingkungan

Penerapan AI di sektor lingkungan Indonesia, khususnya dalam pengelolaan sampah, memiliki peluang yang cukup besar. Integrasi teknologi AI melalui aplikasi mobile untuk pemilahan dan pengelolaan sampah terbukti mampu meningkatkan efisiensi operasional. Contohnya, aplikasi yang dikembangkan untuk inisiatif Bank Sampah Hejo Salamina di Bandung menggunakan AI untuk memilah sampah secara akurat dan memberi insentif kepada masyarakat melalui layanan pembayaran digital, sehingga meningkatkan praktik pengelolaan sampah secara signifikan (Fahriza, & Yuliana, 2024).

Selain itu, sistem mekatronika berbasis AI telah dikembangkan untuk menciptakan robot pemilah sampah yang mampu mengklasifikasikan sampah menjadi beberapa kategori, seperti kardus, kertas, logam, plastik, medis, dan organik, dengan tingkat akurasi yang tinggi (Fathurrahman et al., 2023). Di Ibu Kota Nusantara (IKN), direncanakan sistem pengelolaan sampah padat berbasis sirkular yang didukung AI, mencakup penggunaan tempat sampah pintar, pemrosesan citra, serta pembangkit listrik tenaga sampah untuk mengurangi emisi CO_2 dan memperkuat upaya daur ulang (Latiffianti et al., 2024).

Dalam bidang pemantauan lingkungan, AI juga digunakan untuk pemetaan ekosistem mangrove. Jhonnerie et al. (2024) dalam studinya yang memanfaatkan teknologi AI generatif seperti Microsoft Copilot dan terintegrasi dengan Google Earth Engine (GEE) terbukti mampu meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam klasifikasi tutupan lahan, yang sangat penting bagi konservasi mangrove di Indonesia.

4.5.5. AI di Sektor Ketahanan Pangan

Ketahanan pangan merupakan isu strategis di Indonesia karena berkaitan langsung dengan kedaulatan nasional, stabilitas ekonomi, dan kesejahteraan masyarakat. Ketahanan pangan juga menjadi fondasi bagi keamanan serta stabilitas sosial, ekonomi, dan politik, sekaligus memengaruhi kemampuan masyarakat dalam memenuhi kebutuhan dasar secara berkelanjutan. Di tengah tantangan global yang semakin kompleks, swasembada pangan menjadi langkah utama, di mana Indonesia dituntut mampu memproduksi dan memenuhi kebutuhan pangan secara mandiri. Dalam konteks ini, penerapan teknologi AI menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi di sektor pertanian dan peternakan. AI dimanfaatkan dalam berbagai aspek, mulai dari pengelolaan pertanian, analisis data cuaca, hingga peningkatan kesehatan tanaman dan hewan.

Melalui pemanfaatan AI, sektor peternakan dapat mencapai tingkat efisiensi yang lebih tinggi, yang tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga mendukung pemenuhan kebutuhan gizi masyarakat, termasuk protein hewani (Aini & Septaningsih, 2025). Salah satu contoh penerapan spesifik AI dalam peternakan adalah peningkatan produktivitas ternak. Aini dan Septaningsih menjelaskan bahwa teknologi AI dapat membantu peternak dalam memantau kesehatan ternak serta meningkatkan efisiensi pemberian pakan, yang secara keseluruhan berkontribusi terhadap keberlanjutan industri peternakan di Indonesia (Aini & Septaningsih, 2025). Selain itu, melalui analisis data yang lebih akurat, AI mampu memberikan rekomendasi praktik manajemen yang lebih efektif, yang pada akhirnya mendukung peningkatan ketahanan pangan (Megavitry et al., 2024).

Di sektor pertanian, AI juga berperan dalam prediksi hasil panen yang penting bagi perencanaan dan pengelolaan pasokan pangan. Penelitian yang dilakukan oleh (Wanto, 2019) dengan menerapkan

jaringan saraf tiruan mampu memprediksi produktivitas jagung di Indonesia serta membantu mengantisipasi kebutuhan impor pangan melalui analisis yang lebih akurat. Selain implementasi AI di lapangan, teknologi ini juga berperan dalam penguatan sistem informasi terkait keterjangkauan pangan. Sistem informasi yang efektif mampu menyajikan data yang diperlukan untuk analisis kebijakan pangan yang lebih baik, seiring dengan kompleksitas pasokan pangan yang berkaitan dengan harga dan ketersediaan produk pangan sehat di seluruh Indonesia (Megavitry et al., 2024).

4.6. Implikasi AI di Bidang Sosial dan Pendidikan

Perkembangan AI menghadirkan berbagai peluang dan tantangan yang berdampak langsung pada dinamika sosial dan pendidikan. Untuk memahami implikasi tersebut secara komprehensif, diperlukan penelaahan yang lebih mendalam terhadap sejumlah isu kunci, mulai dari risiko ketimpangan digital, peran pendidikan tinggi dan lembaga pelatihan dalam menyiapkan talenta baru, urgensi kebijakan *upskilling* dan *reskilling*, hingga potensi AI dalam menciptakan lapangan kerja serta nilai ekonomi baru. Oleh karena itu, bagian berikut menguraikan keempat aspek tersebut secara terstruktur.

4.6.1. Risiko Ketimpangan Digital dan Eksklusi Tenaga Kerja

Ketimpangan digital mencakup tiga dimensi indikator utama. Dimensi pertama adalah akses (*access*), yang merujuk terhadap ketersediaan infrastruktur dan perangkat. Dimensi kedua adalah penggunaan (*usage*), yang mencangkup intensitas penggunaan maupun variasi jenis dan ragam teknologi digital yang digunakan. Sedangkan dimensi terakhir adalah kapabilitas (*skill*), yaitu kemampuan untuk menggunakan dan memanfaatkan teknologi tertentu demi tujuan yang lebih produktif, efektif dan efisien. Ketiga dimensi tersebut saling berkaitan dalam menentukan perbedaan peluang adopsi teknologi serta tingkat kualitas pekerjaan yang dilakukan, khususnya dalam

memanfaatkan bantuan sumber daya teknologi untuk mendukung capaian target aktivitas bekerja maupun aktivitas masyarakat secara luas.

Ketersediaan infrastruktur digital sebagai sarana akses merupakan prasyarat mendasar dalam mengurangi ketimpangan digital. Akses secara langsung terhadap infrastruktur dan perangkat digital dikenal secara umum di dunia internasional sebagai konsep *first-level digital divide*, di mana akses fisik merupakan prasyarat utama pemanfaatan teknologi. Selain itu, akses koneksi jaringan yang lambat atau tidak stabil dapat menghambat pengguna teknologi untuk meningkatkan keterampilan digital secara lebih lanjut. (van Dijk; Warschauer).

Kapabilitas (*skill*) penggunaan teknologi, yang secara umum dikenal sebagai konsep *second-level digital divide*, berkaitan erat dengan tingkat keterampilan digital yang menentukan apakah pengguna melakukan aktivitas yang meningkatkan produktivitas misalnya pendidikan, pelatihan daring, pekerjaan berbasis *online*, pembuatan konten digital atau sekadar mengonsumsi konten hiburan. Penelitian yang dilakukan tahun 2015 di Amerika Serikat dan Eropa, menunjukkan bahwa perbedaan keterampilan (*second-level digital divide*) memengaruhi kualitas hasil dari penggunaan teknologi digital (Hargittai & Van Deursen, 2015).

Secara umum, kehadiran teknologi baru memberikan dampak negatif terhadap jumlah lapangan kerja, sebuah fenomena yang dikenal sebagai mekanisme eksklusi tenaga kerja. Dalam konteks ini, kemajuan teknologi secara fungsional dapat menggantikan tugas-tugas yang bersifat rutin dan manual yang dilakukan oleh tenaga kerja manusia menjadi aktivitas yang dapat diprogram secara berulang. Hal ini merujuk pada pernyataan D. H., Levy, F., & Murnane, R. J. (2003), yang menunjukkan beberapa mekanisme yang berkaitan dengan pengaruh teknologi. Mekanisme tersebut meliputi: (a) Efek substitusi terhadap tugas-tugas rutin yang menurunkan permintaan tenaga kerja berketerampilan rendah; (b) Efek *reinstatement*, yaitu penciptaan tugas atau fungsi baru yang memerlukan keterampilan atau kemampuan

tinggi; (c) Proses perekrutan digital dan bias *platform* yang menguntungkan pencari kerja yang secara algoritma dibuat lebih 'terlihat'; (d) Disparitas regional yang memengaruhi akses ke pekerjaan *remote* dan pelatihan yang dikendalikan oleh algoritma digital.

Ekonomi digital, dalam kaitannya dengan tenaga kerja modern, memiliki kriteria bahwa adopsi teknologi, termasuk AI, cenderung bersifat bias keterampilan (*skill-biased*). Pola ini mendorong permintaan untuk pekerjaan non-rutin dan mensyaratkan kemampuan digital bagi talenta tenaga kerja yang diperlukan. Studi NBER dan kajian Acemoglu & Autor (2011, 2020) memberikan kerangka teoritis dan bukti empiris terkait mekanisme tersebut.

Ketimpangan dan eksklusi tenaga kerja akibat perkembangan teknologi, dapat digambarkan melalui studi lintas-wilayah di Tiongkok (Chen & Xu, 2024). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pembangunan infrastruktur digital meningkatkan mobilitas tenaga kerja di Tiongkok, namun dampak tersebut dibatasi oleh kesenjangan dalam penggunaan serta keterampilan digital. Temuan ini menegaskan bahwa akses terhadap teknologi saja tidak cukup untuk memperoleh manfaat secara optimal dari kehadiran teknologi tersebut. Studi kualitatif lain terhadap pencari kerja di Eropa/Spanyol, menyoroti fenomena *online job search discouragement,* di mana algoritma pada platform digital justru menurunkan peluang pencari kerja berkualifikasi rendah untuk memperoleh pesanan (*order)* dari konsumen (Dumont et al., 2024).

4.6.2. Peran Pendidikan Tinggi dan Lembaga Pelatihan dalam Memperkuat *Reinstatement Effect*

Konsep *Reinstatement Effect* yang dikenalkan oleh ilmuwan MIT Daron Acemoglu & Pascual Restrepo sejak tahun 2018, merujuk pada penciptaan peran atau tugas-tugas baru (*job-role*) oleh teknologi yang menjadi bidang kerja bagi manusia. Sebagai contoh, dalam perkembangan teknologi AI, muncul peran seperti pengembangan

dataset, tugas interpretasi model, pengembangan model, tata kelola AI serta integrasi teknologi tertentu ke dalam AI.

Institusi pendidikan memiliki peran utama sebagai produsen suplai tenaga kerja yang mampu mengisi tugas-tugas baru sebagaimana ditekankan dalam konsep *Reinstatement* tersebut. Hal ini sejalan dengan perguruan tinggi yang secara umum dirumuskan dalam Tridarma Perguruan Tinggi. Peran tersebut meliputi pendidikan atau pengajaran yang menghasilkan lulusan dengan kompetensi teknis tertentu (seperti *data science atau machine learning engineering*) dan menanamkan keterampilan teknologi tertentu ke dalam domain atau bidang sektor yang spesifik, misalnya aplikasi teknologi AI pada bidang kesehatan, pertanian, atau pendidikan. Selain itu, perguruan tinggi juga memiliki peran penting dalam memfasilitasi riset serta inkubasi program rintisan usaha, sehingga diperlukan dukungan institusional dalam penyediaan layanan inkubasi bagi perusahaan rintisan berbasis AI. Berdasarkan data dari OECD dan UNESCO (2021) dalam dokumen berjudul AI *and the Future of Skills*, (*Volume* 1: *Capabilities and Assessment*s), ditekankan perlunya pembaharuan kurikulum untuk memasukkan literasi AI, etika, dan keterampilan adaptif ke dalam materi yang diberikan kepada peserta didik di berbagai tingkatan pendidikan.

Sementara itu, lembaga pelatihan yang bergerak dalam pendidikan non-formal (*bootcamp*, akademi vokasi, dan program sertifikasi), relatif efektif dalam menyediakan jalur cepat untuk peningkatan kompetensi dan keterampilan praktis, terutama pada bidang-bidang yang tidak mensyaratkan gelar formal khusus. *Digital Talent Scholarship* yang diselenggarakan oleh Kementerian Komdigi adalah salah satu contoh inisiatif di Indonesia yang bertujuan memperbesar suplai talenta digital, dimana efektivitas program tersebut sangat bergantung pada keterkaitannya dengan kebutuhan industri serta mekanisme penempatan kerja.

Efektivitas program pelatihan, berdasarkan studi empiris yang dilakukan oleh kajian dampak program *Digital Talent Scholarship* Komdigi tahun 2024, menunjukkan bahwa program pelatihan yang disertai sertifikasi atau magang/penempatan industri mampu meningkatkan probabilitas penyerapan kerja. Oleh karena itu, OECD menekankan perlunya kolaborasi erat antara institusi pendidikan dan industri, untuk memastikan relevansi kompetensi keterampilan AI yang diperlukan dengan yang diajarkan, baik melalui lembaga pendidikan formal di perguruan tinggi maupun melalui lembaga pelatihan.

4.6.3. Pentingnya Kebijakan *Upskilling* dan *Reskilling* Tenaga Kerja

Kehadiran teknologi AI mengubah spesifikasi kompetensi pekerja dari sisi permintaan (*demand-side*), sehingga diperlukan penyesuaian pada sisi penawaran (*supply-side*) tenaga kerja, yaitu lembaga pendidikan dan pelatihan. Kebijakan peningkatan kompetensi menuju level yang lebih tinggi (*upskilling*) diperlukan akibat adanya *reinstatement effect* dari kehadiran teknologi baru yang menuntut kompetensi tenaga kerja yang lebih tinggi dari sebelumnya. Sementara itu, kebijakan penyesuaian alih kompetensi dari satu bidang ke bidang lainnya (*reskilling*), diperlukan untuk meminimalkan *displacement effect*, sekaligus menangkap dan memaksimalkan peluang *reinstatement effect* yang muncul.

Kebijakan *upskilling* dan *reskilling* ini perlu didukung secara simultan oleh data mengenai dinamika perubahan suplai dan permintaan pada berbagai bidang pekerjaan atau peran kerja tertentu. Data tersebut dapat dipetakan melalui pengelompokan menjadi jenis-jenis pekerjaan (*job occupation*) yang terpengaruh oleh kehadiran teknologi baru yang selanjutnya dapat dituangkan dalam Peta Okupasi Nasional yang disusun oleh masing-masing Kementerian dengan koordinasi Kementerian Ketenagakerjaan. Jenis pekerjaan yang mengalami dampak signifikan akibat *reinstatement effect* dan *displacement effect*

perlu diprioritaskan dalam perumusan kebijakan serta pelaksanaan program *upskilling* dan *reskilling*.

Analisis terhadap perubahan kompetensi dalam rangka menyikapi agenda *upskilling* dan *reskilling* pekerjaan tertentu, dapat dilakukan dengan membandingkan kesenjangan keterampilan atau kompetensi pada tugas utama setiap jenis pekerjaan yang terpengaruh. Daftar unit kompetensi atau daftar tugas utama setiap okupasi yang berhasil dihimpun dari pekerjaan-pekerjaan yang terdampak, dikemas ke dalam dokumen Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) yang relevan untuk menentukan standarisasi kompetensi yang sesuai dengan kebutuhan di lapangan kerja.

SKKNI bidang AI di Indonesia, hingga saat ini terakomodasi melalui dua dokumen SKKNI yang sudah ditetapkan, yaitu SKKNI No. 299 Tahun 2020 tentang AI sub bidang *Data Science* dan SKKNI No. 123 Tahun 2021 tentang AI sub bidang *Knowledge Based System*. Dua dokumen SKKNI tersebut menjadi acuan kompetensi standar bagi dunia pendidikan dan industri dalam rangka menghasilkan SDM yang beririsan dengan AI. Implementasi kebijakan SKKNI dan Okupasi di bidang AI memerlukan dukungan kebijakan yang memetakan peran-peran pekerjaan baru (misalnya *ML Engineer*, *Data Steward*, *AI Auditor*, *Prompt Engineer)* dan menghubungkan dengan dokumen SKKNI serta dokumen Okupasi Nasional Indonesia. Pengembangan SKKNI untuk AI memerlukan koordinasi lintas Kementerian, antara lain Kemnaker, Kemdikbudristek/BRIN, dan Kemkomdigi *sendiri untuk menghasilkan dokumen standar yang responsif dan menjawab kebutuhan pasar.*

Upskilling dan *Reskilling* memerlukan beberapa mekanisme intervensi kebijakan pemerintah agar dapat memberikan dampak sosial secara signifikan atas hadirnya perubahan teknologi AI, antara lain dalam bentuk subsidi biaya pelatihan-pelatihan tertentu (seperti pelatihan dengan penyerapan kerja langsung), pemberian insentif pajak bagi

pelaku usaha atau perusahaan yang merekrut calon tenaga kerja hasil *reskilling*, pemberian voucher pelatihan peningkatan kompetensi (*upskilling*) atau alih kompetensi (*reskilling*) bagi pekerja yang memiliki resiko tinggi *displacement*, serta pemberian dukungan pembiayaan untuk aktivitas riset dan pengembangan (R&D) kolaboratif antara perguruan tinggi dan industri.

Mengacu pada data laporan berbagai negara yang tergabung dalam Organisasi Buruh Internasional (ILO), program peningkatan kompetensi (*upskilling*) secara umum bersifat modular atau bersifat paket-paket kecil yang dapat diambil secara mandiri namun dapat digabungkan menjadi satuan kompetensi yang luas dan kompleks. *Upskilling* juga diukur atau divalidasi melalui mekanisme sertifikasi berbasis mikro dan pengakuan atau akreditasi industri yang terkait, sehingga dapat meningkatkan penyerapan kerja yang lebih baik. Oleh karena itu, adopsi dan adaptasi baik dari sisi model dan substansi konten diperlukan untuk menyesuaikan program prioritas yang ditetapkan secara nasional oleh pemerintah Indonesia, seperti prioritas di bidang pertanian, pangan, manufaktur, kesehatan dan pendidikan, sesuai dengan kondisi demografis Indonesia.

4.6.4. Sebagai Peluang Menciptakan Pekerjaan dan Nilai Ekonomi Baru

Kehadiran teknologi AI mendorong terciptanya nilai tambah dan jenis-jenis pekerjaan baru, AI berpotensi memberikan nilai tambah ekonomi berupa: (a) peningkatan produktivitas yang dibantu oleh otomatisasi teknologi AI (konsep *augmentation*); (b) melahirkan produk barang atau jasa baru (konsep *innovative value*); dan (c) penciptaan aktivitas tugas baru yang berkaitan dengan penyerapan tenaga kerja dengan kemampuan baru (konsep *reinstatement*). Perubahan kebutuhan tenaga kerja baru ini mengarah pada penekanan pergeseran kompetensi pekerja menuju pekerja berketerampilan tinggi dan/atau

pengembangan inovasi bisnis baru, seperti layanan-layanan baru berbasis AI, penerapan AI untuk aplikasi pada sektor yang spesifik, seperti pertanian, kesehatan, dan pendidikan.

Studi empiris tentang penyerapan tenaga kerja dibidang AI dari negara-negara yang tergabung dalam OECD, yang diterbitkan dalam dokumen *OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 265* (2021), menunjukkan hasil yang bervariasi (*heterogeny*). Beberapa sektor bidang yang erat kaitanya dengan kapabilitas AI (*AI-specialist roles*) mengalami peningkatan jumlah lowongan dengan imbalan gaji yang cukup tinggi, sementara tenaga kerja teknologi non-AI, cenderung stagnan atau bahkan bergeser ke jenis pekerjaan *gig* (pekerja kontrak singkat di *platform* digital). Kajian NBER dan OECD menegaskan bahwa efek penyerapan ketenagakerjaan (*net employment effect*) di bidang AI sangat bergantung pada kapabilitas ekonomi suatu wilayah untuk beradaptasi dan bertransformasi atas perubahan teknologi baru AI. Diperlukan strategi untuk menangkap peluang ekonomi dalam rangka menghadapi kehadiran teknologi baru. Suatu negara dapat mengejar peluang ekonomi baru AI, dengan memberikan perhatian dan prioritas terhadap beberapa hal, antara lain dengan: (a) memberikan dukungan pengembangan ekosistem untuk berdirinya *startup* di bidang AI, (b) memberikan insentif riset (R&D) terkait AI di sektor prioritas (seperti pertanian/pangan, kesehatan publik, dan pendidikan); (c) memberikan akses dukungan modal bagi UMKM digital untuk meningkatkan kapabilitasnya dalam pengembangan usaha di bidang digital, terutama yang mengarah ke bidang AI, serta (d) membuat program yang mendukung kolaborasi dan komersialisasi hasil riset dari perguruan tinggi dengan industri.

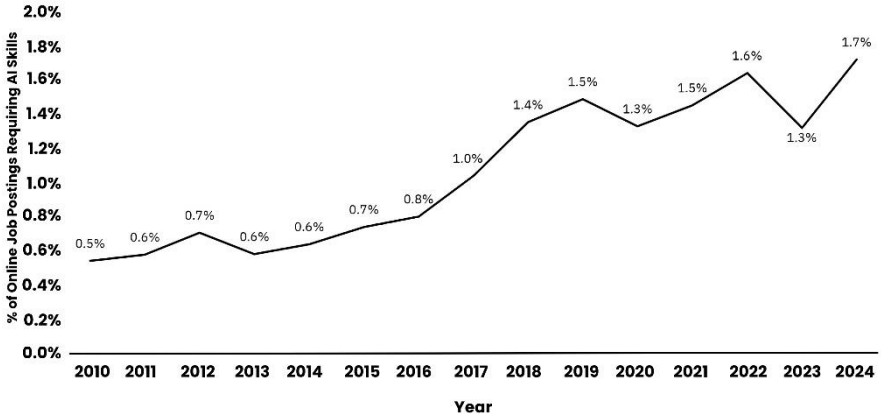
BAB 5
DINAMIKA TALENTA AI : *SUPPLY, DEMAND,* DAN JENJANG KOMPETENSI

BAB V
DINAMIKA TALENTA AI: *SUPPLY*, *DEMAND*, DAN JENJANG KOMPETENSI

Pesatnya perkembangan AI secara global telah mendorong lonjakan kebutuhan talenta AI yang jauh melampaui kapasitas suplai yang tersedia. Di Indonesia, kesenjangan ini terlihat dari masih terbatasnya jumlah program pendidikan tinggi yang secara khusus berfokus pada AI serta belum meratanya kualitas kurikulum terkait *data science, machine learning*, dan komputasi cerdas. Upaya penguatan suplai mulai dilakukan melalui berbagai inisiatif pelatihan—baik oleh Komdigi maupun oleh industri, universitas, dan komunitas teknologi—namun skala dan kedalamannya perlu terus ditingkatkan. Di tengah dinamika ini, pembelajaran dari praktik negara lain serta pemahaman atas jenjang kompetensi talenta AI menjadi dasar penting untuk merancang strategi pengembangan talenta nasional yang lebih terarah dan berkelanjutan.

5.1. Permintaan Talenta AI

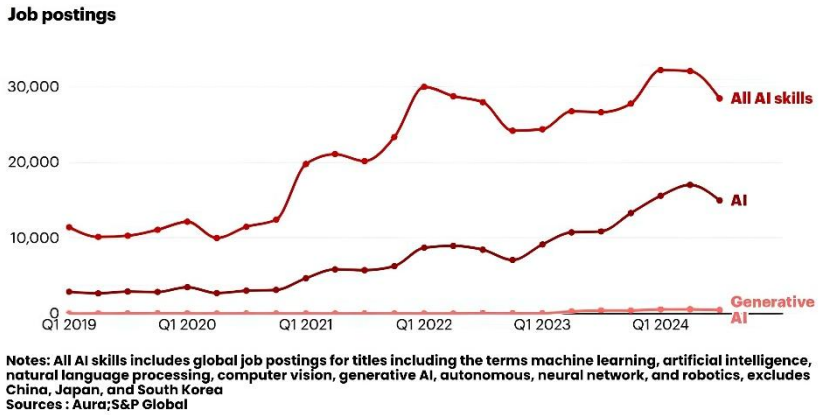
Pesatnya perkembangan AI telah mengubah lanskap ketenagakerjaan global secara signifikan, menciptakan permintaan mendesak akan jenis keterampilan dan kompetensi baru. Di berbagai sektor, organisasi kini membutuhkan sumber daya manusia yang tidak hanya memahami dan menggunakan perangkat berbasis AI, tetapi juga memiliki kapasitas untuk mengembangkan, mengintegrasikan, dan berinovasi dalam solusi AI untuk memenuhi kebutuhan organisasi. Hal ini Menuntut penyesuaian cepat dalam pengembangan kompetensi tenaga kerja.



Gambar 5.1. Persentase Lowongan Kerja Daring yang Membutuhkan Keterampilan AI
Sumber: Galeano et al (2025)

Menurut data dari Lightcast, sebuah perusahaan yang mengumpulkan iklan lowongan pekerjaan daring dari hampir seluruh dunia, yang diolah oleh Bank Sentral Federal Atlanta menunjukkan bahwa persentase lowongan kerja yang membutuhkan keterampilan terkait AI meningkat dari tahun ke tahun, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.1 yang memperlihatkan perkembangan proporsi lowongan kerja daring yang mensyaratkan setidaknya satu keterampilan di bidang AI. Pada 2010, hanya sekitar 0,5 persen dari total lowongan kerja daring yang memuat persyaratan tersebut. Seiring waktu, angka ini terus meningkat meskipun sempat terjatuh ke titik 1.3% pada tahun 2020 dan 2023. Namun demikian, antara tahun 2023 dan 2024, terjadi lonjakan yang cukup signifikan sebesar 0,4 poin persentase (setara dengan kenaikan 31 persen).

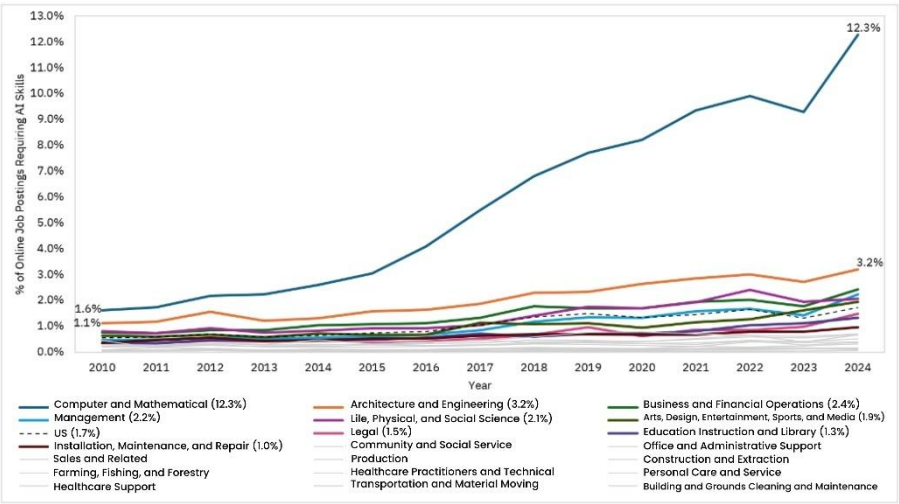
Gambar 5.2 terlihat pada tahun 2024, permintaan keterampilan AI mencapai 1,7% dari total lowongan kerja daring, meningkat 240% sejak 2010 (Galeano et al., 2025), dengan lowongan AI tumbuh 21% per tahun sejak 2019 (bain.com). Namun, peningkatan ini diiringi talent gap akibat terbatasnya tenaga kerja ahli.



Gambar 5.2. Tren permintaan talenta AI berdasarkan lowongan kerja
Sumber: bain.com (2025)

Dilihat dari bidang pekerjaannya, Galeano et al (2025) menemukan adanya variasi yang cukup besar dalam adopsi keterampilan AI antar sektor. Gambar 5.3 menampilkan proporsi lowongan kerja daring yang mencantumkan keterampilan AI berdasarkan kelompok pekerjaan utama dalam *Standard Occupational Classification* (SOC). Berdasarkan data tersebut, permintaan tertinggi secara konsisten tercatat pada sektor Komputer dan Matematika, yang mengalami lonjakan sangat signifikan dari hanya 1,6 persen pada tahun 2010 menjadi 12,3 persen pada tahun 2024. Dominasi sektor ini menunjukkan bahwa inti dari pengembangan teknologi AI masih sangat berpusat pada pengolahan data, algoritma, dan infrastruktur komputasi.

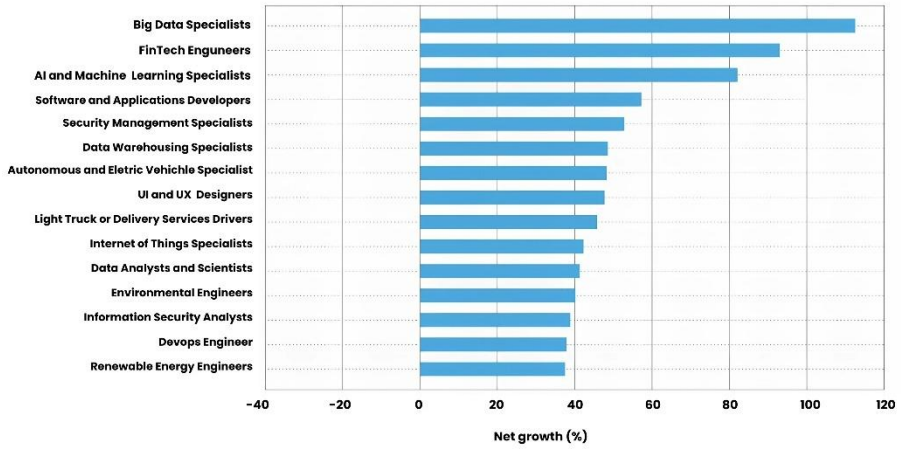
Sementara itu, kelompok pekerjaan lain mencatatkan pangsa permintaan AI di bawah 3,2% pada 2024. Selain bidang komputasi, hanya empat sektor yang melampaui angka 2,0%, yakni Arsitektur dan Teknik (3,2%), Operasi Bisnis dan Keuangan (2,4%), Manajemen (2,2%), serta Ilmu Hayati (2,1%). Kesenjangan ini menunjukkan bahwa meski mulai merambah ke fungsi manajemen, integrasi AI di luar sektor teknologi inti masih berada pada tahap awal.



Gambar 5.3. Persentase lowongan kerja daring yang membutuhkan keterampilan AI berdasarkan bidang pekerjaan.
Sumber: Galeano et al (2025)

Demikian pula Laporan *Future Jobs Report* 2025 yang dirilis oleh World Eonomic Forum (WEF) menunjukkan bahwa "AI dan *Big Data*" menjadi keterampilan dengan pertumbuhan tercepat, sementara peran AI and *Machine Learning Specialists* tercatat sebagai salah satu pekerjaan dengan pertumbuhan paling pesat di berbagai industri, seperti yang disajikan pada Gambar 5.4 (World Economic Forum, 2025a). Besarnya kebutuhan ini didorong oleh faktor transformasi bisnis yang besar-besaran, di mana 86% pemberi kerja memperkirakan teknologi pemrosesan informasi dan AI akan mengubah operasional bisnis secara fundamental pada tahun 2030.

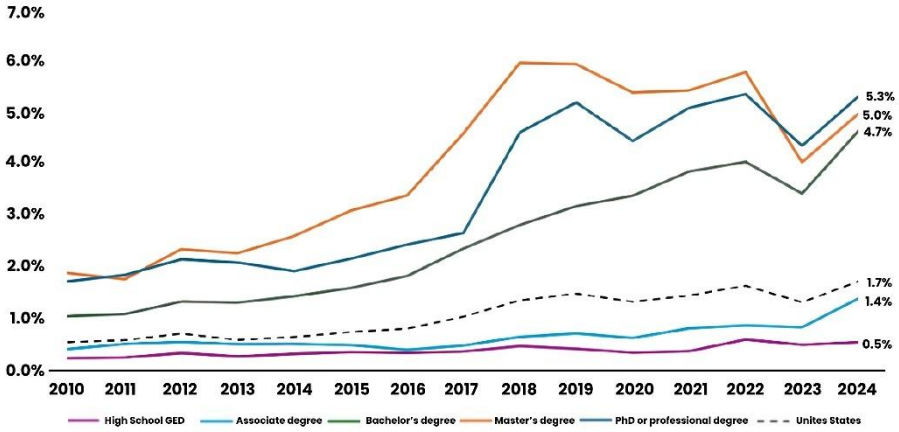
WEF mencatat bahwa 69% perusahaan akan merekrut staf pengembang perangkat lunak AI dan 62% mencari pekerja yang mampu berkolaborasi dengan AI. Urgensi ini dipicu oleh *skills gap* yang diakui oleh 50% eksekutif global sebagai hambatan utama adopsi teknologi tersebut.



Gambar 5.4. Jenis Pekerjaan dengan Tingkat Pertumbuhan Tertinggi
Sumber: World Economic Forum (2025a)

Adopsi AI cenderung menggantikan tugas rutin sekaligus memicu permintaan tenaga kerja dengan kemampuan kognitif tinggi yang umumnya dimiliki lulusan pendidikan tinggi. Korelasi ini terlihat pada Gambar 5.5, di mana permintaan keterampilan AI terkonsentrasi pada pekerjaan yang mensyaratkan gelar akademik minimal sarjana. Berdasarkan data Galeano et al. (2025), hal ini mencerminkan pergeseran kebutuhan industri menuju kompetensi analitis dan kreatif yang lebih kompleks.

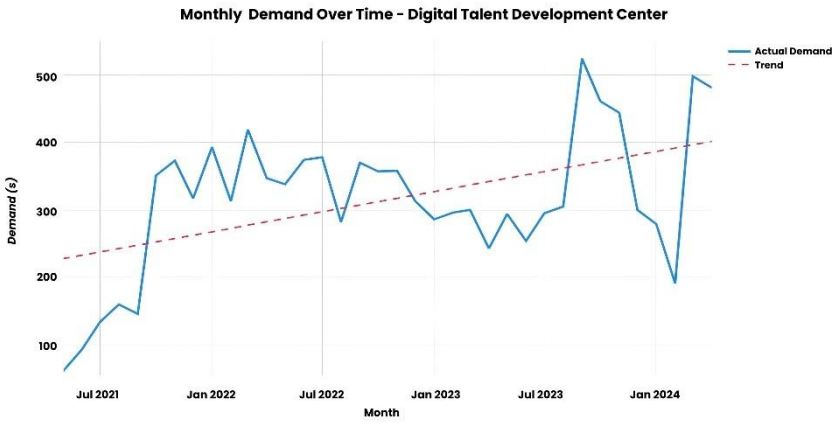
Pada tahun 2024, proporsi lowongan kerja yang meminta keahlian AI mencapai puncaknya pada tingkat doktor atau profesional (5,3%), disusul magister (5,0%), dan sarjana (4,7%). Sebaliknya, sektor pekerjaan yang mensyaratkan pendidikan lebih rendah menunjukkan pangsa permintaan yang jauh lebih kecil, yakni di bawah 2% (Galeano et al., 2025). Data tersebut mempertegas bahwa semakin tinggi kualifikasi pendidikan, semakin besar tuntutan integrasi teknologi AI dalam peran profesional tersebut.



Gambar 5.5. Persentase Lowongan Kerja Daring Yang Membutuhkan Keterampilan AI Berdasarkan Tingkat Pendidikan
Sumber: Galeano et al (2025)

Adapun pada konteks Indonesia, digitalisasi dipandang sebagai pendorong utama bagi transformasi pasar tenaga kerja hingga tahun 2030. Para eksekutif memiliki ekspektasi yang sangat besar terhadap dampak adopsi AI, dimana 83% dari perusahaan yang beroperasi di Indonesia memperkirakan bahwa AI dan pemrosesan informasi (seperti *big data* dan *Virtual Reality/Augmented Reality*) akan mendorong transformasi dalam bisnis mereka. Angka ini jauh melampaui rata-rata global yang hanya sebesar 60% (World Economic Forum, 2025a).

Temuan ini juga sejalan dengan hasil *crawling* data yang dilakukan oleh PROSPERA pada sejumlah *job portal* di Indonesia untuk lowongan pekerjaan terkait *Data Science* and *Artificial Intelligence*. Data hasil tangkapan periode Juli 2021 – April 2024 menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan, meskipun terlihat ada fluktuasi permintaan bulanan (Gambar 5.6). Kondisi ini menunjukkan bahwa kebutuhan terhadap talenta AI di Indonesia terus berkembang seiring dengan percepatan transformasi digital di berbagai sektor.



Gambar 5.6. Tren permintaan talenta AI periode Juli 2021 – Januari 2024
(Sumber: BPSDM Kominfo)

Laporan *Future Jobs Report* 2025 ini juga menyebutkan bahwa meningkatnya permintaan akan talenta AI menimbulkan pergeseran pada fokus pekerjaan. Adapun jenis pekerjaan yang diperkirakan mengalami pertumbuhan di Indonesia adalah AI *Specialists* (Spesialis AI) dan *Sustainability Specialists* (Spesialis Keberlanjutan). Sebaliknya, selaras dengan studi yang dilakukan oleh Fu (2024), pekerjaan yang bersifat rutin dan berbasis manual seperti staf administrasi dan entri data, diperkirakan akan mengalami penurunan yang signifikan. Selain pekerjaan spesifik, kebutuhan terkait keterampilan tertentu juga meningkat. Beberapa keterampilan yang permintaannya diperkirakan paling meningkat di Indonesia pada tahun 2030 adalah AI dan *Big Data* (100%), *Creative thinking* (77%), Literasi Teknologi (71%), dan Jaringan dan Keamanan Siber (71%) (World Economic Forum, 2025a).

Tabel 5.1. Lowongan Pekerjaan pada Area Fungsi Sains Data and AI

10 Lowongan Okupasi Terbanyak	Level KKNI*	Jumlah Lowongan	*Tools* yang Paling Dibutuhkan
Data Analyst	6	378	SQL, Microsoft Excel, Tableau
Data Engineer	7	357	SQL, Python, AWS
Business Intelligence Analyst	6	216	SQL, Power BI, Tableau
Database Administrator	6	148	SQL, Oracle
Data Scientist	7	145	Python, SQL, Bahasa Pemrograman R
AI Engineer	7	139	Python, Tensorflow, Pytorch
Data Entry Operator	2	127	Microsoft Office
Machine Learning Engineer	7	117	Python, Pytorch, Tensorflow
Associate Data Analyst	5	81	Microsoft Excel, SQL, Power BI
Lead Data Scientist	8	54	Python, SQL, Spark

*KKNI singkata dari Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia yang merupakan sistem penjenjangan kompetensi yang menyetarakan capaian pembelajaran dari pendidikan, pelatihan, dan pengalaman kerja ke dalam sembilan tingkat kualifikasi nasional.

Meningkatnya pemintaan talenta AI di indonesia juga tergambar dari jumlah lowongan pekerjaan yang terkait *Data Science* and *Artificial Intelligence* yang cukup besar. Hasil penelusuran data lowongan pekerjaan dari beberapa situs *job portal* periode Maret – Juli 2025 menunjukkan ada sebanyak 2078 lowongan dari berbagai perusahaan (Tabel 5.1). Adapun kolom "*Top 3 Tools* yang digunakan" pada Tabel 5.1. menyoroti keterampilan teknis yang paling dominan dan sering muncul dalam deskripsi lowongan kerja untuk masing-masing Okupasi.

Adapun dari sisi kompetensi teknis, SQL dipandang sebagai keterampilan yang wajib dikuasai lintas fungsi, mulai dari analis tingkat awal hingga *Lead Data Scientist*. Terdapat pula perbedaan kebutuhan

tools yang diinginkan, dimana pekerjaan yang berorientasi bisnis lebih mempersyaratkan penguasaan perangkat visualisasi seperti Tableau, Power BI, dan Excel, sementara peran teknis pengembang AI sangat bergantung pada pemrograman Python serta kerangka kerja *deep learning* seperti Tensorflow dan Pytorch. Temuan ini menggarisbawahi bahwa meskipun penguasaan Python merupakan hal yang penting untuk pengembangan AI, penguasaan SQL tetap menjadi kompetensi yang fundamental dan menjadi pintu masuk utama ke dalam ekosistem data profesional.

5.2. Ketersediaan Talenta AI

Secara global, pasokan tenaga kerja bidang AI masih sangat terkonsentrasi di beberapa negara utama. Seperti yang disajikan pada Tabel 5.2, Data Global Tech Talent 2025 menyebutkan dua negara yang memiliki populasi talenta AI terbesar di dunia yaitu Amerika Serikat dan India mendominasi pasar ini, dengan masing-masing sekitar 406.000 profesional di AS dan 375.000 di India (CBRE, 2025). Negara-negara lain seperti Inggris, Jerman, Kanada, Brasil, dan Prancis juga memiliki jumlah talenta yang signifikan, masing-masing melebihi 50.000 profesional. Dalam hal pertumbuhan tenaga kerja, negara-negara berkembang menunjukkan percepatan yang luar biasa. Sejak 2016, India, Kosta Rika, dan Portugal mencatat peningkatan jumlah talenta AI tertinggi di dunia.

Pola serupa juga tercermin dari sisi rasio lowongan terhadap profesional, di mana negara-negara dengan jumlah talenta terbesar belum tentu mencatatkan permintaan tertinggi. Polandia, dengan hanya 18.000 profesional, justru memimpin dengan rasio 10,0%, sementara negara-negara berkembang seperti Indonesia masih berada di angka yang jauh lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa kesenjangan antara pasokan dan permintaan talenta AI bersifat kompleks dan berbeda-beda di tiap negara.

Tabel 5.2. Jumlah Tenaga Kerja Bidang AI pada Sejumlah Negara

Negara	Jumlah Profesional AI	Jumlah Lowongan	Rasio Lowongan terhadap Profesional
Amerika Serikat	406.000	32.800	8,1%
India	375.000	15.000	4,0%
Inggris	72.000	4.200	5,8%
Jerman	66.000	5.100	7,7%
Kanada	59.000	2.000	3,4%
Brasil	58.000	2.200	3,8%
Prancis	50.000	1.500	3,0%
Spanyol	37.000	1.200	3,2%
Italia	27.000	800	3,0%
Australia	26.000	800	3,1%
Pakistan	23.000	400	1,7%
Turki	22.000	600	2,7%
Belanda	22.000	1.100	5,3%
Indonesia	19.000	600	3,2%
Polandia	18.000	1.800	10,0%

Sumber: CBRE (2025)

Adapun pasokan talenta AI di Indonesia memiliki peluang yang cukup baik melihat potensi populasi yang besar dan pertumbuhan tenaga kerja yang sangat cepat, yaitu sebesar 167,6 juta pada tahun 2024 (CBRE, 2025). Laporan ini juga mencatat bahwa terdapat sekitar 19.000 profesional bidang AI yang tersedia di Indonesia, sebuah angka yang relatif kecil jika dibandingkan dengan proyeksi ketersediaan talenta digital secara keseluruhan yaitu sekitar 5 juta orang (KOMINFO, 2024). Meskipun terdapat potensi yang besar, sejumlah tantangan

besar masih terus dihadapi dalam menciptakan tenaga kerja bidang AI yang siap dan terampil seperti yang dikutip dari beberapa sumber berikut ini:

a) Kualitas Pendidikan dan Pelatihan yang tidak memadai:

   Kualitas pelatihan dan pendidikan yang tidak memadai menyebabkan rendahnya tingkat penerimaan kerja, terutama dalam bidang AI (Halim et al., 2024). Terdapat kesenjangan yang signifikan antara keterampilan yang diberikan lembaga pendidikan dan kompetensi yang dibutuhkan oleh industri (Sun & Hao, 2020). Kesenjangan ini diperparah dengan pesatnya perkembangan teknologi AI, yang membuat kurikulum pendidikan cepat kadaluwarsa (W. Fu & Liu, 2022; Sun & Hao, 2020). Selain itu minimnya tenaga pendidik AI mumpuni semakin menghambat kemampuan untuk melatih talenta-talenta baru secara efektif. Hal ini kemudian diperparah oleh belum lengkapnya sistem pendidikan untuk mendidikan talenta-talenta baru (W. Fu & Liu, 2022).

b) Minimnya Kolaborasi Industri

   Kolaborasi antara industri dan akademisi sangat vital untuk memastikan program pendidikan selaras dengan kebutuhan industri. Hal ini mencakup keselarasan dan pembaruan kurikulum serta penciptaan lingkungan belajar yang mendukung inisiatif *reskilling* dan *upskilling* (Salminen et al., 2024). Disamping itu, integrasi pengalaman praktis dan riil dalam pendidikan AI seringkali tidak tersedia, dimana hal ini sangat penting untuk mengembangkan keterampilan yang diperlukan (Dushyanthen et al., 2025).

c) Kurangnya Keterwakilan Perempuan

   Perempuan masih belum terwakili dalam pekerjaan-pekerjaan di bidang AI, dimana porsinya hanya 26% dari angkatan kerja. Oleh karena itu, mendorong lebih banyak perempuan untuk memasuki

bidang ini dapat membantu mengatasi kekurangan talenta AI (Virvou et al., 2022).

Dalam memenuhi target talenta digital sebanyak 9 juta orang pada 2030, upaya memperluas kapasitas sumber daya manusia juga diperkuat melalui program Digital Talent Scholarship (DTS) yang digagas oleh Kementerian Komunikasi dan Digital, yang pada tahun 2024 dan 2025 telah melatih lebih dari 55.000 peserta di bidang AI, sehingga memberikan tambahan pasokan talenta nasional yang cukup berarti. Meskipun angka ini terbilang kecil dibandingkan negara-negara dengan tingkat daya saing tinggi, namun Indonesia menunjukkan peningkatan jumlah talenta AI sebesar 191% dalam periode 2016–2024 (Maslej et al., 2025), sebuah capaian yang menempatkan Indonesia di antara negara dengan pertumbuhan talenta AI tercepat di tingkat global.

5.3. Peran Strategis Institusi Pemerintah dan Pendidikan Indonesia dalam Pengembangan Talenta AI

Pengembangan talenta AI di Indonesia tidak terjadi secara spontan, tetapi merupakan hasil orkestrasi kebijakan, program, dan kolaborasi antara pemerintah, perguruan tinggi, lembaga riset, serta mitra industri. Strategi Nasional AI Indonesia 2020–2045 (Stranas KA) menempatkan pengembangan talenta sebagai salah satu dari empat pilar utama, di samping etika dan kebijakan, penyiapan infrastruktur dan data, serta riset dan inovasi industri. Pendekatan yang digunakan adalah *quadruple helix*—pemerintah, industri, akademisi, dan komunitas—yang mendorong peran aktif lembaga negara dan institusi pendidikan sebagai motor utama pencetak SDM AI di berbagai jenjang kompetensi.

Dalam konteks ketimpangan antara *supply* dan *demand* talenta digital, khususnya bidang AI, pemerintah berperan sebagai *policy maker* dan

enabler yang menetapkan arah, menyediakan skema pembiayaan dan infrastruktur, sekaligus mengorkestrasi kolaborasi lintas sektor. Di sisi lain, perguruan tinggi, sekolah vokasi, dan lembaga pelatihan menjadi *production house* talenta AI: merancang kurikulum, menyelenggarakan pembelajaran dan sertifikasi, melakukan riset, serta menghubungkan lulusan dengan kebutuhan pasar kerja. Sinergi keduanya menentukan seberapa cepat Indonesia mampu menghasilkan talenta AI yang tidak hanya cakap secara teknis, tetapi juga beretika, berkarakter, dan relevan dengan agenda pembangunan nasional.

5.3.1. Peran Strategis Institusi Pemerintah

Pemerintah pusat—melalui Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, Kementerian Komunikasi dan Digital (Komdigi), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan kementerian teknis lain—menetapkan kerangka besar pengembangan AI melalui Stranas KA 2020–2045. Dokumen ini menjadi pedoman bagi kementerian/lembaga dalam mendorong adopsi AI di lima bidang prioritas: layanan kesehatan, reformasi birokrasi, pendidikan dan riset, ketahanan pangan, serta mobilitas dan kota cerdas. Empat area fokus yang ditekankan adalah (1) etika dan kebijakan; (2) pengembangan talenta; (3) infrastruktur dan data; serta (4) riset dan inovasi industri.

Dalam konteks area fokus pengembangan talenta AI, terdapat sekelompok institusi pemerintah yang menjadi aktor kunci. Berikut ini akan dibahas lebih detail peran strategis masing-masing institusi tersebut.

a) Kementerian Komunikasi dan Digital

Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2023, mandat pengembangan talenta digital—termasuk talenta AI—berada pada Kementerian Komunikasi dan Digital (Komdigi) sebagai kementerian

yang menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang komunikasi dan informatika. Di dalam struktur Komdigi (Peraturan Menteri Komunikasi dan Digital Nomor 1 Tahun 2025), Unit Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Komunikasi dan Digital (BPSDM Komdigi) secara khusus memegang mandat pengembangan SDM yang fungsi-fungsinya mencakup: (1) perumusan kebijakan teknis pengembangan SDM di bidang komunikasi, informatika, dan digital; (2) pelaksanaan program pengembangan SDM; (3) pemantauan, evaluasi, dan pelaporan; serta (4) penyelenggaraan fungsi administratif badan.

Peran BPSDM Komdigi dalam Pengembangan Kompetensi Bidang AI

BPSDM Komunikasi dan Digital menerjemahkan mandat pengembangan SDM digital ke dalam berbagai program yang juga secara langsung menyasar kompetensi bidang AI. Program tersebut meliputi *Digital Talent Scholarship* (DTS) dan program beasiswa S2/S3 di bidang komunikasi dan informatika. DTS menjadi salah satu program utama yang secara eksplisit memasukkan AI dan bidang terkait seperti *machine learning*, *deep learning*, *big data*, dan *cloud computing* ke dalam kurikulumnya. Sejak 2019, program ini dikelola BPSDM bekerja sama dengan perguruan tinggi dan perusahaan teknologi global. Peserta dapat naik bertahap dari literasi dasar AI, ke keterampilan teknis menengah, hingga kemampuan lanjutan dalam merancang solusi AI di lingkungan kerja.

Selain program tersebut, BPSDM Komdigi mengembangkan platform Diploy untuk menjembatani alumni DTS ke dunia industri dengan menghubungkan mereka kepada perusahaan yang membutuhkan tenaga kerja digital terlatih dan siap pakai. Hingga akhir tahun 2023, ekosistem Diploy telah berkembang pesat dengan partisipasi lebih dari 355 perusahaan lintas sektor, mulai dari BUMN, perusahaan swasta, *startup*, hingga instansi pemerintah. Diploy berhasil menghimpun 74.546 kandidat potensial dengan 6.535 pengguna aktif.

Platform ini tidak hanya berfungsi sebagai portal rekrutmen, tetapi juga menyediakan ekosistem pengembangan karier komprehensif melalui program *Virtual Internship*, *Mentor Class*, dan *Hackathon* untuk memastikan kesiapan teknis (*hard skills*) maupun sikap kerja (*soft skills*) para talenta sesuai standar industri. Dengan adanya platform Diploy, siklus pengembangan SDM dari BPSDM Komdigi terlaksana mulai dari hulu (pelatihan) hingga ke hilir (penempatan kerja).

Seiring itu, BPSDM juga mengembangkan SKKNI di bidang data dan AI serta Peta Okupasi Nasional TIK yang memuat daftar okupasi digital beserta deskripsi tugas dan jenjang kompetensinya. Dokumen-dokumen ini menjadi rujukan penting bagi perancangan kurikulum pelatihan, penyusunan standar sertifikasi, dan pemetaan kebutuhan tenaga kerja di bidang AI. Secara substansial, peran BPSDM Komdigi dalam pengembangan kompetensi talenta AI dapat diringkas menjadi tiga fungsi utama berikut, dengan program contohnya:

1) Penetapan standar (*standard setting*)
    - Menyusun kebijakan teknis dan standar kurikulum talenta digital yang memasukkan modul-modul AI.
    - Mengembangkan dan mengadopsi SKKNI bidang data, AI, dan analitik sebagai rujukan sertifikasi.
    - Mengembangkan dan memutakhirkan Peta Okupasi Nasional TIK sebagai dasar penentuan jenjang dan profil kompetensi talenta AI.
2) Pengembangan kapasitas (*capacity building*)
    - Menyelenggarakan *Digital Talent Scholarship* (berbagai akademi) sebagai kanal utama pelatihan AI dan teknologi terkait untuk pelajar, mahasiswa, profesional, dan ASN.
    - Memberikan beasiswa S2/S3 di bidang komunikasi, informatika, dan digital yang mendukung lahirnya pakar dan peneliti AI.

- Menyelenggarakan pelatihan dan sertifikasi berbasis SKKNI yang mencakup *data science*, *machine learning*, analitik data, dan pengelolaan sistem AI.

3) Penghubung dengan dunia kerja (*link and match*)
   - Menggunakan Peta Okupasi Nasional TIK sebagai bahasa bersama antara industri, lembaga pendidikan, dan pemerintah dalam mendefinisikan peran dan jenjang talenta AI.
   - Merancang skema pascapelatihan DTS (magang, proyek bersama, dan kemitraan dengan industri teknologi) untuk mendekatkan lulusan program dengan kebutuhan pasar kerja.
   - Berkolaborasi dengan perusahaan teknologi, *startup*, dan asosiasi industri untuk memastikan kompetensi lulusan pelatihan relevan dengan praktik AI di lapangan.

Peran BPSDM Komdigi dalam Penguatan Ekosistem Talenta AI

Di luar fungsi peningkatan kompetensi, BPSDM Komdigi juga berperan sebagai penguat ekosistem talenta AI melalui kolaborasi luas dengan berbagai pemangku kepentingan. Secara keseluruhan, peran BPSDM Komdigi dalam penguatan ekosistem talenta AI dapat dilihat pada tiga lapis:

1) Lapis regulatif–programatik
   Menerjemahkan mandat Perpres dan Permen ke dalam program konkret seperti DTS, beasiswa, pelatihan berbasis SKKNI, dan implementasi Peta Okupasi Nasional TIK untuk mendukung pengembangan talenta AI.

2) Lapis kolaborasi multi-pemangku kepentingan
   Menggunakan program-program tersebut sebagai wahana membangun jejaring dengan industri, perguruan tinggi,

pemerintah daerah, dan komunitas sehingga ekosistem pembelajaran dan inovasi AI berjalan berkesinambungan.

3) Lapis sosio-kultural
   Memperluas literasi dan kecakapan digital masyarakat melalui pelatihan dan modul literasi yang juga mengenalkan AI secara bertanggung jawab. Dengan demikian, pemanfaatan AI dapat berlangsung secara etis, aman, dan produktif, dari ruang kelas dan kampus hingga ruang kerja dan komunitas di tingkat daerah.

5.3.2. Peran Strategis Institusi Pendidikan

Institusi pendidikan memegang peran kunci dalam membentuk kualitas dan arah pengembangan talenta AI di Indonesia. Melalui kurikulum, riset, pelatihan, dan ekosistem vokasi, perguruan tinggi dan lembaga pendidikan menjadi "pintu masuk" utama bagi masyarakat untuk naik kelas dari sekadar pengguna teknologi menjadi pengembang dan pengelola solusi AI yang dibutuhkan dunia kerja.

a) Kurikulum AI lintas disiplin
   Perguruan tinggi dan lembaga pendidikan merancang kurikulum AI dari level literasi dasar hingga pengembangan model, tidak hanya untuk prodi teknik, tetapi juga lintas disiplin dan melalui skema Merdeka Belajar serta *micro-credential*.

b) Pusat riset dan inovasi AI
   Kampus membangun pusat AI dan lab tematik yang menghubungkan riset AI dengan kebutuhan nyata di sektor publik dan industri, sehingga mahasiswa belajar sekaligus menghasilkan solusi terapan.

c) *Upskilling, reskilling,* dan sertifikasi
   Bersama pemerintah dan industri, institusi pendidikan menyelenggarakan pelatihan, *bootcamp*, dan sertifikasi

profesional AI bagi mahasiswa, *fresh graduate,* dan pekerja untuk meningkatkan daya saing di pasar kerja.

d) Etika dan nilai dalam pembelajaran AI
Kampus menanamkan etika, tanggung jawab, dan nilai Pancasila melalui mata kuliah etika AI dan pedoman penggunaan AI generatif, agar talenta AI tidak hanya kompeten secara teknis tetapi juga berintegritas.

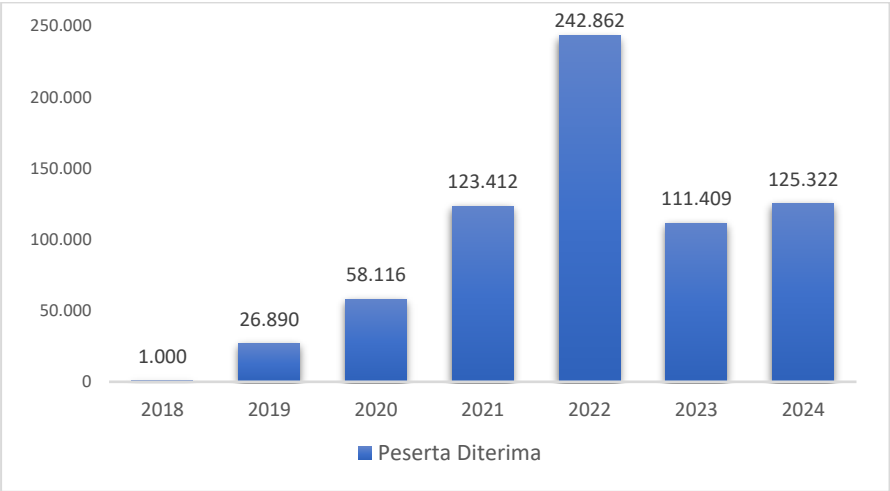
e) Vokasi dan pembelajaran sepanjang hayat
Sekolah vokasi, politeknik, dan lembaga pelatihan menyiapkan teknisi dan operator AI melalui pemagangan dan proyek bersama industri, sekaligus mendukung *upskilling* dan *reskilling* berkelanjutan.

5.4. Program Pengembangan Talenta AI di Indonesia

Bagian ini membahas ekosistem program pengembangan talenta AI yang dirancang untuk memperkuat kapasitas SDM Indonesia di era transformasi digital. Berbagai skema pelatihan dan beasiswa non-gelar difokuskan pada penguasaan keterampilan data, AI, serta penerapannya di berbagai sektor. Secara keseluruhan, program-program ini membentuk rantai pasok talenta AI yang berkelanjutan untuk mendukung visi pembangunan jangka panjang Indonesia.

5.4.1. Digital Talent Scholarship

Digital Talent Scholarship (DTS) merupakan program pelatihan pengembangan kompetensi yang telah diberikan kepada seluruh lapisan masyarakat termasuk mahasiswa, *professional*, ASN, dan lulusan baru. DTS menjadi salah satu program andalan Kementerian Komunikasi dan *Digital* yang dikelola oleh BPSDM Kominfo untuk mempercepat pemenuhan kebutuhan talenta digital nasional (Badan Pengembangan SDM Kominfo, 2023).



Gambar 5.7. Jumlah Peserta Diterima dalam Program DTS tahun 2018 – 2024

DTS dirancang sebagai skema beasiswa pelatihan *non-degree* yang menyediakan pembelajaran intensif di berbagai bidang teknologi kunci. Sejak diluncurkan pada tahun 2018 sampai dengan saat ini, program DTS secara konsisten memberikan berbagai topik pelatihan. Gambar 5.7 menunjukkan data jumlah peserta yang diterima setiap tahun dalam keseluruhan tema pelatihan DTS tahun 2018–2024. Terlihat bahwa Jumlah peserta tumbuh signifikan dari 1.000 orang pada tahun 2018 hingga mencapai puncaknya sebesar 242.862 orang pada tahun 2022, dan meskipun sempat menurun pada 2023, kembali meningkat menjadi 125.322 peserta pada tahun 2024.

Pembahasan mengenai DTS kali ini akan difokuskan pada konteks pelatihan-pelatihan untuk upaya *upskilling* dan *reskilling* talenta di bidang AI. Sejak tahun 2024 sampai dengan tahun 2025 ini, program DTS lebih banyak fokuskan pada tema pelatihan *data science* dan AI, mengingat kebutuhan talenta di bidang tersebut semakin tinggi seiring tren teknologi terkini. Tabel 5.3 menunjukkan daftar tema pelatihan yang dibuka di DTS untuk tema AI dan *data scientist* tahun 2024 dan 2025.

Tabel 5.3. Data Pelatihan DTS Tema AI dan *Data Scientist* Tahun 2024

Tahun	Tema Pelatihan	Peserta Diterima	Lulus Pelatihan
2024	*Artificial Intelligence*	692	497
	Associate Data Scientist	1.548	964
	Data Analytics for Business	191	190
	Data Analytics Untuk Siswa SMA/Sederajat	671	650
	Data Processing	2.328	1.6
	Data Science	2.127	1.612
	Data Science Fundamental	758	560
	Data Scientist	25	23
	Generative AI for Information System	288	252
	Pemanfaatan AI untuk Pemasaran *Digital* di Sektor Pariwisata	150	144
	Pemanfaatan AI di Pemerintahan	952	810
	Pemasaran Digital Dengan Kecerdasan Buatan (AI) untuk Wirausaha	51	35
	Training of Trainer Pemanfaatan AI di Pemerintahan	24	24
Total Peserta Seluruh Tema AI Tahun 2024		**9.805**	**7.457**
2025	AI Praktis untuk Produktivitas	327	314
	AI Safety and Governance	16	15
	Artificial Intelligence	4.759	3.114
	Artificial Intelligence for Content Creation	940	870
	Associate Data Analyst	55	55
	Associate Data Scientist	1.604	1.491
	Data Analytics	4.106	1.889
	Data Analytics untuk Pelajar Sekolah Menengah	691	666
	Data Engineering	1.070	581
	Data Management System	353	353
	Data Science	7.165	4.451
	Data Science Fundamental	282	256
	Deep Learning	2.364	1.716
	Digital Copywriting Menggunakan AI	468	258
	AI (Program elevAIte)	4.453	3.139
	Generative AI untuk Peningkatan Kinerja ASN	1.359	885
	Machine Learning	3.204	1.887
	Next-Gen ASN: Leading with AI	84	80
	Pemanfaatan AI di Pemerintahan	2.677	2.419
	Pemasaran Digital Dengan Kecerdasan Buatan (AI) untuk Wirausaha	9.245	8.701
	Training of Trainer Pemanfaatan AI di Pemerintahan	90	78
Total Peserta Seluruh Tema AI Tahun 2025		**45.312**	**33.218**

Sumber (BPSDM Komdigi, 2025) *Data diambil 11 November 2025

Komposisi tema pelatihan tahun 2024 menunjukkan fokus kuat pada penguatan fondasi data sebagai basis pengembangan talenta AI. Berbagai tema seperti *data processing, data science, data analytics,* dan *associate data scientist* membentuk jalur pembelajaran yang menyiapkan peserta untuk memahami siklus pengelolaan dan pemanfaatan data. Di sekitarnya, mulai muncul tema-tema aplikasi AI sektoral—pariwisata, pemerintahan, dan kewirausahaan—serta *generative AI for information system* dan *training of trainer* yang menandai langkah awal pembentukan ekosistem adopsi AI melalui pengajar dan *champion internal.*

Pada tahun 2025, pola tersebut berkembang menjadi ekosistem kompetensi yang lebih utuh dan terdiferensiasi. Jalur teknis melebar dari literasi data menuju penguasaan rantai nilai AI yang lengkap, dengan hadirnya *data engineering, data management system, machine learning,* dan *deep learning,* sekaligus tema-tema aplikatif seperti AI untuk produktivitas, pembuatan konten, dan *digital copywriting* berbasis AI. Di saat yang sama, muncul tema strategis seperti AI *safety and governance*, penguatan kinerja dan kepemimpinan ASN berbasis AI, serta program akselerasi berskala besar. Hal ini menunjukkan pergeseran dari sekadar pengenalan dan fondasi teknis menuju orkestrasi talenta yang mencakup pengembang, pengguna, pengajar, dan pengambil keputusan yang memahami peluang sekaligus risiko AI.

5.4.2. Program ElevAIte

Program elevAIte diluncurkan sebagai sebuah inisiatif kemitraan publik-swasta (*Public-Private Partnership*) strategis, merupakan kolaborasi antara Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kominfo) Republik Indonesia dengan perusahaan teknologi global Microsoft (Microsoft.com, 2024). Program ini dilatarbelakangi oleh urgensi nasional untuk menutup kesenjangan keterampilan (*skills gap*) di sektor AI, sebuah tantangan yang dapat menghambat laju transformasi

digital dan daya saing Indonesia di tingkat global. Dengan demikian, tujuan utama elevAIte adalah mempercepat penyiapan 1 juta tenaga kerja digital yang siap pakai dan kompeten di bidang AI (Microsoft.com, 2024).

Kurikulum elevAIte dirancang secara komprehensif, mencakup spektrum luas mulai dari fondasi teoritis AI hingga aplikasi yang relevan di industri. Kompetensi yang diajarkan mencakup konsep dasar AI, penguasaan *platform cloud* utama seperti Microsoft Azure AI, teknik *Generative* AI dan keterampilan *Prompt Engineering*, serta dasar-dasar *Machine Learning* dan *Deep Learning*. Pelatihan disalurkan melalui berbagai jalur yang disesuaikan dengan segmen peserta, menjamin materi yang relevan dan praktis. Program ini menawarkan berbagai manfaat bagi peserta yang mengikuti, antara lain:

a) Kursus Pembelajaran Mandiri: Mendapatkan akses pelatihan gratis dengan kurikulum berstandar industri global.
b) *Workshop* & Pelatihan Luring: Mengikuti sesi tatap muka bersama para ahli untuk memperdalam pemahaman dan memperluas jaringan profesional.
c) Pelatihan Singkat secara Daring: mendapatkan bimbingan langsung dari instruktur berpengalaman melalui pelatihan *online*.
d) *Hackathon* & *Datathon*: Mengasah kemampuan pemecahan masalah melalui kompetisi.
e) *Innovation Expo:* Berkesempatan untuk menunjukkan karya di hadapan para pemimpin industri dan membuka peluang kolaborasi baru.
f) Mendapatkan penghargaan jika lulus di berbagai kelas.

Meskipun baru diluncurkan pada akhir 2024, elevAIte mencatat capaian yang melampaui target pada siklus tahun pertamanya (Desember 2024–pertengahan 2025). Capaian ini diukur melalui matriks yang membedakan tingkat kedalaman keterlibatan peserta. Berikut ini merupakan matriks capaian program elevAIte

Tabel 5.4. Matriks Capaian Program elevAIte

Indikator Kualitas Capaian	Angka Realisasi (Perkiraan Pertengahan 2025)
Jumlah peserta yang dibekali keterampilan AI (*Reach*)	±1.200.000 orang (melampaui target 1 juta)
Jumlah peserta yang mengikuti pelatihan lebih mendalam (*Upskilling*)	±695.000 talenta
Jumlah talenta yang memperoleh sertifikasi AI resmi (*Certified*)	±403.000 talenta

Nilai strategis elevAIte terletak pada kemampuannya sebagai model akselerasi kompetensi massal dan komitmennya untuk menjangkau segmen khusus, termasuk perempuan, penyandang disabilitas, dan masyarakat di wilayah perifer. Sebagai respons terhadap tantangan kualitas dan kuantitas, program elevAIte memasuki tahun kedua (akhir 2025) dengan fokus yang berevolusi. Fokusnya bergeser dari membangun fondasi ke menciptakan dampak nyata dan kualitas kompetensi.

5.4.3. Bangkit Academy

Bangkit Academy adalah program pelatihan dan kesiapan karier yang bertujuan menghasilkan talenta digital melalui inisiatif Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) yang dijalankan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Riset dan Teknologi (Kemendikbudristek). Program ini didukung oleh sejumlah perusahaan teknologi terkemuka seperti Google, GoTo, dan Traveloka, dan diakui sebagai salah satu *gold standard* dalam program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) karena kualitas kurikulumnya yang diakui secara internasional (Kemdikbud.go.id, 2022). Peserta pelatihan ini adalah mahasiswa aktif yang sedang menempuh semester akhir atau menjelang akhir studi saat program dimulai. Pelatihan ini juga terbuka untuk semua jurusan

(kecuali rumpun Kesehatan/Kedokteran), baik IT maupun non-IT. Pada tahun 2024, Bangkit Academy membuka 3 (tiga) jalur spesialisasi:

a) *Mobile Development*, yang fokus pada pengembangan aplikasi Android (Kotlin, Jetpack Compose, dll.)
b) *Machine Learning*, yang mencakup materi pengolahan data dan pengembangan model cerdas (Python, TensorFlow, *Data Analysis*, *Generative* AI, dll.)
c) *Cloud Computing*, yang fokus pada infrastruktur *backend* dan *cloud* (Google Cloud, *Back-End, Web Basic*, *Cloud Engineer*, dll.)

Karena didesain sebagai bagian dari program Merdeka Belajar, peserta yang mengikuti pelatihan ini akan mendapatkan konversi kredit perkuliahan hingga 20 SKS, memperoleh sertifikasi global sesuai jalur yang diambil, juga berkesempatan dalam penyaluran tenaga kerja oleh mitra pelatihan (Google.com, n.d.).

5.5. Peta Kompetensi dan Kurikulum

Meningkatnya adopsi teknologi cerdas di berbagai sektor industri telah memicu peningkatan permintaan akan sumber daya manusia di bidang AI dan Sains Data. Menjawab kebutuhan tersebut, berbagai perguruan tinggi di Indonesia mulai membuka jurusan spesifik dengan kurikulum yang dirancang sedemikian rupa agar selaras dengan kompetensi yang dibutuhkan dunia kerja. Fenomena ini bukan sekadar tren akademis, melainkan langkah strategis institusi pendidikan untuk menjembatani kesenjangan talenta (*talent gap*) yang kian melebar di dunia industri. Kurikulum-kurikulum baru ini dirancang secara holistik dengan memadukan fondasi teoritis yang kuat dengan keterampilan praktis yang relevan guna mencetak talenta dengan kemampuan teknis mumpuni serta pemahaman etika yang kuat. Tabel 5.5 berikut ini menguraikan struktur kurikulum AI dari beberapa kampus di Indonesia.

Tabel 5.5. Program Studi dan Kurikulum AI di Sejumlah Perguruan Tinggi di Indonesia

Perguruan Tinggi	Jenjang & Program Studi	Kurikulum	Metode Pembelajaran
Institut Teknologi Bandung (ITB)	S1 Data Science & Artificial Intelligence, Teknik Informatika	• Literasi Data dan Inteligensi Artifisial • *Machine Learning* • *Data Mining* • *Advanced Machine Learning*	• *Lecture-based learning* (kuliah tatap muka) • *Blended learning* (*hybrid*) • Diskusi kelas • Seminar/*workshop* • *Problem-based learning* (studi kasus) • *Hands-on learning* (praktikum & lab komputasi, laboratorium AI/robotika; • *Project-based learning* (Proyek Mandiri) • Magang
	S2 Manajemen Informatika, Konsentrasi AI	• *Advanced Artificial Intelligence:* • *Mathematics for Artificial Intelligence* • *Deep Learning* • *Artificial Intelligence in Production* • *Trustworthy Artificial Intelligence* • *Artificial Intelligence Individual Project*	• *Lecture-based learning* (kuliah tatap muka) • *Blended learning* (*hybrid*) • Diskusi kelas • Seminar/*workshop* • *Problem-based learning* (studi kasus) • *Hands-on learning* (praktikum & lab komputasi, laboratorium AI/robotika; • *Project-based learning* (Proyek Mandiri)
Universitas Gadjah Mada	S1 Statistics & Data Science, Peminatan Machine Learning & Aplikasi AI	*Lab work in programming*	• *Lecture-based learning* (kuliah tatap muka) • *Blended learning* (*hybrid*) • Diskusi kelas • Seminar/*workshop* • *Problem-based learning* (studi kasus) • *Hands-on learning* (praktikum & lab komputasi, laboratorium AI/robotika; • *Project-based learning* (Proyek Mandiri) • Magang
	S2 Kecerdasan Artifisial	• Prinsip AI • Pembelajaran Mesin dan Aplikasinya • *Advanced Fuzzy Logic* • *Pattern Recognition & Analysis* • *Data Science and Analytics*	

Perguruan Tinggi	Jenjang & Program Studi	Kurikulum	Metode Pembelajaran
		• *Computational Intelligence* • *Enterprise Intelligent Agent* • *Advanced Computer Vision* • *Advanced Natural Language Processing* • *Intelligent Bioinformatics* • *AI Innovation & Entrepreneurship* • *AI in Business* • *Advanced Deep Learning* • *AI in Medicine*	
Universitas Indonesia	S1 Kecerdasan Artifisial	***Knowledge-based* AI:** • Logika Komputasional • Pemelajaran Mesin • Penambangan Data • Pengajaran Berbantuan Komputer • Pengolahan Bahasa Manusia • Robotika	• *Lecture-based learning* (kuliah tatap muka) • *Blended learning* (*hybrid*) • Diskusi kelas • Seminar/*workshop* • *Problem-based learning* (studi kasus) • *Hands-on learning* (praktikum & lab komputasi, laboratorium AI/robotika; • *Project-based learning* (Proyek Mandiri) • Magang
	S2 Ilmu Komputer, Specialization Track: Artificial Intelligence & Data Science	**MKD:** • *Artificial Intelligent & Data Science* • *Advanced Machine Learning* **MK pilihan:** • *Advanced Information Retrieval* • *Natural Language Processing* • *Image Processing* • *Spatial Data Analysis*	
Institut Teknologi Sepuluh November (ITS)	S1 *Artificial Intelligence Engineering* (AI)	• *Philosophy & Ethics of AIMachine Learning* • *AI Services* • *Natural Language Processing* • *Computational Perception* • *Robotics, Agents & Integration* • *Human-Machine Interaction*	• Ceramah, diskusi interaktif, praktek • *Discovery Learning, Problem Based Learning & Inquiry* (PBL) • *Small group disscussion* • *Collaborative Learning* • *Cooperative Learning* • *Case method*

Perguruan Tinggi	Jenjang & Program Studi	Kurikulum	Metode Pembelajaran
	S2 Teknik Informatika peminatan AI	**MK Wajib:** • *Computational* • *Network Based Computing* • Rekayasa Perangkat Lunak • Matrikulasi Pemrograman Phyton • Matrikulasi Pemrograman Berorientasi Objek **MK Pilihan:** • Sistem Terdistribusi • Komputasi Bergerak • Komputasi Awan • Interaksi Manusia dan Komputer • Rekayasa Sistem Berbasis Pengetahuan • Tata Kelola Teknologi Informasi • Pengujian Perangkat Lunak • *Data Mining* • Pengolahan Citra Digital • Pemrograman Sains Data Terapan • Rekayasa Perangkat Lunak untuk Pendidikan	
Institut Teknologi Del (IT-DEL)	S1 Informatika, Peminatan AI	• *Artificial Intelligence* • *Natural Language Process* • *Advanced Machine Learning* • Interpretasi dan Pengolahan Citra • Robotika • Representasi Pengetahuan dan Penalaran	Informasi tidak tersedia
	S1 Sistem informasi	• *Artificial Intelligence* • *Data Mining*	

Perguruan Tinggi	Jenjang & Program Studi	Kurikulum	Metode Pembelajaran
Universitas Bina Nusantara (BINUS)	S1 *Artificial Intelligence*	• *Discrete Mathematics, Calculus* • *Machine Learning* • *Deep Learning* • *Computational Physics* • *Human and Computer Interaction2* • *Computational Biology* • *Applied Natural Language Processing* • *Applied Computer Vision* • *Venture Creation* • Proyek praktis, kerja industri, magang atau pengalaman nyata	• *Hands-On Learning* • *Industry Collaborations*
Universitas Pelita Harapan	S1 *Artificial Intelligence*	• *Calculus, Linear Algebra, Programming Fundamentals, Algorithm and Data Structure, Probability and Statistics,* • *Practical Introduction to Visual Perception,* • *Web and Mobile Application Development,* • *Deep Learning, Data Communication and Computer Network Security* • *Human-Computer Interaction* • *Introduction to Large Language Models* • *Project Management, Academic Frontier* • *AI Project Lab 1 (Internship), Parallel Computation*	• *Hands*-on melalui proyek AI yang memberikan dampak bisnis langsung • AI *Project Lab* • Kerjasama dengan industri

Perguruan Tinggi	Jenjang & Program Studi	Kurikulum	Metode Pembelajaran
Universitas Sumatera Utara	S2 Sains Data dan Kecerdasan Buatan	• Pemrograman Untuk Sains Data • Kecerdasan Buatan • Pemodelan dan Pengelolaan Data, *Data Management* and *Modelling* • Pembelajaran Mesin • Kecerdasan dan Analisis Bisnis • Komputasi Linguistik • Analisis Data Spasial Temporal	Informasi tidak tersedia
Universitas Syiah Kuala	S2 Kecerdasan Buatan	• Kecerdasan Artificial • Pemrograman untuk Sains Data dan Kecerdasan Artificial • Praktikum Pemrograman untuk Sains Data dan Kecerdasan Artificial • Manajemen dan Pemodelan Data • Pembelajaran Mesin • Kecerdasan dan Analisa Bisnis • Analisis Data Spatio-Temporal • Analisis Jejaring Sosial	• *Small Group Discussion* • *Role-Play & Simulation* • *Discovery Learning* • *Self-Directed Learning* • *Cooperative Learning* • *Collaborative Learning* • *Contextual Learning* • *Project Based Learning* • *Case Method* • *Research-Based Learning*/RBL • Ceramah/kuliah/ presentasi • Demonstrasi • Latihan

Telaah terhadap peta kurikulum jurusan AI di berbagai kampus di Indonesia memperlihatkan pola yang jelas mengenai bagaimana pendidikan AI disusun. Kurikulum ini tidak hanya berfokus pada *coding* atau bahasa pemrograman, tetapi juga mengintegrasikan ilmu matematika, teori data, etika, dan rekayasa perangkat lunak.

Pemetaan tersebut juga memperlihatkan adanya variasi pada stuktur kurikulum di masing-masing kampus. Perbedaan juga terlihat dari penekanan materi lanjutannya, dimana sebagian kampus menitikberatkan pada aspek rekayasa produksi (*engineering*) dengan

mata kuliah seperti MLOps dan *Deployment* untuk menghasilkan AI *Engineer* yang siap industri, sementara kampus lain memilih pendekatan saintifik murni dengan memasukkan materi seperti Fisika Komputasi atau Biologi Komputasi untuk mencetak talenta AI dengan kompetensi tertentu. Perbedaan ini menegaskan bahwa pendidikan AI di Indonesia tidak menerapkan pendekatan seragam, melainkan beradaptasi dengan lingkup kebutuhan profesional yang luas.

Secara umum terlihat ada pola pembelajaran dan beberapa materi fundamental yang seragam. Berdasarkan pemetaan terhadap kurikulum, terdapat beberapa kategori mata kuliah yang membentuk kompetensi utama pada bidang AI, yaitu:

1. Fondasi Matematika dan Statistika

Hampir seluruh kurikulum menekankan penguasaan dasar-dasar matematis yang kuat. Hal ini menunjukkan bahwa pendidikan AI dirancang untuk menghasilkan *engineer* yang paham konsep, bukan sekedar pengguna *tools* dan perangkat. Mata kuliah ini mencakup:

- Matematika Dasar: Aljabar Linear, Kalkulus, dan Matematika Diskrit.
- Statistika: Teori Peluang (*Probability*), Statistika Deskriptif, dan Metode Optimasi.
- Logika: Logika Komputasional.

2. Inti AI dan Pembelajaran Mesin

Kurikulum disusun secara bertahap, dimulai dari pemahaman data mentah hingga model AI yang kompleks. Kelompok mata kuliah ini merupakan kompetensi utama di mana mahasiswa mempelajari cara membangun model cerdas:

- Pengolahan Data: *Data Mining*, *Exploratory Data Analysis* (EDA), *Data Cleaning,* dan visualisasi data

- *Machine Learning*: Mulai dari *Basic Machine Learning* (*Supervised/Unsupervised*) hingga *Advanced Machine Learning*.
- *Deep Learning*: Pembahasan mendalam mengenai *Neural Networks*, CNN (*Convolutional Neural Networks*), RNN, dan LSTM.

3. Spesialisasi Domain AI (NLP, Visi, & Robotika)

Mahasiswa diarahkan untuk menguasai penerapan AI pada domain spesifik sesuai dengan kebutuhan industri saat ini:

- Pemrosesan Bahasa: *Natural Language Processing* (NLP), *Text Mining*, hingga studi mengenai *Large Language Models* (LLM) dan *Generative* AI .
- *Computer Vision*: Pengolahan Citra Digital (*Image Processing*), *Pattern Recognition*.
- Sistem Fisik & Robotika: Robotika, Sistem Otonom, dan *Internet of Things* (IoT) .

4. Rekayasa Sistem dan Produksi

Kurikulum modern kini menekankan pada kemampuan membawa model dari laboratorium ke lingkungan produksi (*deployment*):

- MLOps & *Deployment*: Siklus hidup pengembangan model, *Model Deployment*, dan mengawasi kinerja model di lingkungan produksi .
- Rekayasa Perangkat Lunak: Pemrograman Berorientasi Objek (OOP), *Software Engineering for AI*, dan Komputasi Awan (*Cloud Computing*) .
- Infrastruktur Data: Manajemen basis data, *Big Data*, dan Sistem Terdistribusi .

5. Etika dan Keterampilan Profesional

Kurikulum juga mencakup aspek non-teknis yang penting untuk memastikan pengembangan AI yang bertanggung jawab:

- Etika AI: *Philosophy* & *Ethics of* AI, *Trustworthy* AI, serta isu bias dan keadilan (*fairness*) dalam algoritma .
- Bisnis & Manajemen: Manajemen Proyek, AI *Innovation* & *Entrepreneurship*, serta *Business Intelligence* .
- Metodologi Riset: Metodologi penelitian dan proyek mandiri (*Capstone Project*) .

6. Konteks Bisnis dan Multidisiplin

Kurikulum juga mempersiapkan mahasiswa untuk memahami sisi bisnis dan manajerial, bukan hanya teknis.

- Aplikasi: AI untuk Bisnis (*Business Intelligence*), AI di bidang Kesehatan (AI *in Medicine*).
- Kewirausahaan: Mata kuliah *Venture Creation* dan AI *Innovation* & *Entrepreneurship* menunjukkan dorongan agar mahasiswa menciptakan solusi atau *startup* berbasis AI.

Transformasi pendidikan tinggi di bidang AI dan Sains Data juga ditandai dengan adanya pergeseran dari metode perkuliahan konvensional menuju pendekatan yang lebih kolaboratif dan berorientasi pada praktik. Berdasarkan pemetaan kurikulum, metode *Project-based learning* (PBL) atau "Proyek Mandiri" serta *Hands-on learning* menjadi metode utama dalam proses transfer pengetahuan yang diharapkan dapat menjembatani kesenjangan antara teori akademis dan kebutuhan praktis dunia kerja. Menurut De Barros et al. (2023), pendekatan ini tidak hanya menempatkan mahasiswa di ruang kelas, tetapi secara intensif melibatkan mereka dalam mengaplikasikan pendekatan statistika dan AI pada kasus nyata yang mengasah kemampuan pemecahan masalah, berpikir kritis, keterampilan

komunikasi, serta kemampuan kerja sama tim melalui pengalaman yang diperoleh dalam menangani situasi dan masalah sebenarnya. Di beberapa kampus, metode *Hands-On Learning* ini dipadukan secara spesifik dengan *Discovery Learning* dan *Collaborative Learning*, yang memaksa mahasiswa untuk secara aktif membangun pemahaman teknis mereka melalui eksperimen langsung terhadap data dan algoritma.

Selain penguatan teknis, kurikulum-kurikulum ini juga secara ekstensif menerapkan metode *Problem-based learning* (PBL) dan *Case Method* (studi kasus) untuk mempertajam kemampuan analisis kritis mahasiswa. Su (2022) dan Tariq (2025) menyebutkan, metode ini sangat efektif dalam pendidikan karena mengajarkan mahasiswa menerapkan pengetahuan teoritis ke dalam kondisi nyata, serta meningkatkan kemampuan untuk mengatasi masalah yang kompleks. Melalui pendekatan ini, mahasiswa diajak untuk menelaah "*Case Studies and Industrial Applications*" yang mencakup implementasi AI di berbagai industri beserta praktik terbaik (*best practices*). Metode pembelajaran juga diperkuat melalui pelibatan unsur industri secara langsung dalam kurikulum. Institusi pendidikan tidak lagi berjalan sendiri, melainkan menerapkan kolaborasi industri dan program Magang sebagai bagian yang terintegrasi dari metode pembelajaran. Beberapa kurikulum bahkan secara spesifik merancang "Proyek praktis" dan "kerja industri" untuk memberikan pengalaman nyata bagi mahasiswa. Hal ini memperlihatkan bahwa tujuan akhir dari metode pembelajaran tersebut adalah mencetak talenta yang tidak hanya kompeten secara teknis, tetapi juga memiliki intuisi bisnis serta kesiapan profesional untuk terjun ke ekosistem industri digital.

Analisis pemetaan kurikulum di atas memperlihatkan adanya langkah progresif lembaga akademik dalam menyikapi tren perkembangan AI di Indonesia. Inisiatif ini patut diapresiasi dan didukung agar akselerasi pencetakan sumber daya manusia berjalan optimal, sehingga mampu menjembatani kesenjangan talenta (*talent gap*) demi tercapainya

kedaulatan digital nasional. Walaupun demikian, telaah lebih lanjut menunjukkan masih adanya kelemahan yang masih perlu dicatat, antara lain:

a) Tidak semua kampus memberikan *real case*/kasus nyata dari industri sebagai project yang dapat dikerjakan mahasiswa.

   Dari 9 kampus yang dipetakan kurikulumnya, tidak semuanya memberikan pembelajaran melalui kasus nyata dari Industri. Meskipun ada kolaborasi dengan industri, namun tampaknya kolaborasi tersebut lebih kepada kolaborasi riset atau penyediaan infrastruktur, atau akses terhadap data mitra yang dapat digunakan mahasiswa sebagai latihan. Namun demikian, beberapa kampus negeri yang besar seperti ITB, UGM dan ITS serta kampus swasta bereputasi tinggi seperti BINUS dan UPH memberikan kurikulum berupa magang di industri dan juga pembelajaran berbasis proyek nyata yang dilakukan mahasiswa yang dapat memberikan mahasiswa kesempatan belajar melalui kasus nyata.

b) Masih didominasi pembelajaran berbasis teori (*lecture-based learning*).

   Pada umumnya, kampus negeri menyelenggarakan kegiatan pembelajaran untuk AI didominasi dengan metode *lecture-based learning*, seperti ceramah, diskusi kelompok, *Self-Directed Learning*, *Cooperative Learning* dan lain sebagainya. Sedangkan metode pembelajaran dengan menggunakan pendekatan *experiential learning* seperti *hands-on learning,* praktikum, *case method*, ataupun *project-based learning* hanya di lakukan beberapa kampus saja (ex: ITB, UI, UGM, BINUS, UPH), meskipun di ITB, UI dan UGM juga mengadakan pembelajaran dengan *lecture-based learning* juga dalam beberapa mata kuliah, tidak seperti BINUS dan UPH yang kegiatan pembelajarannya mutlak berbasis *hands-on learning*.

c) Beberapa kampus (terutama kampus negeri) masih minim kolaborasi dengan industri.

   Kolaborasi industri dengan kampus dalam proses pembelajaran sangat penting dilakukan karena memungkinkan mahasiswa belajar dengan kasus yang nyata. Hal ini akan memberikan pengalaman belajar yang lebih riil dan melatih mahasiswa dengan *skill* yang sesuai kebutuhan di lapangan.

d) Banyak dari kampus yang menyelenggarakan program studi AI tidak memasukkan *Ethics* dalam kurikulumnya.

   Dalam pembelajaran AI, etika adalah salah satu hal paling krusial selain hal teknis, karena AI sangat erat keterkaitannya dengan data. Seorang AI *engineer* seharusnya menjadikan etika dan regulasi sebagai acuan dasar dalam melakukan pekerjaannya, sehingga diharapkan tidak melakukan berbagai pelanggaran etika yang sangat mungkin terjadi. Beberapa kampus yang memasukkan etika dalam kurikulum pembelajarannya hanya ITB dan UI saja. Sedangkan kampus yang lain hanya fokus pada materi teknis AI.

e) Beberapa kampus tidak memasukkan *Data security* dalam kurikulumnya.

   Selain etika dan pengetahuan teknis, *data security* juga menjadi materi yang sangat penting dimasukkan dalam kurikulum pendidikan AI. Namun, sama seperti materi terkait etika, materi *data security* juga tidak diselenggarakan oleh banyak kampus yang menyelenggarakan program studi AI. Hanya ITB dan UPH yang memasukkan *data security* atau *network security* dalam kurikulum pembelajarannya.

f) Level pendidikan S1 tingkat pemula, sedangkan S2 antara pemula hingga *Intermediate*.

   Umumnya S1 *Artificial Intelligence* masih berada di tingkat pemula (memahami konsep dasar AI dan mulai mampu mengoperasikan alat atau *library* sederhana, dengan kompetensi utama mencakup

pemahaman tentang logika algoritma dan struktur data), sedangkan S2 *Artificial Intelligence* lebih ke level *Intermediate* (menguasai proses pengembangan model AI secara menyeluruh, dari eksplorasi data hingga evaluasi hasil).

5.6. *Benchmarking* Program Sejenis di berbagai negara

Dalam upaya merespons dinamika teknologi global, pengembangan kapabilitas sumber daya manusia di bidang AI telah menjadi prioritas strategis bagi banyak negara. Bagian ini akan mendiskusikan beberapa inisiatif pengembangan talenta AI dijalankan di tujuh negara, yaitu Singapura, Kanada, Jepang, Uni Emirat Arab (UEA), Korea Selatan, India, dan Vietnam. Melalui penelaahan terhadap program-program unggulan seperti AI *Apprenticeship Programme* di Singapura hingga IndiaAI *FutureSkills*, *benchmarking* ini bertujuan untuk memetakan variasi pendekatan—mulai dari pemagangan intensif, beasiswa pendidikan tinggi, hingga pelatihan infrastruktur spesifik—yang diterapkan oleh pemerintah dan swasta dalam membangun ekosistem talenta digital yang tangguh dan berkelanjutan.

5.6.1. Singapura: AI Apprenticeship Programme (AIAP)

AI *Apprenticeship Programme* (AIAP) merupakan inisiatif strategis pengembangan talenta yang diluncurkan pada tahun 2018 oleh AI Singapore (AISG) yang selaras dengan visi Strategi AI Nasional Singapura. Program ini dirancang untuk memperkuat kapabilitas talenta lokal melalui pelatihan intensif berbasis proyek nyata (*hands-on*). Tujuan utamanya adalah mencetak ahli AI yang tidak hanya mampu memberikan dampak sosial-ekonomi signifikan, tetapi juga mengukuhkan posisi Singapura dalam ekosistem teknologi global.

Sasaran utama program sangat spesifik dan ketat, hanya menargetkan Warga Negara Singapura yang memegang kualifikasi dari NITEC hingga gelar dari lembaga pendidikan tinggi yang diakui dan

memenuhi syarat untuk pendanaan. Selain kualifikasi formal, peserta juga diwajibkan memiliki prasyarat pengetahuan & *skill* teknis yang mendalam, meliputi:

a) Pemrograman (Misalnya Python).
b) *Machine Learning* (*pre-processing*, membangun model, dan membuat *data pipelines*).
c) MLOps & *Deployment* (mampu menggunakan Git/GitHub, Docker, Linux *shell scripting*, dan platform *cloud*).
d) Teknologi Data (terampil menggunakan basis data SQL/NoSQL dan perangkat pemrosesan data seperti Apache Spark/Hadoop).
e) Dokumentasi (mampu menghasilkan dokumentasi kode dasar).

Program ini memberikan menjanjikan manfaat bagi peserta dengan memastikan siap kerja dan peningkatan karir pada bidang AI. Peserta mendapatkan pengalaman dengan bekerja pada proyek-proyek nyata dan menerapkan model AI ke dalam produksi, tidak hanya sekedar pembelajaran teoretis. Program ini dilakukan secara tatap muka, dan peserta menerima tunjangan pelatihan bulanan sebesar 4000 SGD. Keberhasilan program ini tercermin pada prospek karir yang kuat, yang ditunjukkan dengan tingkat penempatan lulusan yang tinggi (lebih dari 90%), dimana alumni berhasil mendapatkan pekerjaan pada posisi penting seperti AI *Engineer*, MLOps *Engineer*, dan *Data Scientist*.

Mekanisme pelaksanaan AIAP dirancang secara terstruktur melalui dua jalur utama dan proses seleksi yang ketat. Berikut Informasi terkait program ini yang bersumber dari *website* AI *Apprenticeship Programme.*

1. Jalur Program (*Tracks*):
    - Jalur 9-Bulan (*Flagship AIAP*)
    - Jalur 6-Bulan (*AIAP for Industry*): Calon peserta akan dipasangkan dengan salah satu jalur berdasarkan evaluasi holistik terhadap hasil penilaian dan profil mereka.

2. Proses Seleksi:
    - Tahap 1: Penilaian Teknis (*Technical Assessment*): Penilaian *take-home* selama 6 hari yang menguji kemahiran dalam EDA, ML, Python, dan *software engineering*.
    - Tahap 2: Wawancara (*Interview*): Wawancara teknis dan studi kasus kelompok kolaboratif.
3. Pemagangan (2 Tahap):
    - Tahap ke-1: Pendalaman Keterampilan (*Deep-Skilling Phase*) selama 3 bulan. Fase ini bertujuan untuk memperoleh keterampilan mendalam dalam AI, *software engineering*, dan MLOps melalui pembelajaran berbasis proyek. Domain inti pembelajaran ini meliputi: *Classical Models*, MLOps, Etika & Tata Kelola, *Deep Neural Network*, *Computer Vision*, *Time-series*, *Natural Language Processing*, dan *Large Language Modeling*.
    - Fase ke-2: Fase Proyek (*Project Phase*): Fase ini merupakan pelatihan di tempat kerja (*On-the-job training*) selama 3 atau 6 bulan (tergantung *track*-nya), di mana peserta berkolaborasi dalam tim untuk merancang, mengembangkan, dan mengirimkan proyek AI yang praktis dan relevan dengan bisnis.

5.6.2. Kanada: Vector Institute for Artificial Intelligence

Vector Institute for Artificial Intelligence merupakan lembaga nirlaba independen yang diakui secara global. Institusi ini fokus pada kolaborasi strategis dengan universitas-universitas mitranya di Provinsi Ontario, Kanada. Program Vector bertujuan mengembangkan dan membangun kapabilitas dan konektivitas tenaga kerja AI di Ontario untuk mendorong pertumbuhan ekonomi dan penciptaan lapangan kerja berbasis AI. Program ini dicapai melalui dua inisiatif program utama, antara lain:

1. *Vector Recognized AI Master's Programs*: Mencakup 28 program master (S2) di Ontario. Program-program ini divalidasi oleh *Vector*, mencakup bidang teknis inti (*core-technical*) dan pelengkap (*complementary*) seperti bisnis dan kesehatan. Program-program ini dirancang untuk dampak industri yang segera, dengan spesialisasi yang luas mulai dari *data science* hingga informatika kesehatan.
2. *Vector Scholarship in AI - VSAI*: Merupakan program penghargaan (*entrance award*) senilai $17.500 bagi mahasiswa terbaik yang terdaftar di *Vector Recognized AI Master's Programs*. Beasiswa ini merupakan program inti dari yang didukung oleh Pemerintah Provinsi Ontario.

Sasaran utama Program *Vector Institute* mencakup empat kelompok yaitu: Mahasiswa luar biasa yang akan mendorong ekonomi AI Ontario, bekerja di perusahaan terkemuka, meluncurkan *startup*, dan membangun aplikasi yang mengubah cara hidup; Mahasiswa dan alumni yang berafiliasi dengan *Vector Recognized AI Master's Programs*; Universitas Mitra Ontario yang bertujuan untuk meningkatkan jumlah lulusan tingkat master di bidang AI, serta membuka jalur bakat bagi perusahaan AI di Ontario; Mitra industri, yang merupakan perusahaan Kanada yang melakukan aktivitas riset dan pengembangan AI atau sudah menggunakan AI, mendapatkan akses ke program yang dirancang untuk mempercepat adopsi AI.

Program ini menawarkan manfaat yang signifikan. Mahasiswa dan alumni yang berafiliasi dengan *Vector Institute* akan menikmati akses ke berbagai sumber daya dan pengembangan karier, termasuk:

- *Vector Talent Hub*: Akses untuk menelusuri peran dari lebih dari 50 organisasi.
- Kegiatan Rekrutmen dan Karier: Membangun koneksi karir dengan mitra dan sponsor pada Program *Vector*.

- *AI Masters Newsletter*, *Resource Guides*, dan saluran *YouTube Vector*.
- Kesempatan Magang (*Internships*) untuk meningkatkan kapabilitas *skill* AI dengan proyek di dunia nyata.

Penerima *Vector Scholarship in AI (VSAI)* mendapatkan manfaat tambahan untuk akselerasi karir, seperti akses prioritas ke Program *Mentorship IMPACT* dengan para ahli industri, integrasi industri melalui akses eksklusif ke *Digital Talent Hub*, serta akses ke acara jejaring dan rekrutmen eksklusif.

5.6.3. India: India AI FutureSkills

IndiaAI FutureSkills merupakan pilar strategis dari Misi IndiaAI, yang berada di bawah kepemimpinan Kementerian Elektronika dan Teknologi Informasi (MeitY). Misi utama program ini adalah mengembangkan kanal pengembangan talenta AI yang terampil melalui dukungan untuk riset dan inovasi dalam rangka mewujudkan visi India sebagai pemimpin global AI.

Program ini bertujuan untuk mendemokratisasikan akses ke berbagai teknologi, menjadikan AI sebagai teknologi yang dapat diakses publik secara luas. Program ini dijalankan melalui dua jalur utama: pembangunan infrastruktur dan pendanaan beasiswa penelitian dalam kerangka AI.

IndiaAI FutureSkills memiliki target yang luas di seluruh ekosistem pendidikan dan pengembangan talenta India:

- Pemuda India: Meliputi pemuda dari berbagai wilayah, bahasa, dan latar belakang ekonomi, dengan tujuan menyediakan akses ke keterampilan dan infrastruktur dasar dalam *Data* & AI.
- Mahasiswa di Institusi Pendidikan Vokasi/Teknis: Termasuk Industrial Training Institutes (ITIs) dan Politeknik, yang menjadi gerbang menuju transformasi digital, serta siswa yang mencari

kursus dasar AI melalui laboratorium yang bekerja sama dengan National Institute of Electronics & Information Technology (NIELIT).

- Akademisi dan Peneliti: Mencakup mahasiswa sarjana dan magister yang berprestasi, serta peneliti doktoral di seluruh negeri melalui program *Research Fellowship*.
- Pelatih dan Instruktur: Instruktur ITI lokal dan koordinator laboratorium yang dilatih melalui model *train-the-trainer* untuk menyampaikan kurikulum secara efektif.

Manfaat program ini bervariasi sesuai dengan komponen pelaksanaannya:

- *Data* & AI Labs (di ITI, Politeknik, NIELIT): Akses ke infrastruktur yang dilengkapi dengan *GPU* dan *dataset* yang dikurasi. Kurikulum Inti mencakup *Data Annotation*, *Data Curation*, Pemrograman *Python*. Kursus pembelajaran gratis dengan durasi 120 jam. Koneksi industri dan karir melalui kemitraan industri.
- *IndiaAI Fellowships* (sarjana dan magister): Dukungan terstruktur untuk penelitian dan inovasi, memberdayakan mahasiswa untuk memecahkan permasalahan riil di berbagai sektor.
- *IndiaAI Research Fellowship* (*PhD Scholars*): Dukungan finansial bulanan (tunjangan bulanan ₹70.000 hingga ₹80.000 atau sekitar 13-15 juta Rupiah), hibah penelitian sebesar ₹200.000 sekitar 37 juta Rupiah per tahun, dan Dukungan Konferensi Internasional (hingga maksimum ₹100.000 sekitar 18 juta Rupiah) untuk presentasi global, dengan masa beasiswa hingga lima tahun.

5.6.4. Samsung Innovation Campus (SIC) Vietnam

Samsung *Innovation Campus* (SIC) merupakan program pengembangan talenta teknologi tinggi dari Samsung yang diluncurkan secara global pada tahun 2019. Di Vietnam, program ini dimulai pada tahun yang sama melalui kerja sama Samsung Vietnam dengan NGO *Junior Achievement* (JA) Vietnam. Pada Mei 2024, Samsung Vietnam dan *National Innovation Center* (NIC)—lembaga di bawah Kementerian Perencanaan dan Investasi Vietnam (*Ministry of Planning and Investment*)—bersama meluncurkan SIC 2023-2024 di fasilitas NIC Hanoi, menandai kolaborasi pertama keduanya untuk mendukung target Vietnam melatih 50.000-100.000 generasi muda pada tahun 2030.

Sasaran Utama Program ini adalah para pemuda Vietnam yang berusia 12-22 tahun dari berbagai jenjang pendidikan (SMP, SMA, hingga universitas) di seluruh provinsi melalui kombinasi pelatihan daring dan tatap muka. Peserta mendapatkan pengetahuan teknis khusus sekaligus keterampilan karir dan non-teknis, serta pengalaman praktis melalui proyek nyata dalam kompetisi *Innovation Tech Challenge*.

Adapun peserta yang memenuhi persyaratan akan menerima sertifikasi penyelesaian kursus Samsung *Innovation Campus* dan mendapat kesempatan magang serta peluang kerja di pusat riset dan pengembangan Samsung Vietnam. Kurikulum program mencakup empat kursus pengembangan kapasitas teknologi utama:

- *Internet of Things* (IoT): Pembelajaran tentang teknologi perangkat pintar dan konektivitas.
- *Kecerdasan Artifisial* (AI): Pendalaman kemampuan dalam *artificial intelligence* dan *machine learning.*
- *Big Data*: Pengolahan dan analisis data dalam skala besar.
- *Coding* & *Programming* (C&P): Keterampilan pemrograman dasar sebagai fondasi teknis.

Mekanisme pelaksanaan SIC dirancang secara terstruktur melalui model pembelajaran *blended*, pelatihan daring (*E-Learning*), dan pelatihan tatap muka. Program ini didukung oleh infrastruktur AI berupa "SIC Labs" yang berlokasi di Universitas Duy Tan dan Pusat Inovasi Nasional, dilengkapi dengan ruang pelatihan modern, sistem komputer berkonfigurasi tinggi, beragam laptop, dan TV pintar.

Selain itu program ini juga mencakup sesi pelatihan guru yang dirancang oleh para ahli terkemuka dari Samsung dan universitas nasional besar untuk meningkatkan keterampilan profesional dan pedagogis pengajar, serta menyelenggarakan kompetisi tahunan yang memberikan kesempatan kepada siswa untuk menerapkan pengetahuan dan keterampilan yang diperoleh dalam proyek-proyek nyata vietnam.

5.6.5. Jepang: AI Data Centre Talent Development Programme (AITDP)

Program AI *Data Centre Talent Development Programme* (AITDP) adalah program pelatihan yang bertujuan untuk mengembangkan talenta dalam operasi pusat data dan mendukung tujuan nasional untuk pertumbuhan ekonomi berbasis AI dan infrastruktur digital yang tangguh. Program ini memberikan pelatihan komprehensif tentang pusat data, yang mencakup catu daya, sistem pendinginan, jaringan, manajemen operasional, dan aspek teknologi yang sedang berkembang. Program ini akan membekali peserta dengan pengetahuan dan keterampilan untuk memulai karir di industri pusat data.

Pelatihan ini berlangsung selama 3 minggu, dimana peserta akan mengikuti 15 sesi kuliah jarak jauh dengan masing-masing pertemuan selama 1,5 jam, dengan materi mingguan sebagai berikut:

- Minggu ke-1: Pengenalan Konsep Pusat Data AI, mencakup materi dasar-dasar infrastruktur pusat data: sistem tenaga, pendinginan, jaringan, peran dan komponen pusat data.
- Minggu ke-2: Operasional dan Manajemen Pusat Data, mencakup materi Fokus pada operasi, pemeliharaan, waktu aktif/ketersediaan, efisiensi (PUE, desain termal), dan penskalaan.
- Minggu ke-3: Topik Lanjutan dan Jalur Karir pada Bidang Pusat Data, mencakup materi lanjutan terkait teknologi pusat data (misalnya: sistem pendinginan cair, keberlanjutan, beban kerja AI), prospek industri, dan jalur karir di bidang pusat data.

Adapun kriteria peserta pelatihan ini adalah:

- Pelamar harus berdomisili di Jepang.
- Latar Belakang Pendidikan/Pengalaman
    - Memiliki gelar akademik, atau lulus dalam waktu 6 bulan, idealnya di bidang komputasi, teknik, fisika, bisnis, atau bidang serupa; ATAU
    - Telah menyelesaikan pelatihan vokasi/teknis di bidang yang relevan; ATAU
    - Memiliki pengalaman profesional yang setara di bidang terkait (TI, teknik, operasi, infrastruktur, ESG, dll.)

5.6.6. Uni Emirat Arab: AI Summer Camp

Pada tahun 2018, Pemerintah Uni Emirat Arab melalui Menteri Negara untuk AI, Omar bin Sultan Al Olama, meluncurkan sebuah program pengembangan talenta bernama *Artificial Intelligence Summer Camp*. Program ini digagas sebagai bagian dari inisiatif Dewan AI UEA, dengan tujuan membangun generasi muda yang mampu menguasai teknologi canggih dan menjadikannya solusi bagi tantangan masa depan.

Kamp ini menjadi yang pertama di kawasan Arab, dan dirancang untuk mendukung strategi nasional AI yang ingin menempatkan UEA sebagai

negara terdepan dalam penerapan teknologi AI di berbagai sektor vital, mulai dari transportasi, kesehatan, energi terbarukan, hingga pendidikan.

Pelaksanaan kamp dibagi dalam dua fase. Fase pertama dilakukan bersama sektor swasta, dengan dukungan Dubai *Future Accelerators* dan Dubai *Future Academy*. Fase kedua melibatkan sektor pemerintah dan tersebar di seluruh wilayah UEA. Lebih dari 3.500 siswa SMA dan mahasiswa ditargetkan mengikuti kegiatan ini, melalui *workshop* praktis maupun teoritis yang membekali mereka dengan keterampilan masa depan.

Sejumlah mitra strategis turut mendukung program ini, di antaranya Microsoft, IBM, SAP, Careem, Autodesk, Cypron, Ajyal, GEMS Education, dan Eventtus. Masing-masing membawa kontribusi yang berbeda: Microsoft menekankan pentingnya membangun tenaga kerja masa depan yang siap menghadapi revolusi digital; Careem melihat AI sebagai inti dari inovasi layanan; IBM menyoroti lahirnya "*new collar jobs*" yang menuntut keterampilan baru; sementara *GEMS Educatio*n dan *Autodesk* menekankan peran pendidikan dalam menyiapkan generasi yang mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi.

5.6.7. Korea Selatan: AI Talent Development Plan

Pemerintah Korea Selatan memulai langkah besar untuk mempercepat lahirnya tenaga ahli AI. Melalui AI *Talent Development Plan*, Kementerian Pendidikan berencana membangun jalur pendidikan terpadu yang memungkinkan seorang mahasiswa menyelesaikan program sarjana, magister, hingga doktor hanya dalam waktu 5,5 tahun. Ini mempersingkat hampir tiga tahun dari jalur konvensional, yang biasanya memakan waktu delapan tahun.

Inisiatif ini muncul karena kebutuhan yang mendesak, dimana pada tahun 2023 Kementerian Tenaga Kerja Korea Selatan memproyeksikan bahwa pada 2027 akan terjadi kekurangan lebih dari 16.000

profesional AI tingkat tinggi. Industri membutuhkan "AI *doctors*" lebih cepat, dan pemerintah menilai pendidikan adalah kunci untuk menjawab tantangan tersebut.

Sebagai bagian dari program, tiga universitas nasional akan ditetapkan sebagai AI *Hub* Universities dengan dukungan dana masing-masing sebesar 3 miliar won. Selain itu, 400 mahasiswa unggulan akan menerima beasiswa 20 juta won per tahun. Di tingkat sekolah, jumlah sekolah yang fokus pada AI akan ditingkatkan dari 730 menjadi 2.000 pada 2028, dengan jam pelajaran terkait AI diberikan lebih padat dibandingkan sekolah umum. Bahkan sekolah umum pun akan menambah jam pelajaran tentang AI dari 13 menjadi 21 jam per tahun.

Pemerintah juga menyiapkan dukungan khusus bagi *Meister High Schools* yang mengintegrasikan AI dalam pembelajaran, masing-masing akan menerima 500 juta won. Untuk mendukung keseluruhan program, pemerintah mengalokasikan anggaran sebesar 1,4 triliun won pada tahun depan. Dari jumlah itu, 900 miliar won ditujukan untuk pendidikan dasar dan menengah, sementara 500 miliar won untuk pendidikan tinggi. Dengan strategi ini, Korea Selatan berharap dapat mempercepat lahirnya generasi baru pakar AI, memperkuat daya saing industri, dan menempatkan negara sebagai salah satu pemimpin global dalam pengembangan teknologi AI.

Langkah Korea Selatan ini mencerminkan kesadaran bahwa persaingan global di bidang AI tidak lagi hanya soal infrastruktur teknologi, tetapi juga tentang kecepatan dan kualitas dalam mencetak sumber daya manusia yang unggul. Dengan membangun ekosistem pendidikan AI yang terintegrasi dari tingkat sekolah dasar hingga doktoral, Korea Selatan berupaya memastikan bahwa pipeline talenta AI-nya berjalan secara berkelanjutan dan tidak bergantung pada tenaga ahli asing.

Tabel 5.6. Inisiatif Pengembangan Talenta AI di Berbagai Negara

Negara & Program	Target Peserta	Fokus & Kurikulum Utama	Metode Pelaksanaan	*Benefit & Outcome*
Singapura *(AI Apprenticeship Programme - AIAP)*	Warga negara Singapura dengan kualifikasi teknis (*coding*, ML dasar).	*Deep-skilling* teknis: Python, ML *Engineering*, MLOps, *Data Engineering*.	*Apprenticeship* (pemagangan) penuh waktu, intensif, berbasis proyek nyata (*hands-on*), durasi 6-9 bulan.	Tunjangan bulanan 4.000 SGD, sertifikasi industri, tingkat penempatan kerja >90%.
Kanada *(Vector Institute)*	Mahasiswa S2, alumni, dan profesional industri.	Spesialisasi teknis AI inti dan aplikasi komplementer (bisnis/kesehatan), serta etika AI.	Akreditasi program Master, beasiswa, dan magang industri.	Beasiswa $17.500 (VSAI), akses eksklusif ke *Talent Hub* dan rekrutmen mitra industri.
Jepang *(AI Data Centre Talent Development)*	Lulusan/mahasiswa bidang teknik/komputasi atau berpengalaman.	Operasional & manajemen infrastruktur *Data Center* (*power*, *cooling, network*) untuk AI.	Kursus intensif jarak jauh, sesi malam hari.	Bebas biaya, jejaring profesional, dan kesiapan karier di infrastruktur digital.
India *(IndiaAI FutureSkills)*	Pemuda, siswa vokasi (ITI/Politeknik), mahasiswa S1-S3.	Dasar Data & AI, kurasi data, Python, hingga riset inovasi tingkat lanjut.	Pembangunan *Data & AI Labs* di kota *tier* 2/3, *Fellowship* riset, dan model *train-the-trainer*.	Akses infrastruktur (GPU), beasiswa riset (PhD mendapat tunjangan & hibah), demokratisasi akses AI.
Vietnam *(Samsung Innovation Campus)*	Generasi muda usia 12-22 tahun (SMP - Universitas).	IoT, AI, *Big Data*, serta *Coding & Programming*.	*Blended learning* (daring & tatap muka), kompetisi *Innovation Tech Challenge*.	Kesempatan magang di R&D Samsung, beasiswa, dan sertifikasi kursus.
Korea Selatan *(AI Talent Development Plan)*	Pelajar sekolah umum hingga kandidat Doktor.	Kurikulum informasi dan AI yang terintegrasi di sekolah.	Akselerasi studi (S1 hingga S3 dalam 5,5 tahun), penambahan jam pelajaran AI di sekolah.	Peningkatan jumlah "Doktor AI" dan literasi digital dini.
UEA *(AI Summer Camp)*	Siswa SMA dan mahasiswa	Masa depan AI, *Data Science*, Robotika, Etika, Keamanan Siber.	*Summer camp* (Juli-Agustus) berisi *workshop*, *hackathon*, dan kuliah.	Transfer pengetahuan lintas generasi untuk mengadopsi teknologi masa depan.

5.7. Jenjang Kompetensi Talenta AI

Seperti halnya lonjakan permintaan talenta AI secara global, Indonesia turut menghadapi tantangan serupa. Namun, hingga saat ini, Indonesia belum memiliki kerangka kerja standar atau model penjenjangan kompetensi di bidang AI yang dapat menjadi acuan bersama bagi pemerintah, industri, dan lembaga pendidikan. Ketiadaan kerangka tersebut berisiko menimbulkan fragmentasi kebijakan, tumpang tindih program pelatihan, serta ketidaksesuaian antara kebutuhan industri dan kompetensi lulusan.

Oleh sebab itu, pengembangan model penjenjangan karier AI yang terstruktur dan terstandar menjadi langkah strategis untuk memperkuat ekosistem talenta digital nasional. Penjenjangan karier di bidang AI juga diperlukan karena beberapa alasan berikut (Brauner et al., 2025; Gurtov et al., 2023; Somaratne et al., 2025; X. Zhang et al., 2020):

a) Menciptakan standar yang jelas dan transparan mengenai kompetensi yang dibutuhkan pada setiap tingkatan, sehingga seluruh pemangku kepentingan memiliki pemahaman yang selaras.
b) Menjadi acuan bagi lembaga pendidikan dan pelatihan dalam merancang kurikulum yang lebih terarah dan sesuai dengan kebutuhan industri.
c) Memungkinkan pengembangan talenta secara bertahap sesuai tingkat keahlian, dari dasar hingga tingkat lanjut.
d) Membantu profesional AI memahami posisi mereka dalam hierarki kompetensi serta langkah yang perlu diambil untuk pengembangan karir.
e) Memastikan alokasi sumber daya yang lebih efisien, sehingga setiap individu memperoleh pelatihan dan dukungan sesuai kebutuhannya.

f) Memudahkan proses rekrutmen di industri, karena perusahaan dapat menilai kandidat secara lebih cepat dan tepat berdasarkan kompetensi yang telah terstandar.

g) Menjadi dasar dalam penyusunan standar sertifikasi profesi serta perencanaan tenaga kerja berbasis kebutuhan pasar.

Dengan demikian, penjenjangan karir AI yang jelas dan terstruktur menjadi langkah strategis yang sangat penting untuk membangun talenta AI yang kompeten, adaptif, dan berkelanjutan, sekaligus mendukung akselerasi transformasi digital dan pertumbuhan ekonomi berbasis inovasi di Indonesia.

5.7.1. Jenjang Kompetensi Talenta AI dalam Literatur Global

Berbagai lembaga internasional dan penelitian akademik telah mengusulkan kerangka kompetensi untuk mengklasifikasikan talenta AI berdasarkan tingkat kemampuan dan peran profesional.

a) AI *Proficiency Framework* dari Mazzeo (2024)

Menurut Mazzeo (2024), terdapat 4 tingkatan kunci dalam keahlian AI, yaitu *Beginner, Intermediate, Proficient,* dan *Expert.* Setiap tingkat memperlihatkan perbedaan kebutuhan keterampilan yang signifikan. Mazzeo (2024) juga menambahkan satu tingkatan tambahan, yang menunjukkan tingkat dimana pekerja tidak atau belum merasa tertarik atau menyadari kehadiran AI.

1) Tingkat Skeptis AI (*Unaware* dan/atau *Uninterested*)

Pada tingkat ini, pekerja belum mengenal atau belum melihat manfaat nyata dari AI dalam pekerjaan mereka. Mereka masih mengandalkan cara kerja tradisional dan belum merasa perlu beradaptasi dengan teknologi baru. Meski begitu, perlahan-lahan AI mulai masuk ke lingkungan kerja, sering kali lewat

inisiatif pribadi dari rekan yang lebih penasaran terhadap alat seperti *chatbot* atau generator teks otomatis.

2) Tingkat Pemula (*Beginner*)

Pekerja mulai mengenal dunia AI—memahami istilah dasar, prinsip kerjanya, dan potensi penerapannya. Mereka mulai bereksperimen dengan alat yang mudah digunakan seperti ChatGPT, Copilot, dan lain-lain untuk membantu tugas sehari-hari, seperti menulis, meringkas, atau menganalisis data sederhana. Adapun keterampilan kunci yang diperlukan untuk tingkatan ini meliputi:

a. Literasi dasar AI dan pemahaman konsep dasarnya.
b. Kemampuan menggunakan alat AI untuk mendukung produktivitas pribadi.
c. Keingintahuan untuk mencoba dan berbagi pengalaman dengan rekan kerja.

Tahap ini menumbuhkan rasa percaya diri sekaligus membuka wawasan tentang bagaimana AI dapat menjadi mitra kerja yang cerdas.

3) Tingkat Menengah (*Intermediate*)

Pada tahap ini, pekerja tidak hanya mencoba, tetapi mulai menerapkan AI secara strategis dalam pekerjaan mereka. Mereka memahami bagaimana menginterpretasikan hasil AI, mengotomatisasi proses rutin, dan bekerja lintas tim untuk mengoptimalkan kinerja organisasi. Keterampilan kunci yang diperlukan pada tingkatan ini meliputi:

a. Literasi AI dan kelancaran data tingkat menengah (memahami *prompt*, keluaran, serta bias AI).
b. Kemampuan menggunakan AI untuk pemecahan masalah nyata dan efisiensi proses.

c. Kesadaran terhadap isu etika, privasi, dan keamanan data.

d. Kolaborasi dengan tim lintas fungsi untuk implementasi AI.

Pada tahap ini, talenta AI sudah mampu mengubah wawasan berbasis AI menjadi solusi nyata dan hasil yang terukur.

4) Tingkat Mahir (*Proficient*)

Pada tingkatan ini, AI telah menjadi bagian tak terpisahkan dari rutinitas kerja. Pekerja tidak hanya menggunakan AI untuk membantu, tetapi juga berinovasi—mengembangkan ide, produk, atau layanan baru yang berorientasi pada nilai tambah. Mereka menjadi penggerak utama perubahan digital di lingkungan kerja. Keterampilan kunci yang diperlukan pada tingkat ini meliputi:

a. Penguasaan lanjutan dalam penerapan AI dan integrasi lintas sistem atau API.

b. Kemampuan berpikir kritis

c. Kepemimpinan dalam adopsi AI dan peran sebagai mentor bagi rekan kerja.

d. Pemanfaatan AI secara kreatif untuk menciptakan solusi baru dan peluang pasar.

Pada tahap ini, pekerja berperan sebagai "AI *champion*", menjembatani dunia teknis dan non-teknis untuk mendorong kolaborasi dan inovasi.

5) Tingkat Ahli (*Expert*)

Di puncak perjalanan ini, pekerja bertransformasi menjadi inovator dan pemimpin pemikiran (*thought leader*) dalam AI. Mereka tidak hanya mahir menggunakan AI, tetapi juga ikut

membentuk arah dan etika penggunaannya di organisasi maupun industri. Keterampilan kunci pada tingkatan ini meliputi:

a. Kemampuan riset dan pengembangan di bidang AI
b. Visi strategis dalam mengintegrasikan AI ke bisnis dan inisiatif sosial.
c. Kepemimpinan yang etis dan bertanggung jawab dalam penerapan AI.
d. Komitmen terhadap pembelajaran berkelanjutan dan kontribusi dalam komunitas AI.

Pekerja di tingkat ini menjadi arsitek perubahan, yang tidak hanya menguasai teknologi, tetapi juga menuntun orang lain menuju masa depan kerja yang cerdas dan beretika.

b) AI *Proficiency levels* dari *Section* (2025)

Section (2025), sebuah perusahaan konsultan di bidang AI, mengidentifikasi lima tingkat pengguna AI di dunia kerja, yang menggambarkan bagaimana para pekerja berinteraksi, memahami, dan mendapatkan manfaat dari teknologi AI dalam keseharian mereka. Tingkat kecakapan ini bergerak dari kelompok yang sama sekali belum terlibat hingga mereka yang sudah menjadi pakar dan pemimpin inovasi AI di tempat kerja.

1) Tingkatan AI *skeptics* – Belum Terlibat dan Kurang Percaya (≈12%)

Kelompok ini terdiri dari pekerja yang jarang menggunakan AI dan belum melihat manfaat nyata dari teknologi ini. Banyak di antara mereka bekerja di organisasi yang melarang penggunaan AI atau tidak memberikan panduan yang jelas. Mereka hampir tidak ada yang menggunakan AI setiap hari. Minimnya akses terhadap perangkat, pelatihan, dan pemahaman membuat mereka ragu untuk mencoba.

Kebutuhan utama: meningkatkan literasi digital dasar, memahami potensi aplikasi AI, serta membangun kepercayaan terhadap penggunaan AI yang etis dan praktis.

2) Tingkatan AI *Novices* (≈44%)

Ini adalah kelompok terbesar di dunia kerja. Para pemula memiliki paparan terbatas terhadap AI dan hanya menggunakannya sesekali untuk tugas-tugas sederhana, seperti menulis atau mencari informasi. Banyak dari mereka masih cemas terhadap kemungkinan AI menggantikan pekerjaan manusia. Mereka umumnya mengenal chatbot atau asisten AI, tetapi belum memahami sepenuhnya prinsip privasi data dan cara membuat *prompt* yang efektif.

Fokus pengembangan: membangun literasi AI dasar, etika penggunaan data, serta kemampuan menggunakan AI untuk mendukung produktivitas sehari-hari.

3) Tingkatan AI *Eksperimenters* (≈34%)

Kelompok ini terdiri dari pekerja yang mulai bereksperimen dengan AI dalam pekerjaannya, meski masih terbatas pada tugas-tugas rutin dan sederhana. Mereka memiliki rasa ingin tahu tinggi, tetapi belum mengembangkan penggunaan yang konsisten atau mendalam. Banyak diantara pekerja pada tingkatan ini yang merasa sudah mahir, padahal masih perlu bimbingan (fenomena Dunning–Kruger).

Keterampilan yang perlu dikembangkan: kemampuan memberikan *prompt* yang lebih efektif, mengevaluasi hasil AI secara kritis, memahami batasan *tools*, serta memperkuat kolaborasi dan pembelajaran bersama rekan kerja.

4) Tingkat AI *Practitioners* (≈9%)

Praktisi AI sudah menggunakan teknologi ini secara strategis untuk meningkatkan efisiensi, kualitas, dan inovasi

kerja. Mereka biasanya telah mengikuti pelatihan formal dan memanfaatkan AI untuk analisis data, pembuatan konten, atau otomatisasi proses, dan memahami risiko serta aspek tata kelola AI.

Fokus keterampilan: literasi data lanjutan, penerapan AI dalam pekerjaan nyata, evaluasi etis terhadap hasil AI, serta kolaborasi lintas tim untuk pengembangan solusi berbasis AI.

5) Tingkatan AI *Expert* (≈1%)

Pakar AI adalah kelompok paling mahir, sering kali berada di posisi kepemimpinan atau peran strategis. Mereka tidak hanya menggunakan AI, tetapi juga merancang, mengoptimalkan, dan mengintegrasikan teknologi ini dalam berbagai fungsi bisnis. Mereka memiliki akses penuh ke sistem AI perusahaan, pelatihan mendalam, dan kebijakan organisasi yang jelas.

Fokus keterampilan**:** integrasi sistem dan pemanfaatan AI tingkat lanjut, pengambilan keputusan berbasis data dan wawasan AI, serta kepemimpinan yang menjunjung tata kelola dan etika teknologi.

c) AI *Skills for Business Competency Framework* dari The Alan Turing Institute (2024)

Kerangka ini mendefinisikan empat tingkat persona pembelajar yang bersifat progresif—Warga AI, Pekerja AI, Profesional AI, dan Pemimpin AI—yang mencerminkan peningkatan pemahaman, tanggung jawab, serta pengaruh individu terhadap pemanfaatan AI dalam konteks profesional dan sosial.

1) Tingkat 1: AI *Citizens*

Tingkatan ini mencakup mencakup anggota masyarakat atau karyawan yang berinteraksi dengan sistem AI dalam

kehidupan sehari-hari, meskipun tidak terlibat langsung dalam pengembangan atau penerapannya.

Mereka memiliki literasi digital dan data dasar, memahami bagaimana AI hadir dalam berbagai perangkat dan layanan sehari-hari. Mereka mampu berpikir kritis mengenai peran AI dalam masyarakat, mengenali peluang serta risikonya—termasuk isu privasi dan etika.

Fokus utama: Kesadaran terhadap peran sosial AI, literasi digital, serta pemahaman etika dan dampak sosial teknologi.

2) Tingkat 2: AI *Workers*

AI *Workers* adalah individu yang menggunakan teknologi berbasis AI dalam pekerjaan mereka, meskipun tidak secara langsung bekerja di bidang ilmu data atau pengembangan AI.

Mereka memahami bagaimana teknologi AI memengaruhi peran dan industri tempat mereka bekerja. Mereka mampu menggunakan dan mengawasi alat AI secara efektif, menilai keandalan hasilnya, serta menentukan kapan menggunakan solusi terbuka atau sistem internal yang lebih aman. Selain itu, mereka mampu mengidentifikasi peluang untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi kerja melalui penerapan AI.

Fokus utama: Penerapan praktis alat AI, pengawasan etis, serta kesadaran terhadap risiko dan peluang dalam konteks pekerjaan.

3) Tingkat 3: AI *Professionals* – Perancang dan Penggerak Inovasi

AI *Professionals* adalah tenaga ahli yang berfokus pada pengelolaan data, analitik, dan pengembangan sistem berbasis AI.

Mereka menguasai perancangan, pengembangan, dan pemeliharaan sistem AI, serta memiliki keahlian mendalam di bidang teknis seperti ilmu komputer, statistik, atau robotika. Mereka memahami aspek hukum, etika, dan kepatuhan yang relevan, serta mampu menjembatani komunikasi antar tim untuk memastikan transparansi dan akuntabilitas. Profesional AI juga berperan aktif dalam membantu pimpinan mengidentifikasi serta mengelola risiko penggunaan AI, sambil terus memperbarui kompetensi mereka seiring perkembangan teknologi.

Fokus utama: Penguasaan teknis, penerapan yang etis, dan kemampuan kolaborasi lintas disiplin.

4) Tingkat 4: AI *Leaders*– Arsitek Strategi dan Tata Kelola

AI *Leaders* menempati posisi strategis di tingkat manajemen senior yang bertanggung jawab atas tata kelola, etika, dan arah strategis dalam implementasi AI di organisasi.

Mereka memahami bagaimana AI dapat mempercepat pencapaian tujuan dan inovasi organisasi, serta mampu mengantisipasi tren teknologi untuk menyusun strategi AI yang berkelanjutan. Mereka memastikan kepatuhan terhadap aspek hukum, etika, dan regulasi, sekaligus menyeimbangkan risiko dan peluang yang muncul, termasuk dampaknya terhadap tenaga kerja. Selain itu, mereka memimpin kemitraan, kontrak, dan hubungan dengan pemangku kepentingan, serta menumbuhkan budaya kolaboratif dan transparan dalam penerapan AI yang bertanggung jawab.

Fokus utama: Tata kelola strategis, kepemimpinan etis, dan transformasi organisasi berbasis AI.

Tabel 5.7. Perbandingan Kerangka Pemeringkatan Kompetensi AI

Level	Mazzeo (2024)	Section (2025)	The Alan Turing Institute (2024)
Level 0 – Skeptis	Belum mengenal AI; belum memahami manfaatnya; masih mengandalkan cara kerja tradisional.	Tidak percaya atau belum tertarik pada AI; belum memiliki literasi digital dan AI dasar; belum ada kebiasaan menggunakan alat AI.	—
Level 1 – *Beginner/ Novice/Citizen*	Memahami konsep dasar AI dan istilah umum; mulai mencoba alat sederhana (ChatGPT, Copilot, dll.); membangun rasa ingin tahu.	Mulai belajar menggunakan AI untuk tugas sederhana; memiliki kesadaran dasar tentang AI; memahami manfaat dan risiko umum.	Memahami peran AI dalam kehidupan sehari-hari; memiliki literasi digital dan data dasar AI; mengenali isu privasi dan etika.
Level 2 – *Intermediate/ Eksperimente/ Worker*	Mampu menerapkan AI secara strategis untuk pekerjaan rutin; memahami prompt, bias, dan keluaran AI; kolaborasi lintas tim.	Menggunakan AI dalam alur kerja; mengevaluasi hasil dengan lebih kritis; memahami batasan alat; mulai mengintegrasikan AI untuk efisiensi.	Mampu menggunakan alat AI secara efektif dalam pekerjaan; menilai keandalan hasil; memahami batasan dan konteks etika.
Level 3 – *Proficient / Practitioner/ Professional*	Menguasai penerapan AI tingkat lanjut; mampu mengintegrasikan berbagai alat atau API; menjadi mentor dan penggerak inovasi.	Menggunakan AI secara strategis dan efisien; memahami analisis data, otomatisasi, serta tata kelola AI; kolaborasi lintas fungsi.	Merancang dan mengembangkan sistem AI; memiliki keahlian teknis (data science, statistik, dll.); mampu menjembatani tim teknis dan non-teknis.
Level 4 – *Expert/ Leader/Expert*	Inovator; merancang arah penggunaan AI; memiliki kemampuan riset dan visi strategis; menerapkan AI secara etis.	Inovator dan pengambil keputusan strategis; merancang dan mengoptimalkan sistem AI; memimpin transformasi organisasi berbasis AI.	Memimpin tata kelola dan strategi AI; memastikan kepatuhan hukum dan etika; mengantisipasi tren teknologi.

Sumber: Mazzeo (2024), The Alan Turing Institute (2024), Section (2025)

Tabel 5.7 memperlihatkan perbandingan tiga kerangka pemeringkatan kompetensi AI yang dikembangkan oleh Mazzeo (2024), The Alan Turing Institute (2024), dan Section (2025). Setiap model menggambarkan tahapan perkembangan individu dalam menguasai keterampilan dan peran terkait AI, mulai dari tingkat awal yang ditandai dengan minimnya kesadaran atau keterlibatan terhadap teknologi, hingga tingkat tertinggi yang menunjukkan kepemimpinan strategis dan inovasi berbasis AI. Perbandingan ini menunjukkan bahwa meskipun ketiga kerangka memiliki terminologi yang berbeda, seluruhnya menekankan progresivitas kompetensi dari literasi dasar dan kesadaran etis menuju penguasaan teknis, penerapan strategis, dan kepemimpinan transformasional dalam pemanfaatan AI di lingkungan kerja maupun organisasi.

Tabel 5.8. Jenjang karir di bidang AI

Career Path	Level 1: Beginner	Level 2: Intermediate	Level 3: Advanced	Level 4: Expert	Level 5: Leader
AI *Research Scientist*	• Keterampilan dasar pemrograman • Pemahaman prinsip-prinsip AI	• Kemahiran menggunakan pustaka machine *learning* • Menerapkan algoritma standar	• Mengembangkan algoritma baru • Mempublikasikan makalah penelitian	• Menciptakan teknik AI baru • Melakukan riset lintas disiplin	• Memimpin departemen riset AI • Menetapkan agenda penelitian
Machine Learning Engineer	• Pra-pemrosesan data • Pembangunan model dasar	• Penyempurnaan model lanjutan • Rekayasa fitur	• Implementasi *deep learning* • Penerapan model ke sistem	• Merancang • arsitektur sistem ML • Mengoptimalkan skalabilitas	• Merumuskan strategi penerapan ML • Berinovasi dalam aplikasi ML
AI *Product Manager*	• Memahami kapabilitas AI • Perencanaan visi dan peta jalan produk	• Koordinasi antara tim teknik dan bisnis	• Strategi peluncuran produk AI • Desain pengalaman pengguna	• Memimpin dalam arah produk • Analisis pasar	• Menyusun strategi tingkat eksekutif untuk lini produk

Career Path	Level 1: Beginner	Level 2: Intermediate	Level 3: Advanced	Level 4: Expert	Level 5: Leader
					• Membangun visi AI di seluruh perusahaan
Robotics Engineer	• Dasar-dasar robotika dan otomasi • Sistem kontrol	• Integrasi sensor dan aktuator • Platform perangkat lunak robotik	• Merancang sistem robotik cerdas • Persepsi mesin	• Kinematika lanjutan dan kontrol berbasis • AI Interaksi manusia-robot	• Memimpin laboratorium robotika • Mengembangkan solusi robotika spesifik industri
Data Scientist (AI Focus)	• Analisis statistik • Visualisasi data	• Penerapan *machine learning* • Penggunaan *toolkit big data*	• *Deep learning* untuk memperoleh *insight* dari data • Model prediktif tingkat lanjut	• Strategi data berbasis AI • Rekayasa *pipeline* data kompleks	• Memimpin proyek AI berbasis data • Membangun budaya organisasi yang berorientasi data
Ethical AI Advocate	• Kesadaran akan pentingnya etika AI • Pedoman dasar etika AI	• Pengembangan kerangka kerja etika AI • Advokasi kebijakan AI	• Penerapan praktik etika AI	• Menciptakan standar industri untuk etika AI • Berbicara di forum publik	• Memimpin inisiatif global terkait etika AI • Mempengaruhi kebijakan di tingkat luas

Sumber: Coursera (2025)

Sementara itu, Tabel 5.8 memetakan lima jenjang perkembangan karir pada berbagai pekerjaan di bidang AI, mulai dari tingkat *Beginner* hingga *Leader*. Setiap jenjang menggambarkan peningkatan kemampuan dari penguasaan dasar teknis hingga peran strategis yang memengaruhi arah penelitian, pengembangan produk, maupun kebijakan etika AI.

5.7.2. Usulan Jenjang Kompetensi Talenta AI di Indonesia

Secara keseluruhan, pemetaan dan penjenjangan talenta AI yang terstruktur merupakan langkah krusial dalam membangun ekosistem tenaga kerja yang adaptif dan berkelanjutan. Berdasarkan tinjauan literatur, terlihat bahwa perkembangan keterampilan AI bersifat progresif—dimulai dari pemahaman dasar dan kesadaran etis, hingga pada tahap penguasaan teknis serta kepemimpinan strategis dalam pengembangannya. Dalam konteks Indonesia, empat tingkatan utama kompetensi dapat diadopsi, yaitu *Beginner/Novice, Intermediate, Proficient/Practitioner*, dan *Expert*. Keempat tingkatan tersebut mencerminkan perjalanan pembelajaran individu secara bertahap, dari fase literasi dan eksplorasi awal terhadap AI hingga mencapai tingkat penguasaan mendalam dan kemampuan memimpin penerapan strategisnya. Model empat tingkat ini juga dinilai lebih sederhana dan praktis untuk diimplementasikan oleh lembaga pendidikan, industri, maupun pemerintah dalam penyusunan kurikulum, program pelatihan, serta sistem sertifikasi nasional di bidang AI.

a) AI *Beginner*/*Novices*

Pada tahap ini, profesional memahami konsep dasar AI dan mulai mampu mengoperasikan alat atau *library* sederhana. Fokusnya adalah literasi teknologi dan kemampuan menggunakan alat siap pakai untuk tugas-tugas dasar. Kompetensi utama mencakup pemahaman tentang logika algoritma dan struktur data.

b) AI *Intermediate*

Profesional di tahap ini mulai menguasai proses pengembangan model AI secara menyeluruh, dari eksplorasi data hingga evaluasi hasil. Tahap ini merupakan fondasi bagi profesional yang berperan dalam proyek AI skala menengah dan kolaboratif.

c) AI *Proficient* / *Practitioner*

Pada tahap ini, profesional sudah berperan sebagai *engineer atau developer* yang membangun dan mengelola sistem AI yang terintegrasi dengan produk atau proses organisasi. Kemampuan komunikasi lintas fungsi juga menjadi kunci agar solusi AI dapat diadopsi secara efektif oleh organisasi.

d) AI *Expert*

Tahap ini mencakup penguasaan mendalam terhadap teori dan praktik AI, termasuk kemampuan melakukan riset, inovasi algoritma, dan memimpin strategi AI organisasi. Seorang *AI Expert* berperan dalam mengembangkan model baru, mengevaluasi aspek etika, dan memastikan keberlanjutan inovasi AI. Mereka juga berkontribusi terhadap ekosistem AI nasional melalui publikasi, *mentoring*, dan kebijakan.

BAB 6
STRATEGI DAN DESAIN PELATIHAN DAN PENGEMBANGAN TALENTA AI

BAB VI
STRATEGI DAN DESAIN PELATIHAN DAN PENGEMBANGAN TALENTA AI

6.1. Strategi Pengembangan Talenta AI

Perkembangan AI yang semakin cepat dan dampaknya yang kian meluas pada berbagai sektor membuat kebutuhan akan talenta AI tingkat lanjut menjadi semakin penting bagi Indonesia. Bab-bab sebelumnya telah menunjukkan bagaimana AI tidak hanya menghadirkan peluang besar bagi pertumbuhan ekonomi, peningkatan pelayanan publik, dan efisiensi birokrasi, tetapi juga menuntut kesiapan sumber daya manusia yang mampu memahami, mengembangkan, dan menerapkan teknologi ini secara aman dan bertanggung jawab. Penguatan kapasitas talenta lokal merupakan prasyarat strategis untuk mengurangi ketergantungan pada penyedia teknologi global. Talenta AI yang kompeten memungkinkan negara mengembangkan riset, model, serta infrastruktur AI yang sesuai kebutuhan nasional dan tetap menjamin keamanan data. Seperti ditegaskan oleh Ryan (2017) dan Whittaker (2018), keberlanjutan ekosistem AI sangat bergantung pada kemampuan negara mengembangkan kapasitas manusia yang mampu memahami, merancang, dan mengatur teknologi AI secara bertanggung jawab.

Konsep *AI sovereignty* yang dibahas pada Bab 2 menegaskan bahwa kemandirian Indonesia dalam bidang AI sangat ditentukan oleh kualitas SDM nasional. Bab 3 memperlihatkan pesatnya perkembangan teknologi AI, sedangkan Bab 4 menguraikan dampaknya terhadap struktur ekonomi dan ketenagakerjaan. Bab 5 menunjukkan adanya kesenjangan yang semakin lebar antara kebutuhan dan ketersediaan

talenta AI. Kombinasi temuan-temuan ini memperjelas bahwa Indonesia memerlukan upaya terarah untuk memperkuat kompetensi talenta digital tingkat lanjut.

Dalam konteks inilah strategi dan desain pelatihan talenta AI tingkat lanjut menjadi sangat penting, terutama dari perspektif BPSDM Komunikasi dan Digital (Komdigi). Hal ini sesuai dengan amanat Peraturan Presiden Nomor 174 Tahun 2024 tentang Kementerian Komunikasi dan Digital, Pasal 6 huruf f menetapkan bahwa pengembangan sumber daya manusia komunikasi dan digital merupakan salah satu fungsi kementerian. Lebih lanjut, Pasal 30 menegaskan bahwa tugas pengembangan talenta digital dilaksanakan oleh BPSDM Komdigi. Dengan landasan regulasi ini, BPSDM Komdigi melalui Pusat Pengembangan Talenta Digital memiliki mandat yang jelas untuk merumuskan dan menyelenggarakan pelatihan yang mampu menjawab kebutuhan strategis tersebut.

Sejalan dengan mandat tersebut, efektivitas pelatihan talenta AI tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan kurikulum, tetapi juga oleh kesesuaian antara desain program dengan kebutuhan nyata di lapangan. Pendekatan pelatihan perlu bersifat adaptif, berbasis kompetensi, dan berorientasi pada praktik, sehingga peserta tidak sekadar memahami konsep teoritis, tetapi juga mampu menerapkan keahlian AI dalam konteks pekerjaan dan layanan publik yang sesungguhnya.

Untuk memastikan strategi pelatihan yang efektif dan tepat sasaran, langkah awal yang perlu dilakukan adalah memetakan *Strengths, Weakness, Opportunities, and Threats* (SWOT) dari BPSDM Komdigi, yaitu mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman lembaga. Hasil pemetaan ini menjadi fondasi dalam merumuskan strategi dan desain pelatihan yang komprehensif, realistis, dan selaras dengan prioritas pembangunan nasional.

Tabel 6.1. Pemetaan SWOT

Strengths (Kekuatan)	
a)	Mandat kelembagaan dan dukungan regulasi yang jelas BPSDM Komdigi memiliki dasar hukum (Perpres No.174/2024 Pasal 6 dan Pasal 30) yang menjadikannya lembaga yang berwenang mengembangkan SDM digital. Mandat ini mempermudah koordinasi antar-kementerian/lembaga dan legitimasi alokasi anggaran.
b)	Memiliki alokasi anggaran untuk pengembangan talenta digital Sesuai fungsinya dalam pengembangan SDM komunikasi dan digital, BPSDM Komdigi memiliki anggaran khusus untuk melaksanakan tugas tersebut.
c)	Berpengalaman dalam program pelatihan SDM digital Sebagai badan pengembangan SDM, BPSDM memiliki pengalaman penyelenggaraan pelatihan talenta digital berskala nasional.
d)	Lingkup peserta pelatihan yang lebih luas Berbeda dengan instansi lain yang hanya dapat menyelenggarakan pelatihan digital bagi SDM internal, BPSDMP Komdigi memiliki kewenangan untuk membuka pelatihan SDM digital yang dapat diikuti oleh peserta dari luar instansi.
Weaknesses (Kelemahan)	
a)	Keterbatasan instruktur dan pengembang kurikulum AI tingkat lanjut Ketersediaan *trainer* yang kompeten pada AI tingkat lanjut masih rendah, sehingga sulit menghasilkan pelatihan berkualitas tinggi secara masif.
b)	Keterbatasan fasilitas pelatihan Pelatihan AI lanjutan memerlukan infrastruktur komputasi (GPU, *cloud*), dan lingkungan *sandbox* yang aman.
c)	Keterbatasan *real case* dan data riil dalam pelatihan Salah satu tantangan utama dalam pelatihan AI tingkat lanjut adalah keterbatasan *real case* dan data riil untuk proyek pembelajaran. Padahal, studi kasus nyata sangat penting untuk melatih kemampuan teknis dan analitis peserta, terutama pada topik seperti *machine learning, natural language processing, computer vision*, dan *generative* AI.
Opportunities (Peluang)	
a)	Permintaan talenta AI yang sangat tinggi dari sektor publik dan privat Kebutuhan kompetensi AI di pemerintah, BUMN, *startup*, dan korporasi membuka peluang besar bagi program pelatihan bersertifikat nasional.
b)	Potensi kemitraan baik nasional maupun internasional Potensi kerja sama dengan instansi pemerintah lain, lembaga internasional, universitas, dan swasta dalam hal penyediaan instruktur, sarana dan prasarana pelatihan, data, *real case*, dan finansial.
c)	Momentum kebijakan nasional yang mendukung transformasi digital Kebijakan dan program pemerintah lainnya dapat sinkron dengan strategi pengembangan talenta AI.
Threats (Ancaman)	
a)	Perpindahan talenta ke luar negeri (*brain drain*) Talenta terlatih mungkin langsung direkrut oleh perusahaan di luar negeri sehingga manfaat bagi Indonesia terbatas.
b)	Perkembangan teknologi yang sangat cepat Kurikulum bisa cepat ketinggalan jika tidak ada mekanisme pembaruan yang responsif.
c)	Isu etika, keamanan, dan tata kelola data Risiko penyalahgunaan AI, kebocoran data, atau penerapan AI tanpa tata kelola yang baik dapat menimbulkan resistensi publik dan regulasi yang restriktif.
d)	Keterbatasan anggaran berkelanjutan Ketergantungan pada proyek atau bantuan temporer tanpa pendanaan berkelanjutan melemahkan kesinambungan program

Tabel 6.1 menyajikan pemetaan SWOT dari perspektif BPSDM Komdigi dalam penyelenggaraan pengembangan talenta AI tingkat lanjut. Berdasarkan hasil pemetaan SWOT, strategi utama yang perlu dijalankan adalah pengembangan Program Talenta AI Tingkat Lanjut yang berstandar nasional dan internasional. Program ini ditujukan untuk menghasilkan talenta AI yang kompeten, siap diterapkan, dan mampu menjawab kebutuhan serta tantangan di sektor publik maupun swasta. Strategi ini dirancang untuk memaksimalkan kekuatan BPSDM Komdigi, mengatasi berbagai kelemahan, memanfaatkan peluang yang tersedia, serta mengantisipasi potensi ancaman secara lebih terukur. Berikut adalah strategi-strategi yang dapat dijalankan secara lebih terperinci:

a) Mengembangkan pusat-pusat pengembangan talenta AI
   BPSDM Komdigi dapat memanfaatkan mandat kelembagaannya untuk mengkoordinasikan pusat-pusat pengembangan talenta AI nasional tingkat lanjut. Dalam pelaksanaanya, pembangunan pusat-pusat ini dapat dilakukan melalui kemitraan dengan perguruan-perguruan tinggi dalam negeri dan pusat-pusat riset nasional yang memiliki jurusan dan/atau laboratorium terkait dengan AI.

b) Memperkuat kapasitas instruktur dan pengembang kurikulum
   Ketersediaan instruktur dan kurikulum AI tingkat lanjut masih menjadi tantangan besar. Karena itu, BPSDM Komdigi perlu menyusun strategi *capacity building* yang lebih sistematis, antara lain melalui program *train-the-trainer*, *industry immersion*, dan magang instruktur di pusat-pusat riset global. Penguatan kapasitas instruktur juga dapat dilakukan dengan menggandeng para ahli AI dari kalangan diaspora, serta menjalin kemitraan dengan perusahaan teknologi seperti Google, AWS, Microsoft, dan OpenAI, maupun dengan pusat riset AI internasional.

Keterlibatan para ahli ini sekaligus penting dalam proses pengembangan kurikulum yang berkesinambungan agar pembinaan talenta AI di Indonesia selalu selaras dengan perkembangan teknologi AI yang paling mutakhir (*frontier*).

c) Meningkatkan infrastruktur pelatihan
Pengembangan talenta AI tingkat lanjut memerlukan GPU, klaster komputasi, *cloud computing*, serta *sandbox* pengembangan model. Infrastruktur ini dapat dibangun melalui investasi pemerintah dan optimalisasi fasilitas komputasi nasional. Selain itu, BPSDM dapat bermitra dengan penyedia *cloud* global (AWS, Google Cloud, Azure) dan penyedia *cloud* domestik (Telkom Sigma, Indonesia Cloud), bekerja sama dengan BRIN atau Pusat Data Nasional (PDN) untuk pemanfaatan HPC nasional, serta berkolaborasi dengan BUMN strategis untuk penyediaan data dan fasilitas komputasi.

d) Mengembangkan pembelajaran berbasis proyek dan data riil
BPSDM perlu mengintegrasikan metode *project-based learning* dan *dataset* riil agar peserta bekerja dengan permasalahan-permasalahan di dunia nyata. Hal ini dapat diwujudkan melalui kolaborasi dengan K/L seperti Badan Gizi Nasional (BGN) untuk data Makan Bergizi Gratis (MBG), Dukcapil untuk data kependudukan anonim, Kemenkeu untuk data fiskal, BPJS untuk data kesehatan, serta BUMN (Bank Mandiri, Telkom, PLN). Selain itu, kerja sama juga dapat dilakukan dengan industri untuk menghadirkan skenario kasus nyata di sektor swasta. Kemitraan data ini mengatasi kelemahan kurangnya kasus nyata dan *dataset* yang siap pakai digunakan untuk pengembangan talenta AI.

e) Mengintegrasikan modul etika, keamanan, dan tata kelola AI
Modul etika dan tata kelola AI menjadi komponen wajib bagi pengembangan talenta AI. Untuk memperkaya modul ini,

BPSDM dapat bermitra dengan instansi atau organisasi nasional, serta berkolaborasi dengan lembaga internasional untuk mengadopsi *best practices* global. Kolaborasi ini mengatasi kelemahan berupa minimnya referensi dan pengalaman lokal terkait etika, keamanan, dan tata kelola AI.

f) Mengembangkan skema retensi dan pemanfaatan talenta

Untuk memastikan talenta yang telah dilatih tetap dimanfaatkan secara optimal, BPSDM perlu memiliki mekanisme retensi dan penempatan. Strategi ini dapat diperkuat melalui kerja sama dengan KemenPANRB untuk integrasi dengan sistem karier ASN, bermitra dengan BUMN, dan sektor swasta untuk program *job placement*. Kolaborasi ini mengatasi kelemahan berupa risiko *brain drain* dan kurangnya jalur pemanfaatan talenta di sektor publik.

g) Mendorong diversifikasi dan keberlanjutan pendanaan

Keberlanjutan program pelatihan AI sangat bergantung pada pendanaan jangka panjang. Hal ini dapat diantisipasi dengan melakukan kolaborasi dengan industri untuk *co-funding* pengembangan talenta AI, mengakses hibah internasional, serta bermitra dengan BUMN untuk skema *corporate social responsibility* (CSR) berbasis pengembangan talenta digital. Pendanaan kolaboratif ini mengatasi kelemahan terkait ketergantungan pada APBN.

Berdasarkan strategi yang telah diuraikan, jelas bahwa kolaborasi dengan berbagai mitra merupakan elemen kunci dalam memastikan keberhasilan pengembangan talenta AI tingkat lanjut. Tabel 6.2 berikut menyajikan ringkasan mitra-mitra strategis beserta peran utama masing-masing dalam mendukung upaya tersebut.

Tabel 6.2. Mitra Strategis dan Perannya di Dalam Pengembangan Talenta AI Nasional

Kategori Mitra Strategis	Peran
Perguruan Tinggi	Riset AI, pengembang kurikulum, pengembangan kapasitas dosen terhadap hasil kajian terkini AI, penyedia lab & tenaga ahli, serta penyediaan bibit talenta AI Nasional
BUMN	Penyedia data, fasilitas komputasi, penyedia use case sesuai sektornya, CSR, dan penempatan kerja.
Perusahaan Teknologi (Nasional & Global)	Dukungan teknologi, sertifikasi, *train-the-trainer*, magang instruktur, akses *cloud*/GPU.
Lembaga Riset (Nasional & Internasional)	Transfer pengetahuan *frontier*, kolaborasi riset, magang instruktur, akses HPC.
Diaspora AI Indonesia	Mentor ahli, pengajar tamu, pengembang kurikulum.
Kementerian/Lembaga Pemerintah	Penyedia use case pada sektor publik, penyedia data riil, standar keamanan & etika AI, regulasi, tata kelola.
Organisasi Internasional	*Best practices global*, kerangka etika, akses hibah.
Industri & Swasta	Penyedia kasus nyata pada sektor industri, *internship*, *co-funding*, peluang karier.
Lembaga Donor & Hibah	Pendanaan pelatihan dan pengembangan kapasitas.

Dengan strategi ini, BPSDM Komdigi tidak hanya dapat mengembangkan talenta AI yang unggul secara teknis, tetapi juga membangun ekosistem kolaboratif yang melibatkan intansi pemerintah, perguruan tinggi, industri, dan lembaga internasional. Strategi ini diharapkan menghasilkan talenta bersertifikat nasional dan internasional, siap menghadapi kebutuhan sektor publik maupun privat, serta mampu berkontribusi pada transformasi digital Indonesia secara berkelanjutan.

6.2. Pendekatan Pengembangan Talenta AI

Berdasarkan pemetaan program pengembangan talenta AI di Indonesia seperti yang telah di paparkan di bab 5, ditemukan berbagai penyelenggaraan program pendidikan, baik pendidikan formal di pendidikan tinggi yang diselenggarakan secara jangka panjang, maupun pendidikan informal jangka pendek dan menengah yang diselenggarakan oleh pihak institusi pemerintah, pihak swasta maupun *AI Cente*r di berbagai kampus di Indonesia. Namun proyeksi kebutuhan talenta digital terus meningkat, sementara kapasitas pengembangan SDM AI masih terbatas, sehingga menghambat kesiapan nasional dalam memanfaatkan teknologi AI secara optimal. Selain itu, teridentifikasinya beberapa kesenjangan dari sistem pendidikan baik formal dan informal yang sudah di bahas pada bab 5, menunjukkan adanya kebutuhan bentuk pelatihan yang dapat melengkapi kekurangan program-program yang sudah ada. Oleh karena itu, bab ini akan dibahas mengenai pendekatan dan alternatif solusi pengembangan talenta AI melalui jalur pelatihan informal yang dapat diterapkan untuk memenuhi kekurangan pemenuhan kebutuhan Talenta AI dari program-program yang telah ada. Bahasan pada sub bab ini mencakup materi pelatihan, metode pelatihan, tutor pelatihan dan sarana prasarana hingga membahas periode waktu yang dibutuhkan untuk pelaksanaan pelatihan.

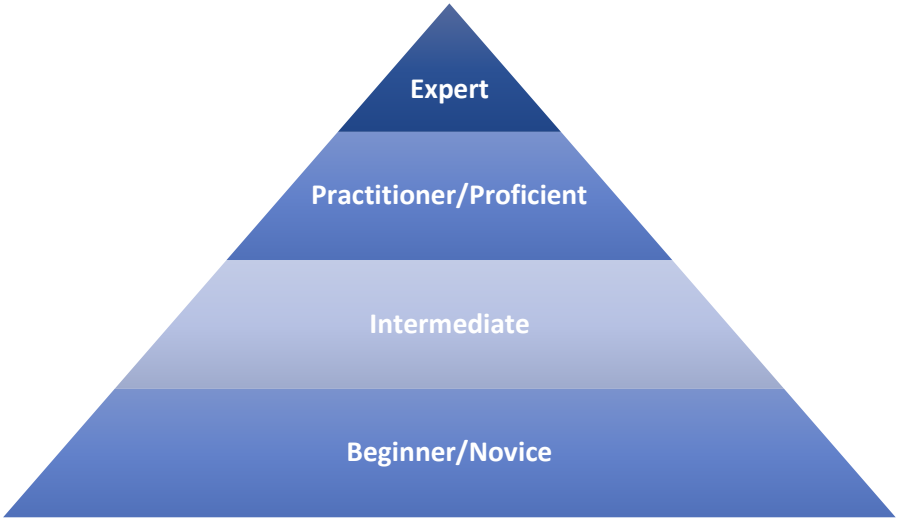
6.2.1. Jenjang Kompetensi Talenta AI

Dalam desain pengembangan talenta AI, penjenjangan kompetensi menjadi elemen penting untuk memastikan bahwa proses pembelajaran berlangsung secara bertahap, sistematis, dan selaras dengan tuntutan dunia kerja modern. Berdasarkan telaah pustaka pada sub bab 5.7.2, kompetensi AI dapat diklasifikasikan ke dalam empat jenjang utama, yaitu *beginner/novice, intermediate, practitioner/proficient*, dan *expert* (Mazzeo, 2024; Section, 2025; The Alan Turing Institute, 2024). Penjenjangan ini memberikan struktur

yang jelas mengenai perkembangan kemampuan yang perlu dicapai oleh talenta AI mulai dari level dasar hingga tingkat keahlian tertinggi.

Kerangka piramida Miller memberikan pemahaman konseptual mengenai bagaimana jenjang kompetensi tersebut berkembang secara bertahap. Miller (1990) menggambarkan progres kompetensi melalui empat tingkatan (*knows*, *knows how*, *shows how*, dan *does*) dengan penekanan bahwa kompetensi utama tercermin pada kemampuan demonstratif (*shows how*) dan performatif (*does*) dalam konteks nyata. Pada piramida ini, level terbawah (*knows*) berfungsi sebagai fondasi yang mencerminkan penguasaan pengetahuan dasar, sementara tahap-tahap di atasnya menunjukkan peningkatan kompleksitas serta orientasi terhadap praktik. Semakin ke atas piramida, kompetensi yang dituntut menjadi lebih mendalam dan aplikatif, mulai dari memahami penerapan (*knows how*), mendemonstrasikan keterampilan (*shows how*), hingga menerapkan keterampilan tersebut secara konsisten dalam lingkungan nyata (*does*).

Jika dikaitkan dengan jenjang kompetensi talenta AI, struktur piramida ini menggambarkan hubungan hierarkis yang selaras. *Beginner/novice* menempati bagian bawah piramida karena fokusnya pada pemahaman dasar, diikuti oleh *intermediate* dan *practitioner/proficient* yang menunjukkan peningkatan kemampuan analitis dan praktis. Pada puncak piramida, jenjang *expert* menggambarkan kemampuan untuk menerapkan dan mengintegrasikan teknologi AI dalam konteks dunia nyata secara konsisten dan inovatif. Visualisasi hubungan antara keempat jenjang kompetensi tersebut dengan piramida Miller disajikan pada Gambar 6.1. Struktur ini juga menekankan bahwa setiap jenjang kompetensi bersifat bertahap dan saling bergantung satu sama lain dalam proses pengembangan kemampuan. Dengan demikian, peningkatan kompetensi tidak hanya ditentukan oleh penguasaan teori, tetapi juga oleh pengalaman praktis dan penerapan berkelanjutan dalam berbagai konteks.



Gambar 6.1 Jenjang Kompetensi Talenta AI

Keempat level kompetensi (*Beginner, Intermediate, Proficient, dan Expert*) yang ditampilkan pada Gambar 6.1 menunjukkan perjalanan progresif dari literasi hingga kepemimpinan strategis dalam AI.

a) AI *Beginner / Novice*

Pada level ini, talenta memahami prinsip dasar AI dan mampu menggunakan alat atau pustaka sederhana. Fokusnya adalah membangun literasi teknologi dan keterampilan dasar, termasuk pemahaman logika algoritma dan struktur data.

b) AI *Intermediate*

Talenta pada tahap ini mulai mampu mengelola seluruh proses pengembangan model AI, dari eksplorasi data hingga evaluasi hasil. Level ini menjadi fondasi bagi kontribusi dalam proyek AI berskala menengah dan kolaboratif.

c) AI *Proficient / Practitioner*

Pada level ini, talenta berperan sebagai *engineer* atau *developer* yang membangun dan mengelola sistem AI yang terintegrasi dengan produk atau proses organisasi. Kemampuan

berkomunikasi lintas fungsi penting agar solusi AI dapat diadopsi secara efektif.

d) AI *Expert*

Talenta pada tahap ini menguasai teori dan praktik AI secara mendalam, mampu melakukan riset, inovasi algoritma, serta memimpin strategi AI di organisasi. Mereka berperan dalam pengembangan model baru, evaluasi aspek etika, memastikan keberlanjutan inovasi, serta berkontribusi pada ekosistem AI nasional melalui publikasi, *mentoring*, dan kebijakan.

6.2.2. Materi Pelatihan

Dalam menyiapkan talenta AI yang memenuhi standar kompetensi yang dibutuhkan, terdapat beberapa komponen materi pembelajaran yang dibutuhkan, tidak hanya fokus pada komponen *skill* teknis semata namun juga beberapa komponen pengetahuan interdisipliner, dan juga *soft skill*. Ketiga komponen tersebut saling melengkapi untuk membangun talenta AI dengan standar AI *Intermediate* hingga *advanced* yang sudah siap bekerja secara *professional* untuk mengembangkan, menerapkan, dan mengelola sistem AI canggih secara efektif, mengatasi tantangan teknis dan etika sambil mendorong inovasi dan kolaborasi (Ashofteh & Bravo, 2021; Darwich, 2025; Ondrusch & Quandt, 2025; Shekhar et al., 2024). Namun demikian, kebutuhan materi pelatihan tertentu khususnya kompetensi teknis bisa jadi sangat fleksibel karena perkembangan teknologi AI yang begitu pesat. Oleh karena itu, untuk antisipasi dibutuhkan adanya *Curriculum Advisory Board* yang bertugas untuk memutakhirkan kurikulum secara berkala, sesuai dengan perkembangan teknologi AI dan kebutuhan pasar. Pada saat ini, materi pelatihan wajib yang dibutuhkan adalah seperti yang dijelaskan pada sub bahasan berikut.

Kompetensi Teknis

Berdasarkan kajian pemetaan pendidikan AI, baik secara formal maupun informal, saat ini terdapat beberapa materi wajib yang harus diajarkan untuk membentuk talenta AI yang cakap. Kompetensi teknis umumnya mencakup materi terkait analisis data dan pembelajaran mesin (*Data Analytics and Machine Learning*), Pengembangan *Software* (*Software Development*), Teknologi *Big Data* (*Big Data Technologies*) dan Keamanan Siber (*Cybersecurity*). *Tools* dan atau bahasa pemprograman tertentu wajib dikuasai oleh para talenta AI, karena dibutuhkan oleh hampir semua profesi yang berkaitan dengan AI seperti data analis, *data engineer*, *AI engineer*, *business intelligence* analis dan profesi terkait lainnya. Bahasa Pemograman yang wajib dikuasai adalah SQL dan Python. Bahasa pemprograman lain bisa menjadi nilai tambah, seperti R. Untuk *tool* yang perlu dikuasai dalam *machine learning* adalah Pytorch dan TensorFlow. Sedangkan untuk visualisasi data dapat digunakaan *tool* Tableau, Power BI dan Excel. Beberapa *tool* lain yang disarankan untuk dipelajari adalah Oracle, Spark, dan lain-lain sesuai kebutuhan untuk profesi tertentu yang lebih spesifik.

Dari pemetaan kurikulum pada bab 5 dapat terlihat pula bahwa kompetensi teknis umumnya hampir mencakup keseluruhan kompetensi yang telah disebutkan, namun untuk kompetensi terakhir yaitu *cybersecurity* masih belum banyak dimasukkan dalam kurikulum di beberapa jurusan AI di berbagai kampus di Indonesia. Padahal *cybersecurity* merupakan bagian intergral dari implementasi AI yang tidak bisa diabaikan. Mengacu pada fakta bahwa data merupakan sumber daya yang krusial bagi AI, maka *cybersecurity* harus menjadi kebutuhan utama untuk memastikan tidak adanya pelanggaran *data privacy* ataupun *data breach* dan yang sejenisnya, yang menjadi hak pengguna.

Pengetahuan Interdisipliner

Pengetahuan interdisipliner mencakup dua hal utama yaitu etika dan *skill* kreativitas, serta pengetahuan yang spesifik berdasarkan domain implementasi AI (*domain-specific knowledge*). Keduanya merupakan elemen yang sangat penting dalam pengembangan talenta AI, sebagaimana telah ditunjukkan oleh berbagai penelitian terkini di bidang pendidikan dan teknologi. Pembelajaran etika merupakan elemen fundamental dalam pelatihan talenta AI karena teknologi AI memiliki potensi memengaruhi kehidupan publik secara luas dan menghadirkan risiko sosial yang signifikan. Pemahaman yang kuat mengenai prinsip *fairness*, *accountability*, *transparency*, dan *privacy* diperlukan untuk memastikan bahwa sistem AI dirancang dan diimplementasikan secara bertanggung jawab (Inamdar & Kumar, 2025; Morley et al., 2020; Ramírez-Gordillo et al., 2026). Tanpa fondasi etika yang memadai, pengembang AI berisiko menghasilkan model yang bias, tidak transparan, dan berpotensi menimbulkan dampak sosial yang merugikan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pendidikan etika membantu praktisi mengenali bias dalam data, memahami implikasi sosial dari otomatisasi, serta menilai konsekuensi moral dari keputusan algoritmik (Jobin et al., 2019; Mittelstadt, 2019).

Selain itu, pelatihan etika memperkuat kepercayaan publik terhadap teknologi AI, terutama dalam domain berisiko tinggi seperti kesehatan, keuangan, dan kebijakan publik. Studi-studi mutakhir menegaskan bahwa integrasi etika ke dalam kurikulum AI meningkatkan kompetensi peserta dalam menangani dilema etis dan meningkatkan kemampuan mereka menerapkan prinsip *responsible* AI dalam praktik profesional (Floridi & Cowls, 2019; Morley et al., 2020). Oleh karena itu, pembelajaran etika tidak hanya memperkaya kompetensi teknis, tetapi juga memastikan bahwa inovasi AI selaras dengan nilai-nilai sosial dan kerangka regulasi internasional.

Sedangkan pengetahuan spesifik berdasarkan domain implementasi AI dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi integrasi pengetahuan dan memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap topik-topik kompleks dimana AI akan diaplikasikan (L. Li et al., 2025). Pendekatan ini memastikan bahwa model AI yang dikembangkan tidak hanya mengandalkan data, tetapi juga berlandaskan prinsip-prinsip ilmiah yang relevan dan sesuai dengan konteks domain dimana model AI tersebut diterapkan (Bonwell & Eison, 1991; Hofstein & Lunetta, 2004).

Complementary Soft Skill

Selain kompetensi teknis dan pengetahuan interdisipliner, beberapa *soft skill* dibutuhkan untuk memberikan kemampuan dasar bagi talenta AI profesional dalam bekerja. Beberapa *soft skill* yang dibutuhkan diantaranya komunikasi dan kerja tim (*Communication and Teamwork*), kemampuan memecahkan masalah dan berfikir kritis dan kemampuan adaptif. Kemampuan komunikasi dan kerja tim sangat penting untuk berkolaborasi dalam membangun model AI dan juga ketika mengartikulasikan konsep teknis kepada berbagai stakeholder (Darwich, 2025; Shumeiko & Osadcha, 2024). Kemampuan memecahkan masalah dan berfikir kritis (*Problem-Solving and Critical Thinking*) dibutuhkan karena proyek AI seringkali memaksa talenta AI berhadapan dengan masalah yang kompleks. Memiliki kedua kemampuan tersebut dibutuhkan untuk dapat menavigasi kompleksitas proyek dan juga mengoptimalisasi performa kerja untuk menjawab tantangan dan menemukan solusi yang inovatif terkait AI (Cardon & Marshall, 2025; Darwich, 2025). Sedangkan kemampuan adaptif (*Adaptability*) dibutuhkan karena AI berkembang sangat pesat yang membutuhkan talenta AI untuk mampu beradaptasi dan berkomitmen untuk terus menerus belajar agar selalu *up to date* dengan perkembangan AI (*long life learner*) (Cardon & Marshall, 2025; Darwich, 2025). Secara ringkas, komponen kemampuan atau *skill* yang

dibutuhkan untuk diajarkan dalam pelatihan yang bertujuan mengembangkan talenta AI ditampilkan pada Tabel 6.3.

Tabel 6.3. Komponen Keterampilan dan Pengetahuan Yang Dibutuhkan Untuk Pengembangan Talenta AI

No	Kategori *Skill*	Komponen	Sub Komponen	Tujuan Pembelajaran	Referensi
1	Kompetensi Teknis	*Data Analytics and Machine Learning*	Menguasai bahasa pemprogramman seperti SQL dan Python menjadi wajib. Peserta juga harus familiar dengan kerangka pembelajaran mesin seperti TensorFlow dan PyTorch	Menguasai analisis data & pembelajaran mesin termasuk memahami algoritma, *data preprocessing*, *model training* dan evaluasi	(Ashofteh & Bravo, 2021)
	Software Development		Untuk *prototyping* dan *deployment*, termasuk menguasai *low-code* dan *no-code* AI *solutions*	Menguasai *skill* pengembangan *software* tingkat lanjut (*advanced*), termasuk kemampuan dalam menguasai *coding, debugging*, dan *software lifecycle management*	(Darwich, 2025; Shekhar et al., 2024)
	Cybersecurity		Memahami prinsip-prinsip *cybersecurity* untuk melindungi kerentanan system AI dan memastikan integritas dan privasi data		(Darwich, 2025)
	Big Data Technologies		*Skill* dalam menangani dan memproses *dataset* yang besar menggunakan teknologi seperti Hadoop, Spark, dan *platform cloud*		(Ashofteh & Bravo, 2021)

No	Kategori *Skill*	Komponen	Sub Komponen	Tujuan Pembelajaran	Referensi
2	Pengetahuan Interdisipliner	*Ethical and Creative Skills*	• Mampu merefleksikan implikasi etis dari pekerjaan dan membuat keputusan yang tepat tentang kesesuaian aplikasi AI • Creativitas dalam mendesain Sistem Ai yang efektif dan *user-friendly* • Dapat berkolaborasi dengan desainer dan *ethicists*		(Ondrusch & Quandt, 2025)
	Domain-Specific Knowledge		Memahami domain tertentu yang spesifik sesuai bidang Dimana AI diaplikasikan, untuk memastikan solusi AI yang diberikan berdampak dan relevan		(Buyones-Gonzalez & Quezada-Espinoza, 2024a; Darwich, 2025; Shekhar et al., 2024)
3	*Complementary Soft Skill*	*Communication and Teamwork*	Mampu berkomunikasi efektif dan kerja tim yang penting untuk berkolaborasi dengan tim interdisipliner dan berbagai *stakeholder* agar dapat mengartikulasikan konsep teknis yang kompleks kepada audiens yang non teknis		(Darwich, 2025; Shumeiko & Osadcha, 2024)
	Problem-Solving and Critical Thinking		Memiliki kemampuan pemecahan masalah dan berfikir kritis yang kuat agar dapat menavigasi kompleksitas proyek AI dan mengoptimalisasi performa kerja untuk menjawab tantangan dan menemukan Solusi yang inovatif terkait AI		(Cardon & Marshall, 2025; Darwich, 2025)
	Adaptability		Memiliki kemampuan adaptasi dan berkomitmen untuk terus menerus belajar agar selalu *up to date* dengan perkembangan AI (*long life learner*)		(Cardon & Marshall, 2025; Darwich, 2025)

6.2.3. Metode Pembelajaran

Berdasarkan pemetaan metode pembelajaran pada berbagai program yang ada seperti yang dibahas pada bab sebelumnya, ditemukan berbagai metode pembelajaran yang telah digunakan oleh program strata 1, strata 2 maupun pelatihan informal untuk dapat menyampaikan materi. Meskipun dalam pendidikan formal, metode yang dominan digunakan umumnya pembelajaran *lecture-based learning* yang mengandalkan pendekatan *non-experiential,* namun beberapa mata kuliah atau pelatihan di beberapa kampus dan *courses*, sudah menggunakan metode *Hands-on learning*, seperti *project - based learning*, *problem-based learning,* magang, dan lain-lain yang memfasilitasi peserta untuk belajar melalui pengalaman secara langsung. *Hands-on learning* adalah metode pembelajaran yang menekankan keterlibatan langsung peserta didik melalui aktivitas praktis, eksperimen, atau tugas nyata yang memungkinkan mereka *learning by doing*. Berbeda dari pembelajaran pasif seperti ceramah, metode ini menempatkan mahasiswa sebagai aktor aktif yang memanipulasi objek, menjalankan prosedur, membuat keputusan, dan memecahkan masalah dunia nyata. Secara teori, pendekatan ini berakar pada tiga teori besar dalam dunia pendidikan yaitu pertama teori konstruktivisme dari Piaget dan Vygotsky yang menekankan prinsip bahwa pengetahuan dibangun melalui pengalaman. Teori kedua adalah *Experiential Learning Theory* dari Kolb (1984) yang menekankan pada pembelajaran efektif yang terjadi melalui siklus pengalaman langsung, refleksi, konseptualisasi, dan eksperimen. Teori yang ketiga adalah *Active Learning* (Bonwell & Eison, 1991; Hofstein & Lunetta, 2004) yang menekankan pada prinsip pembelajaran aktif untuk meningkatkan retensi, pemahaman, dan motivasi.

Kegiatan *Hands-on learning* sangat efektif untuk pengembangan keterampilan teknis sekaligus meningkatkan berbagai *softskill* yang dibutuhkan seperti kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kolaborasi. Karena itu, metode ini banyak diadopsi dalam

pendidikan STEM, vokasi, teknik, kesehatan, termasuk pembelajaran AI dan *data science* yang bertujuan untuk membentuk Talenta AI. Russel et al. (2005) juga menekankan bahwa pembelajaran AI sangat cocok diajarkan melalui kegiatan pembelajaran berbasis pengalaman melalui penerapan pada masalah-masalah yang menantang.

Berikut ini beberapa jenis *hands-on learning* yang dipetakan berdasarkan berbagai referensi, seperti yang ditampilkan pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4. Jenis-jenis *Hands-on Learning*

No	Jenis Hands-On Learning	Deskripsi Singkat	Contoh Kegiatan	Referensi
1	*Laboratory-Based Learning*	Pembelajaran melalui eksperimen langsung di laboratorium fisik maupun digital	Praktikum AI/ML, eksperimen sains, lab simulasi virtual	(Hofstein & Lunetta, 2004)
2	*Project-Based Learning* (PjBL)	Pembelajaran melalui proyek autentik dan kompleks	Membangun aplikasi AI, robotika, proyek IoT	(Thomas, 2000); (Zewde, 2025)
3	*Problem-Based Learning* (PBL)	Pembelajaran dimulai dari masalah dunia nyata	Studi kasus AI, solusi energi, analisis sistem	(Barrows, 1996)
4	*Experiential Learning / Field Experience*	Pembelajaran melalui pengalaman langsung di lapangan	Studi industri, observasi lapangan	(Kolb, 1984)
5	*Simulation-Based Learning*	Pembelajaran menggunakan simulasi *digital/virtual*	Simulasi robotik, simulasi medis	(Gaba, 2004)
6	*Makerspace / Design-Based Learning*	Pembelajaran melalui desain dan pembuatan prototipe	Prototipe IoT, robotika	(Sheridan et al., 2014)
7	*Collaborative Hands-On Learning*	Pembelajaran praktis berbasis kerja kelompok	Hackathon AI, coding sprint	(Johnson et al., 1998)

Berdasarkan jenis-jenis *hands-on learning* yang ditampilkan pada Tabel 6.4, terdapat beberapa strategi pembelajaran yang dapat dilakukan untuk dapat memberikan pembelajaran yang mengintegrasikan pengalaman *hands-on* dalam kurikulum pelatihan untuk Talenta AI. Beberapa strategi yang disarankan ditampilkan pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5. Strategi Pembelajaran untuk Pelatihan Talenta AI berbasis *Hands-on Learning*

No	Strategi	Deskripsi	*Softskill* yang terlatih	Manfaat	Referensi
1	*Interactive Workshops*	Program *workshop* AI dengan aktivitas *hands-on* misalnya PjBL, PBL, *Simulation-based* dll. Contoh*: Workshop* Python, *bootcamp* AI, pemrograman AI *tools*	*Communication skill*; *Problem-Solving skill*; *Critical Thinking skill*	Mengembang-kan kemampuan pemecahan masalah dan berfikir kritis	Zewde (2025); Silberman et al.(2015); Vazquez-Hurtado et al.(2025)
2	*Hands-on* Laboratory *Project*	Proyek AI berbasis laboratorium yang diterapkan dalam pelatihan, diterapkan dengan mengkombinasikan *laboratory-based learning* dan PBL	*Problem-Solving skill*; *Critical Thinking*	Meningkatkan pengalaman belajar dengan memberikan permasalahan yang menantang untuk diselesaikan dan ketertarikan dalam kegiatan pembelajaran	Russell et al.(2005)
3	Practical *Coursework*	Pelatihan langsung yang terstruktur. Dapat menggunakan PjBL ataupun *Experiential*	*Problem-Solving skill*; *Critical Thinking skill;* Adaptability	Mempersiapkan peserta untuk menghadapi tantangan proyek sesuai kasus nyata	Kazimova et al.(2025)

No	Strategi	Deskripsi	*Softskill* yang terlatih	Manfaat	Referensi
		Learning / Field Experience			
4	Collaborative *Projects*	Proyek grup yang melibatkan AI/ML yang diimplementasi pada kasus riil. Dapat enggunakan PjBL dan *Makerspace/Design-Based Learning*	*Communicati-on skill*; *Teamwork* *Problem-Solving skill*; *Critical Thinking skill;* *adaptability*	Memperdalam pemahaman implementasi AI; Meningkatkan literasi AI dan kemampuan praktik	Olugboja (2025); Hsieh et al. (2024); Huang et al. (2024)
5	*Internship* / Apprenticeship	Pembelajaran melalui pengalaman kerja nyata dengan menggunakan *Field Experience* dan PBL	*Communicati-on skill*; *Problem-Solving skill*; *Critical Thinking skill; adaptability*	Magang AI/ML engineer	Lave & Wenger (1991)
6	VR (*Virtual Reality*) Workshop	Pembelajaran berbasis simulasi yang memanfaatkan VR untuk pelatihan	*Problem-Solving skill*; *Critical Thinking Skill*	Memberikan pengalaman praktik langsung yang terkontrol	Vazquez-Hurtado et al.(2025)

Metode pembelajaran berbasis *hands-on learning* yang mendorong peserta untuk *learning by doing* mengindikasikan bahwa output dari kegiatan pembelajaran tersebut berupa sebuah produk yang merupakan hasil dari praktik peserta dalam merancang dan mengembangkan model AI. Namun demikian, tingkat kesiapan produk teknologi yang dihasilkan dapat bervariasi. Untuk mengukur tingkat kesiapan teknologi yang dihasilkan dari kegiatan pembelajaran tersebut, dapat digunakan *Technology Readiness Level* (TRL)/ Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) sebagai indikator capaian *output* kegiatan

pembelajaran. TRL adalah kerangka penilaian kematangan teknologi yang awalnya dikembangkan untuk manajemen pengembangan teknologi tingkat tinggi. Dalam konteks pelatihan talenta AI, TRL dapat difungsikan sebagai indikator *output* pelatihan yang mengukur sejauh mana peserta dan artefak pembelajaran (misalnya prototipe model, *pipeline*, *dataset* dan praktik operasional) telah mencapai kesiapan teknis dan operasional untuk diaplikasikan di lingkungan nyata (Mankins, 1995). Pendekatan ini memindahkan fokus evaluasi dari sekadar pengetahuan teoritis atau skor tes ke pengukuran kematangan teknis yang lebih konkret, misalnya dari bukti konsep (TRL 1–2), bukti konsep dan validasi lab (TRL 3–5), hingga demonstrasi dan penerapan operasional (TRL 6–9) (Mankins, 1995; Uren & Edwards, 2023). Tingkatan TRL dapat ditunjukkan pada Tabel 6.6.

Tabel 6.6. *Technology Readiness Level* (TRL) Untuk Indikator Capaian Output Kegiatan Pembelajaran

Environm	Tujuan	Produk / Evaluasi	Luaran	TRL	Deskripsi
Laboratory	*Research*	Bukti konsep (*Proof of concept*)	Artikel ilmiah yang mempublikasikan prinsip dasar teknologi baru	TRL 1	Prinsip dasar teknologi diamati
			Publikasi atau referensi yang menyoroti potensi aplikasi teknologi baru	TRL 2	Konsep teknologi mulai dirumuskan
		Bukti konsep dan validasi lab (*Proof of concept*)	Pengukuran parameter di laboratorium	TRL 3	Bukti eksperimental konsep (*experimental proof of concept*)

Environm	Tujuan	Produk / Evaluasi	Luaran	TRL	Deskripsi
		Hasil uji laboratorium	Hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium	TRL 4	Teknologi tervalidasi di laboratorium
Simulation	*Development*	Komponen tervalidasi	Komponen tervalidasi dalam lingkungan yang relevan	TRL 5	Teknologi tervalidasi pada lingkungan relevan
Operational	*Implementation*	Prototipe	Hasil pengujian prototipe di lingkungan relevan	TRL 6	Teknologi terdemonstrasi di lingkungan relevan
		Prototipe sistem	Hasil uji prototipe pada lingkungan operasional	TRL 7	Prototipe sistem terdemonstrasi di lingkungan operasional
		Produk komersial (tersertifikasi)	Hasil uji sistem dalam konfigurasi final	TRL 8	Sistem lengkap dan memenuhi kualifikasi
		Produk yang dijalankan pada dunia nyata	Laporan akhir penggunaan inovasi dalam dunia nyata	TRL 9	Sistem terbukti berfungsi dalam kondisi operasional sebenarnya

Sumber: Fernandez et al. (2022)

Mengaplikasikan TRL pada kurikulum dan asesmen pelatihan AI menuntut definisi ulang kriteria pembelajaran pada setiap level TRL. Untuk pelatihan, indikator pada tiap level dapat mencakup: penguasaan konsep dan literatur (level awal), kemampuan replikasi eksperimen dan pembangunan prototipe model (level menengah), serta kemampuan integrasi sistem, evaluasi lapangan, dokumentasi operasional, dan pemenuhan standar etika/keamanan (level tinggi). Dengan demikian, TRL menyediakan peta jalan yang terukur untuk

transisi peserta dari pembelajar akademik menuju praktisi yang dapat menerapkan solusi AI secara aman dan bertanggung jawab (Salvador-Carulla et al., 2024). Berdasarkan strategi pelatihan pada Tabel 6.5, dapat definisikan tingkatan TRL masing-masing kegiatan, seperti yang ditampilkan pada Tabel 6.7 berikut.

Tabel 6.7. Identifikasi TRL pada Strategi Pembelajaran untuk Pelatihan Talenta AI

No.	Strategi	Tingkat TRL yang mungkin	Analisis Output dan level TRL
1	*Interactive Workshops*	TRL 3 – TRL 4	Kegiatan pembelajaran paling mungkin membuktikan konsep secara eksperimental (TRL 3) atau memvalidasi teknologi skala laboratorium (TRL 4)
2	*Hands-on Laboratory Project*	TRL 3 – TRL 7	• Kegiatan pembelajaran paling mungkin membuktikan konsep secara eksperimental (TRL 3) atau memvalidasi teknologi skala laboratorium (TRL 4). • Memungkinkan mencapai TRL 5 – TRL 7 jika hasil prototipe diuji coba dan di demonstrasikan di lingkungan relevan
3	*Practical Coursework*	TRL 3 – TRL 4	Kegiatan pembelajaran paling mungkin membuktikan konsep secara eksperimental (TRL 3) atau memvalidasi teknologi skala laboratorium (TRL 4)
4	*Collaborative Projects*	TRL 5 – TRL 9 (tergantung target output proyek)	• Kegiatan pembelajaran paling mungkin membuktikan konsep secara eksperimental (TRL 3) atau memvalidasi teknologi skala laboratorium (TRL 4). • Memungkinkan mencapai TRL 5 – TRL 7 jika hasil prototipe diuji coba dan di demonstrasikan di lingkungan relevan. • Dan dapat mencapai TRL 8 – TRL 9 jika project dilakukan secara utuh membentuk sistem AI yang memenuhi kualifikasi dan digunakan dalam implementasi riil
5	*Internship / Apprenticeship*	TRL 3 – TRL 4	Kegiatan pembelajaran paling mungkin membuktikan konsep secara eksperimental (TRL 3) atau memvalidasi teknologi skala laboratorium (TRL 4)

Praktik implementasi penggunaan TRL sebagai alat ukur capaian output kegiatan pembelajaran dalam sebuah pelatihan dapat mencakup beberapa bentuk output, (1) peta kompetensi dan outcome per modul yang dipetakan ke level TRL; (2) tugas berbasis bukti (*evidence-based assignments*) yang mensyaratkan demonstrasi artefak pada lingkungan simulasi atau lapangan untuk naik TRL; (3) *assessment rubrics* yang menilai aspek *reproducibility, robustness*, dokumentasi, keamanan, dan etika; serta (4) mekanisme validasi eksternal misalnya *peer review* industri atau TRA (*Technology Readiness Assessment*) sebagai syarat pencapaian TRL tinggi. Metode-metode tersebut menjadikan TRL bukan sekadar metrik administratif, melainkan alat pedagogis yang memandu proses pembelajaran menuju *outcomes* yang aplikatif dan dapat diadopsi secara aman (Bernstein et al., 2022; Uren & Edwards, 2023).

Dengan demikian, menggunakan TRL sebagai indikator keberhasilan pelatihan AI memungkinkan pengukuran yang pragmatis dan berorientasi adopsi: bukan hanya fokus pada level kognitif saja, tetapi sampai pada sejauh mana hasil pembelajaran (model, prosedur, kapabilitas) siap dipakai di dunia nyata. Pendekatan ini sangat relevan untuk program yang menargetkan translasi teknologi misalnya pusat inovasi universitas, program kolaborasi industri–akademia, dan inisiatif nasional pengembangan kapabilitas AI serta menuntut sinkronisasi antara penilaian teknis, kesiapan manusia, dan pertimbangan etis/sosial.

6.2.4. Tutor Pelatihan Talenta AI

Tutor dalam pelatihan talenta AI memiliki peran strategis dalam memastikan transfer pengetahuan yang berkualitas, relevan, dan berstandar global. Mengingat kompleksitas pengembangan kompetensi AI yang mencakup dimensi teknis, akademik, dan praktis industri, maka diperlukan struktur pembimbingan yang komprehensif

dan berjenjang. Tutor pelatihan talenta AI dapat dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu: 1) Mentor; 2) Tutor Teknis; dan 3) Tutor Ahli.

Mentor

Mentor merupakan pembimbing yang berasal dari *stakeholder* terkait, khususnya dari industri atau instansi yang memiliki kepentingan langsung terhadap *use case* yang dikembangkan. Sebagai contoh institusi penyelenggara adalah BPSDM Komdigi, maka mentor merupakan pegawai yang memahami seluk beluk *use case* yang dikerjakan dan memiliki kompetensi profesional dan pedagogik yang sesuai. Jika institusi penyelenggara tidak memiliki SDM yang memenuhi kualifikasi, penyelenggara dapat merekrut tutor pendamping dari luar secara *long-term*. Peran mentor disini untuk mengawal proses bisnis dari *use case* yang dikerjakan serta memastikan bahwa solusi AI yang dikembangkan tidak hanya secara teknis, tetapi juga relevan dengan kebutuhan nyata industri atau organisasi. Selain itu juga, mentor ini berperan sebagai jembatan antara pengembangan teknis dengan implementasi praktis di lapangan. Mereka memberikan perspektif mengenai konteks bisnis, regulasi, dan operasional yang harus dipertimbangkan dalam pengembangan solusi AI. Keterlibatan mentor dari *stakeholder* memastikan bahwa *use case* yang dikembangkan peserta memiliki nilai aplikatif tinggi dan dapat diimplementasikan secara efektif dalam ekosistem nyata.

Tutor Teknis

Peran utama tutor teknis adalah sebagai pendamping teknis harian (*day-to-day*) selama pelaksanaan program berlangsung untuk membimbing pengerjaan *use case* secara berkala. Tutor teknis bertanggung jawab untuk mengikuti progress peserta pelatihan dari awal hingga akhir pelatihan, memberikan bimbingan intensif baik secara personal maupun kelompok, serta memastikan peserta mampu menyelesaikan tantangan teknis yang dihadapi dalam pengembangan

proyek AI mereka. Sebagai contoh program yang berkolaborasi dengan universitas – universitas di Indonesia, maka seyogyanya tutor teknis berasal dari dosen program studi/perguruan tinggi yang sama dengan peserta atau tutor internal (atau yang direkrut) dari institusi penyelenggara yang memiliki kompetensi profesional dan pedagogik yang sesuai. Tutor teknis dapat dibagi per kelompok *proyek* dengan jumlah anggota kelompok peserta per proyek sesuai dengan kebutuhan. Hal ini perlu dilakukan agar peserta pelatihan mendapatkan pembimbingan yang intensif, baik secara personal maupun kelompok.

Tutor Ahli

Tutor ahli adalah berperan dalam memberikan pendampingan lanjutan, memberikan masukan strategis, dan validasi teknis terhadap *use case* yang dikembangkan oleh peserta. Berbeda dengan tutor teknis yang bersifat *day-to-day*, tutor ahli berperan dalam sesi-sesi *brainstorming*, *review* berkala, dan memperkaya pengetahuan serta keterampilan peserta pelatihan berdasarkan keahlian dan pengalaman global mereka. Tutor ahli merupakan akademisi senior, peneliti profesional, atau praktisi industri dalam dan luar negeri termasuk diaspora yang memiliki kompetensi dan pengalaman mendalam di bidang AI. Melibatkan diaspora dalam memberikan tutorial di pelatihan talenta AI dapat menjadi strategi penting karena mereka membawa pengalaman riset internasional, akses pada jaringan global, serta praktik terbaik dari ekosistem teknologi maju. Selain itu keterlibatan diaspora mendukung terjadinya *brain circulation* dan mempercepat penguatan kapasitas lokal sebagaimana ditegaskan oleh studi mengenai jaringan pengetahuan global dan kontribusi akademisi diaspora dalam pembangunan kapasitas sains dan teknologi negara asal (Larner, 2015).

Integrasi Ekosistem Pembimbingan

Kolaborasi dengan perguruan tinggi, baik didalam negeri maupun luar negeri, menggandeng perusahan teknologi ataupun lembaga pelatihan

lain untuk berkolaborasi bersama, memungkinkan tutor dan peserta pelatihan memperoleh akses pada sarana dan prasarana, kurikulum mutakhir, metodologi berbasis riset, dan *co-supervision* proyek yang selaras dengan standar internasional. Literatur tentang hubungan universitas – industri menegaskan bahwa kolaborasi akademik lintas negara memperkuat *knowledge exchange*, meningkatkan kualitas pembelajaran, dan mendorong inovasi yang lebih terstruktur (Perkmann et al., 2013). Dalam konteks pelatihan AI, kolaborasi ini juga memastikan bahwa peserta memahami dinamika riset AI global yang berkembang sangat cepat.

Selain itu juga menggandeng perusahaan teknologi global (GiTech) sebagai tutor maupun mitra industri memungkinkan terjadinya transfer pengetahuan langsung melalui studi kasus nyata, akses perangkat komputasi, infrastruktur, serta praktik teknis terkini. Kolaborasi semacam ini penting bagi pendidikan AI, karena memperkuat penerapan prinsip *responsible AI* dan menjembatani kesenjangan antara pengetahuan akademik dan praktik industri (Jobin et al., 2019). Selain itu, keterlibatan GiTech memungkinkan peserta memahami standar etika, risiko sosial, serta kerangka kepercayaan publik terhadap teknologi AI (Morley et al., 2020).

Secara keseluruhan, keberadaan tiga jenis tutor ini—tutor teknis, tutor ahli, dan mentor—menciptakan ekosistem pembelajaran yang komprehensif dan berjenjang. Tutor teknis memastikan penguasaan keterampilan teknis harian, tutor ahli membawa perspektif akademik dan industri global untuk validasi dan pengayaan, sementara mentor menjamin relevansi dan aplikabilitas solusi terhadap kebutuhan nyata stakeholder. Kolaborasi sinergis antara ketiga jenis tutor ini memadukan keunggulan akademik, kesiapan industri, dan perspektif etis yang dibutuhkan untuk menghasilkan talenta AI yang kompeten, adaptif, dan bertanggung jawab. Secara ringkas, pemetaan tutor pelatihan talenta AI ditampilkan pada Tabel 6.8.

Tabel 6.8. Tutor untuk Pelatihan Talenta AI

Jenis Tutor	Deskripsi Tugas	Keterangan
Mentor	Bertugas untuk menerangkan dan mengawal proses bisnis dari use case yang dikerjakan dari awal hingga akhir pelatihan serta memastikan relevansi solusi AI dengan kebutuhan nyata stakeholder	• Berasal dari *stakeholder* terkait (industri/instansi) yang memiliki kepentingan langsung terhadap *use case* • Dapat berasal dari pegawai institusi penyelenggara yang memahami seluk-beluk *use case* dan memiliki kompetensi profesional serta pedagogik yang sesuai • Memberikan perspektif konteks bisnis, regulasi, dan operasional • Menjembatani pengembangan teknis dengan implementasi praktis di lapangan
Tutor Teknis	Bertugas sebagai pendamping teknis harian (*day-to-day*) untuk membimbing pengerjaan *use case* secara berkala	• Berasal dari dosen program studi/perguruan tinggi yang sama dengan peserta, atau tutor internal (atau yang direkrut) dari institusi penyelenggara yang memiliki kompetensi profesional dan pedagogik yang sesuai • Memberikan bimbingan intensif baik secara personal maupun kelompok untuk menyelesaikan tantangan teknis
Tutor Ahli	Bertugas untuk memberikan pendampingan lanjutan, masukan strategis, validasi teknis, brainstorming, dan memperkaya pengetahuan serta keterampilan peserta berdasarkan keahlian tutor tersebut	• Berasal dari akademisi senior, peneliti profesional, atau praktisi industri dalam dan luar negeri • Dapat melibatkan diaspora ahli AI, akademisi dari universitas luar negeri, dan praktisi profesional dari perusahaan teknologi global (BigTech) • Berperan dalam sesi-sesi review berkala dan validasi *use case*

6.2.5. Waktu Pelaksanaan

Pelaksanaan pelatihan Talenta AI secara informal dapat bervariasi. Berdasarkan pemetaan pelatihan informal yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, ditemukan berbagai variasi durasi pelatihan mulai dari *short-term course* yang membutuhkan waktu beberapa pekan hingga *long-term course* yang membutuhkan waktu 6 hingga 9 bulan bahkan lebih. Dalam strategi pelatihan talenta AI yang disarankan dalam buku ini terdapat dua alternatif skema durasi pelaksanaan program dengan mempertimbangkan efektivitas dan efisiensi kegiatan pembelajaran yang diselenggarakan serta fleksibilitas terhadap kalender akademik perguruan tinggi dan kesiapan peserta. Dengan demikian Mitra penyelenggara dapat memilih salah satu skema yang paling sesuai dengan kurikulum dan ketersediaan waktu.

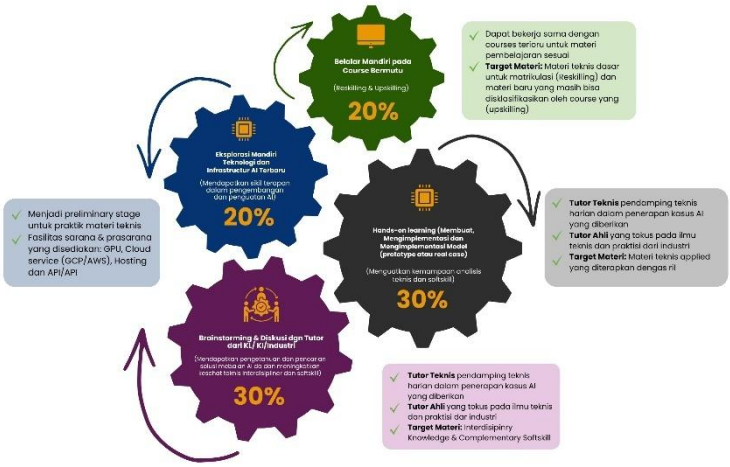
1. **Skema Reguler (2 Semester)**
   Skema ini dilaksanakan dalam durasi 2 (dua) semester berturut-turut (Semester Genap ke Semester Ganjil atau sebaliknya). Pada skema reguler, Semester pertama sepenuhnya difokuskan pada pembangunan kompetensi dasar, sedangkan semester kedua baru memasuki fase seleksi final dan pengerjaan *use case.*
2. **Skema Akselerasi (1 Semester)**
   Skema ini dilaksanakan secara intensif dengan durasi waktu yang dipadatkan (*accelerated learning*) dalam 1 (satu) semester (± 6 Bulan) dengan intensitas belajar yang lebih tinggi. skema akselerasi menuntut peserta untuk lebih cepat beradaptasi dan menyelesaikan tahapan dengan lebih efisien. Peserta harus menyelesaikan materi fondasi hanya dalam dua bulan pertama dengan ritme yang dipercepat, kemudian langsung melanjutkan ke tahap seleksi dan implementasi proyek tanpa jeda semester.

Kegiatan pembelajaran yang dilakukan selama periode waktu dipilih tersebut dibagi secara proporsional, dengan berbagai kombinasi metode yang disesuaikan dengan tujuan pembelajaran dan luaran dari kegiatan pembelajaran yang akan dilakukan. Jika melihat keseluruhan

rangkaian kegiatan pembelajaran dari awal hingga akhir dalam skema ini kita dapat membagi dalam empat bentuk proses pembelajaran yang terdiri dari beberapa proses.

1) Pembelajaran mandiri, yang fokus untuk *reskilling* dan *upskilling*. Proses pembelajaran *reskilling* ditujukan untuk proses matrikulasi dimana dibutuhkan penyetaraan *basic knowledge* dan *skill* yang wajib dikuasai oleh seluruh peserta yang bisa jadi berasal dari *background* kampus yang berbeda. Sedangkan *upskilling* dibutuhkan untuk menstandardisasi *basic skill* yang dibutuhkan namun belum diajarkan atau dikuasai oleh peserta pelatihan. Pembelajaran ini dapat dilakukan mandiri via *online* dengan bekerjasama dengan *courses* berkualitas yang sudah ada. Proporsi pembelajaran ini dapat dialokasikan 20%.
2) Eksplorasi Mandiri teknologi dan Infrastruktur AI terbaru, proses pembelajaran ini fokus pada memberikan kesempatan pada peserta untuk mengenali dan memahami berbagai infrastruktur dan *tool* yang nantinya dibutuhkan dalam praktik pembelajaran secara teknis. Tahapan proses pembelajaran ini juga dilakukan secara mandiri namun dengan pendampingan oleh tutor pembimbing secara langsung atau *offline*, dengan proporsi 20%.
3) *Hands-on learning*, proses pembelajaran yang fokus memberikan kesempatan kepada peserta untuk membuat, mengembangkan dan mengimplementasikan model AI, baik dalam skala laboratorium, prototipe, ataupun *real case* di dunia nyata. Proporsi proses pembelajaran ini dilakukan secara intensif dan *offline*, dengan dibimbing oleh tutor pembimbing dan tutor tentatif dengan proporsi kegiatan 30%.
4) *Brainstorming* dan diskusi dengan tutor (pendamping dan tentatif), proses pembelajaran yang fokus memberikan pengayaan, eksplorasi dan konsultasi bagi peserta dalam rangka memperdalam pengetahuan, pemecahan masalah dan berfikir kritis untuk project yang sedang dilakukan. Pada proses

pembelajaran ini, tutor tentatif menjadi sentral namun tetap didampingi oleh tutor pembimbing, dapat dilakukan kombinasi *online* dan *offline* dengan proporsi kegiatan 30%.



Gambar 6.2 Kombinasi Berbagai Proses Pembelajaran yang Dapat Diterapkan Dalam Skenario Pelatihan Talenta AI
Source: Modifikasi dari Pusbang Talenta Digital, 2025

Proses pembelajaran yang dijelaskan pada uraian diatas, secara ringkas, ditampilkan pada Gambar 6.2. Dalam pelaksanaannya, masing-masing proses pembelajaran memiliki proporsi waktu yang berbeda. Pembagian timeline nya dapat ditunjukkan pada Tabel 6.9.

Tabel 6.9. *Timeline* kegiatan pembelajaran(*Alternatif reguler* dan *akselerasi*)

Kegiatan Pembelajaran (1 Semester)	Bulan											
	1		2		3		4		5		6	
	Week 1-2	*Week 3-4*	*Week 1-2*	*Week 3-4*	*Week 1-2*	*Week 3-4*	*Week 1-2*	*Week 3-4*	*Week 1-2*	*Week 3-4*	*Week 1-2*	*Week 3-4*
Kickoff* & *onboarding												
Pelaksanaan Proses Pembelajaran												
Belajar Mandiri: *reskilling*												
Belajar Mandiri: *Upskilling*												
Eksplorasi Mandiri Teknologi & Infrastruktur												
Hands-on Learning												
- Membuat model sesuai studi kasus												
- Workshop dan Pendampingan												
- Implementasi Model ke Prototipe												
- Demoday (Showcase)												

Kegiatan Pembelajaran (1 Semester)	Bulan											
	1		2		3		4		5		6	
	Week 1-2	Week 3-4	Week 1-2	Week 3-4	Week 1-2	Week 3-4	Week 1-2	Week 3-4	Week 1-2	Week 3-4	Week 1-2	Week 3-4
Brainstorming dan Diskusi dengan tutor												
Monitoring dan Evaluasi												
Monitoring												
Evaluasi Kinerja dan hasil												

Kegiatan Pembelajaran (2 Semester)	Bulan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kickoff & onboarding												
Pelaksanaan Proses Pembelajaran												
Belajar Mandiri: reskilling												
Belajar Mandiri: Upskilling												
Eksplorasi Mandiri Teknologi & Infrastruktur												
Hands-on Learning												
- Membuat model sesuai studi kasus												
- Workshop dan Pendampingan												
- Implementasi Model ke Prototipe												
- Demoday (Showcase)												

Kegiatan Pembelajaran (2 Semester)	Bulan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Brainstorming dan Diskusi dengan tutor												
Monitoring dan Evaluasi												
Monitoring												
Evaluasi Kinerja dan hasil												

6.2.6. Sarana dan Prasarana

Sarana dan prasarana yang memadai merupakan fondasi utama dalam penyelenggaraan pelatihan talenta AI. Infrastruktur komputasi berperforma tinggi seperti GPU clusters, *cloud computing platforms*, dan *distributed training environments* menjadi kebutuhan dasar untuk memungkinkan peserta mengerjakan proyek pemodelan skala besar secara efisien. Penelitian mutakhir menunjukkan bahwa ketersediaan komputasi yang kuat mendukung proses *deep learning*, mempercepat iterasi model, dan meningkatkan kualitas inovasi peserta (Amodei et al., 2016; Thompson et al., 2022). Selain itu, akses terhadap *high-quality datasets* menjadi elemen kunci untuk praktik empiris, sebab dataset yang representatif dan bersih terbukti meningkatkan kinerja model sekaligus mengurangi bias (Mitchell et al., 2019).

Tidak hanya infrastruktur komputasi, lingkungan pembelajaran fisik dan digital turut menentukan efektivitas pelatihan. Fasilitas seperti smart classrooms, ruang kolaborasi, serta platform *Learning Management Systems* (LMS) memungkinkan proses pembelajaran yang interaktif, adaptif, dan terukur. Studi-studi pendidikan teknologi menegaskan bahwa ruang pembelajaran yang mendukung kolaborasi multidisipliner dapat meningkatkan kreativitas dan kapasitas pemecahan masalah peserta (Cheng & Zhu, 2025). Selain itu,

keberadaan laboratorium AI dengan perangkat robotik, sensor IoT, serta perangkat *edge computing* memperluas peluang untuk pelatihan berbasis eksperimen yang selaras dengan kebutuhan industri (L. Li et al., 2025). Dengan demikian, sarana dan prasarana yang komprehensif tidak hanya meningkatkan kapabilitas teknis, tetapi juga memperkuat kesiapan peserta untuk menghadapi tantangan nyata dalam ekosistem AI. Secara ringkas, sarana dan prasarana yang dibutuhkan untuk pelatihan talenta AI dapat ditampilkan pada Tabel 6.10.

Tabel 6.10. Sarana dan Prasaran Pelatihan Talenta AI

Kategori	Sarana/Prasarana	Deskripsi Fungsional	Relevansi
Infrastruktur Komputasi	GPU/TPU *Servers*, HPC *Cluster*	Komputasi paralel berperforma tinggi	Pelatihan model besar; eksperimen *deep learning*
	Cloud Computing Platforms	Akses fleksibel Sumber daya komputasi	Skalabilitas pelatihan dan kolaborasi lintas lokasi
Data & *Software*	*Dataset* berkualitas tinggi	Data *representative* untuk *training*	Mengurangi bias & meningkatkan akurasi model
	MLOps & *Development Tools* (Python, TensorFlow, PyTorch)	Lingkungan pengembangan AI standar industri	Implementasi *pipeline end-to-end*
Fasilitas Pembelajaran	*Smart Classroom, hybrid learning setup*	Fasilitas Pembelajaran interaktif	Mendukung Diskusi, demonstrasi dan kolaborasi
	AI Laboratory (*robotics, IoT kits, edge devices*)	Laboratorium untuk Eksperimen praktis	Proyek AI berbasis *real case*
Platform Pembelajaran	LMS, Virtual Lab, Version Control (Git)	Manajemen materi dan Evaluasi	Memastikan pembelajaran terstruktur dan terdokumentasi
Sarana Kolaborasi	*Coworking Space*, Ruang meeting	Ruang Kerja tim	Mendorong kolaborasi dan inovasi
Keamanan dan Akses	*Secure networks, data governance tool*	Sistem keamanan dan privasi data	Melatih praktik *responsible* AI
Pendukung operasional	*High-speed internet, UPS, storage systems*	Mendukung kelancaran operasional	Menjamin stabilitas sistem dan proses pelatihan

6.3. Keuntungan dan Dampak Program

Program pelatihan talenta AI tingkat lanjut yang diselenggarakan oleh Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BPSDM) Kementerian Komunikasi dan Digital, bekerja sama dengan perguruan tinggi dan berbagai sektor industri, memberikan manfaat yang luas bagi berbagai pemangku kepentingan. Berikut uraian komprehensif mengenai siapa saja yang memperoleh manfaat dan bagaimana manfaat tersebut dirasakan:

6.3.1. Kementerian Komunikasi dan Digital

a) Peningkatan Daya Saing Nasional

Dengan mengembangkan tenaga kerja yang terampil, Kementerian memperkuat posisi Indonesia dalam peta persaingan global di bidang AI (Setiawan et al., 2023; B. Zhang et al., 2022). Hal ini sejalan dengan agenda nasional menuju ekonomi digital yang inklusif dan berdaya saing.

b) Implementasi Kebijakan

Program ini mendukung tujuan Kementerian dalam meningkatkan literasi dan kompetensi digital masyarakat (Omirali et al., 2025; Setiawan et al., 2023). Pelatihan talenta AI menjadi salah satu instrumen strategis untuk mempercepat transformasi digital nasional.

6.3.2. Peserta

a) Pengembangan Keterampilan

Mahasiswa memperoleh pengalaman langsung dalam penggunaan teknologi AI, sehingga keterampilan praktis dan pemahaman teoretis mereka meningkat secara signifikan (Buyones-Gonzalez & Quezada-Espinoza, 2024b; Yang et al., 2025). Pelatihan ini memungkinkan mereka menguasai teknik pemodelan, analisis data, hingga implementasi solusi berbasis

AI yang relevan dengan kebutuhan industri. Disamping itu, pelatihan yang melibatkan berbagai sektor dan instansi memungkinkan mahasiswa untuk bekerja dalam tim yang beragam, meningkatkan kemampuan kolaborasi dan pemahaman lintas disiplin (Franco D'Souza et al., 2025).

b) Kesiapan Karier

Program ini mempersiapkan mahasiswa untuk memasuki dunia kerja berbasis AI dengan memberikan kompetensi inti yang dibutuhkan dalam pasar tenaga kerja modern (Buyones-Gonzalez & Quezada-Espinoza, 2024b; Cantú-Ortiz et al., 2020). Kurikulum pelatihan yang selaras dengan kebutuhan industri memastikan mereka lebih siap bersaing di sektor digital.

c) Peningkatan *Employability*

Paparan terhadap studi kasus nyata dan kolaborasi dengan mitra industri meningkatkan daya saing mereka di pasar kerja (Buyones-Gonzalez & Quezada-Espinoza, 2024b; Yang et al., 2025; B. Zhang et al., 2022). Mahasiswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu menerapkan pengetahuan tersebut dalam konteks profesional.

d) Kesadaran Etika

Pelatihan ini tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga pada isu etika, sehingga mahasiswa memahami dampak sosial dan risiko penggunaan AI (Luo & Lin, 2024; Zhong et al., 2025). Hal ini penting agar mereka dapat mengembangkan teknologi yang bertanggung jawab dan berorientasi pada nilai kemanusiaan.

6.3.3. Perguruan Tinggi

a) Peningkatan Kurikulum

Perguruan tinggi dapat mengintegrasikan modul AI tingkat lanjut dalam kurikulum mereka, sehingga program studi tetap relevan dengan standar industri yang terus berkembang (Cantú-Ortiz et al., 2020; B. Li & Sun, 2024). Integrasi ini juga meningkatkan kualitas pembelajaran dan pengalaman mahasiswa dalam bidang digital.

b) Peluang Kolaborasi Riset

Kerja sama dengan Kementerian dan mitra industri membuka peluang baru untuk penelitian dan pengembangan di bidang AI (Setiawan et al., 2023; Thuy, 2024). Perguruan tinggi dapat mengembangkan proyek inovatif, publikasi ilmiah, serta kolaborasi multidisiplin yang memperkuat ekosistem riset nasional.

c) Reputasi dan Daya Tarik

Dengan menawarkan program pelatihan AI yang mutakhir, reputasi institusi meningkat dan menjadi daya tarik bagi calon mahasiswa (Cantú-Ortiz et al., 2020; Omirali et al., 2025) . Hal ini secara tidak langsung juga meningkatkan daya saing perguruan tinggi dalam ekosistem pendidikan tinggi.

6.3.4. Mitra Instansi/Industri

a) Akses ke Talenta Siap Kerja

Industri memperoleh akses terhadap lulusan yang telah dibekali keterampilan teknis dan praktis yang sesuai kebutuhan proyek AI mereka (Buyones-Gonzalez & Quezada-Espinoza, 2024b; B. Zhang et al., 2022). Hal ini mengurangi biaya *onboarding* dan waktu adaptasi tenaga kerja baru.

b) Inovasi dan Kolaborasi

Kolaborasi antara industri dan akademik mendorong inovasi, memungkinkan industri memilki daya saing dalam perkembangan teknologi AI (Buyones-Gonzalez & Quezada-Espinoza, 2024b; Yang et al., 2025). Pertukaran pengetahuan ini memperkuat kemampuan instansi/industri dalam merancang solusi lebih efektif dan efisien.

c) Solusi yang Dapat Dikembangkan

Studi kasus dan proyek yang dikerjakan selama pelatihan sering kali menghasilkan prototipe atau solusi awal yang dapat dikembangkan lebih lanjut sesuai kebutuhan industri (Buyones-Gonzalez & Quezada-Espinoza, 2024b; Yang et al., 2025).

6.3.5. Masyarakat

a) Perbaikan layanan publik

Alumni yang bekerja di instansi pemerintah memperkuat kapasitas birokrasi untuk memberikan layanan publik dengan lebih baik.

b) Efisiensi dan Penurunan Biaya Layanan Publik

Instansi pemerintah yang memanfaatkan talenta AI dapat menekan biaya operasional, mengurangi pemborosan anggaran, dan mempercepat proses administrasi (izin, layanan sosial, bantuan tunai). Efisiensi ini dapat kembali ke masyarakat dalam bentuk layanan berkualitas dengan biaya lebih murah.

c) Kebijakan Lebih Tepat Sasaran

Dengan dukungan AI, pemerintah dapat merumuskan kebijakan yang lebih tepat sasaran karena keputusan didasarkan pada analisis masalah yang lebih akurat, prediksi kebutuhan publik yang lebih presisi, dan pemahaman kondisi

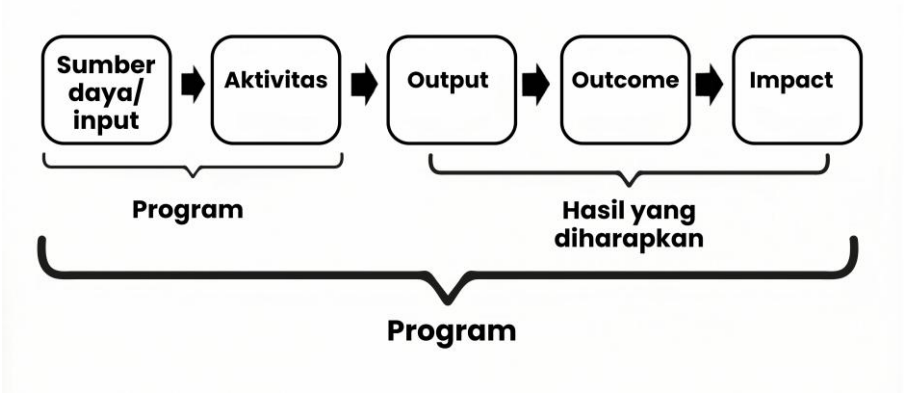
lapangan yang lebih komprehensif. Hasil akhirnya, masyarakat mendapatkan solusi yang relevan, cepat, dan dan efektif.

d) Mendorong Daya Saing Ekonomi Nasional
Peningkatan kapasitas talenta memperkuat: 1) kemampuan industri lokal bersaing dalam pasar global; 2) pengembangan teknologi AI dalam negeri (mengurangi ketergantungan impor); 3) pertumbuhan ekspor jasa digital. Hal ini memungkinkan masyarakat merasakan manfaat dari ekonomi yang lebih kuat dan lebih resilien.

6.4. Evaluasi dan Pengukuran Keberhasilan Program

Pelaksanaan pelatihan talenta AI tingkat lanjut tidak hanya membutuhkan desain kurikulum yang kuat, instruktur yang kompeten, serta infrastruktur yang memadai, tetapi juga memerlukan sistem evaluasi yang komprehensif untuk memastikan efektivitas program secara keseluruhan. Evaluasi ini menjadi krusial karena pelatihan tingkat lanjut bertujuan tidak hanya membentuk keterampilan teknis peserta, tetapi juga mendorong kontribusi nyata terhadap ekosistem AI, industri, dan daya saing nasional. Proses evaluasi ini menjadi bagian dari fungsi BPSDM Komdigi, sebagaimana diatur dalam Peraturan Presiden No.174/2024 Pasal 31 huruf c.

Dalam hal ini, evaluasi pelatihan dapat dilakukan dengan merujuk kepada *logic model* (McLaughlin & Jordan, 1999), dimana proses evaluasi dilakukan secara menyeluruh mulai dari sumber daya/*input*, aktivitas, hingga *output*, *outcome*, dan *impact*, agar setiap tahap pelaksanaan dapat dipantau, dijaga mutunya, dan ditingkatkan secara berkelanjutan. Gambar 6.3 menyatikan konsep dasar dari logic model.



Gambar 6.3 Elemen dari Logic Model
Sumber: W. K. Kellogg Foundation (2004)

6.4.1. Evaluasi Sumber daya/*Input*

Evaluasi terhadap aspek sumber daya atau *input* merupakan langkah penting untuk memastikan bahwa pelatihan talenta AI tingkat lanjut dilaksanakan dengan kualitas, akuntabilitas, dan kesiapan sumber daya yang optimal. Input mencakup seluruh sumber daya awal yang digunakan untuk menjalankan program, mulai dari pendanaan, kompetensi instruktur, kurikulum dan materi pelatihan, infrastruktur pendukung seperti fasilitas GPU dan *cloud*, hingga dukungan mitra industri maupun instansi publik. Setiap komponen input harus dinilai secara sistematis untuk menjamin bahwa pelatihan tidak hanya berjalan sesuai rencana, tetapi juga mampu menghasilkan *output, outcome*, dan *impact* yang diharapkan.

Evaluasi ini dilakukan melalui berbagai metode seperti audit, *benchmarking*, *expert review*, analisis efektivitas biaya, serta survei kepuasan. Pendekatan evaluasi yang komprehensif memastikan bahwa kualitas program dapat dipertahankan dan ditingkatkan secara berkelanjutan. Tabel 6.11 merangkum komponen input yang dinilai beserta metode evaluasi yang digunakan untuk mengukur keberhasilannya.

Tabel 6.11. Evaluasi Input Pelatihan AI Tingkat Lanjut

Jenis Sumber Daya/*input*	Poin Evaluasi	Metode Evaluasi
Pendanaan	• Ketersediaan dana • Efisiensi penggunaan anggaran • Alokasi untuk instruktur, infrastruktur, dan operasional	• Audit keuangan dan laporan realisasi anggaran • Analisis *cost-effectiveness* (biaya per peserta, biaya per-*outcome*) • Perbandingan rencana vs realisasi anggaran
Instruktur	• Kualifikasi instruktur (PhD, pengalaman industri) • Relevansi keahlian dengan modul AI tingkat lanjut • Rasio instruktur : peserta	• Review CV dan kredensial • Evaluasi kepuasan peserta terhadap instruktur • Observasi kualitas pengajaran • Survei Peserta
Kurikulum dan Materi	• Kelengkapan modul • Kesesuaian kurikulum dengan standar industri • *Update* materi dengan tren AI terbaru	• *Expert/Industry review* terhadap kurikulum • *Benchmarking* dengan kurikulum internasional • Survei peserta
Infrastruktur (GPU/*Cloud*/ Lab)	• Akses GPU/*cloud training* yang memadai • Ketersediaan lab dan perangkat • Kualitas *tools* dan *software*	• *Stress-test* infrastruktur (*uptime*, kecepatan, reliabilitas) • *Log* penggunaan GPU/*cloud* per-peserta • Survei kepuasan peserta terhadap infrastruktur dan *tools*
Mitra Instansi Publik/ Industri	• Isi MoU/PKS • Jumlah dan kualitas mitra • Komitmen dalam mentoring dan peluang kerja	• Evaluasi MoU/PKS • *Tracking* kontribusi mitra (mentoring, *dataset*, proyek) • Evaluasi kepuasan mitra terhadap hasil pelatihan • Survei Peserta

6.4.2. Evaluasi Aktivitas

Evaluasi terhadap aktivitas program dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh proses pelaksanaan pelatihan berjalan sesuai dengan desain, standar kualitas, serta tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan. Setiap aktivitas, mulai dari seleksi peserta, pelatihan teknis, *workshop* industri, hingga pengembangan proyek AI, memiliki peran strategis dalam menghasilkan lulusan yang kompeten dan siap terlibat dalam ekosistem AI nasional. Oleh karena itu, evaluasi dilakukan tidak hanya secara kuantitatif melalui indikator yang terukur, tetapi juga secara kualitatif melalui observasi, penilaian ahli, serta umpan balik dari peserta dan mitra industri. Pendekatan evaluasi ini menekankan prinsip transparansi, akuntabilitas, dan peningkatan berkelanjutan (*continuous improvement*).

Tabel 6.12. Evaluasi Aktivitas Pelatihan AI Tingkat Lanjut

Aktivitas	Komponen Evaluasi	Metode Evaluasi
Seleksi Peserta	• Jumlah pendaftar • Kriteria seleksi (IPK, kemampuan *coding*, dasar AI) • Proses Seleksi (tes kemampuan, wawancara) • Kepuasan peserta	• Analisis profil peserta • Review terhadap kriteria dan proses seleksi, termasuk *fairness* & transparansi seleksi • Survei Peserta
Pelatihan	• Penyampaian materi • Jam pelatihan terpenuhi • Pencapaian LO (*learning outcomes*)	• *Pre-test vs post-test score improvement* dan Survei Peserta • Observasi pembelajaran • *Learning analytics* dari LMS (kehadiran, penyelesaian modul)
Workshop Industri (*Real Case*)	• Relevansi studi kasus • Keterlibatan praktisi industri	• Penilaian kualitas *real case project* • Survei peserta terkait mitra *workshop*
Pengembangan Proyek AI	• Kesesuaian proyek dengan standar industri AI	• Rubrik penilaian proyek • *Demo day* & *expert evaluation*

Aktivitas	Komponen Evaluasi	Metode Evaluasi
	• Kualitas teknis (akurasi, *pipeline*, *deployment*)	• *Pilot-testing* dari hasil proyek

6.4.3. Indikator dan Evaluasi Keberhasilan Pada Tingkat *Output, Outcome*, dan *Impact*

Evaluasi keberhasilan program pelatihan talenta *Advanced* AI dilakukan melalui pendekatan berlapis yang mencakup tiga aspek utama, yaitu *output*, *outcome*, dan *impact*. Kerangka evaluasi ini dirancang agar mampu memberikan gambaran yang menyeluruh mengenai kinerja program, mulai dari hasil langsung yang dicapai peserta, manfaat jangka menengah bagi dunia kerja dan industri, hingga dampak jangka panjang terhadap ekosistem talenta digital dan daya saing nasional.

Tabel 6.13. Indikator dan Evaluasi Keberhasilan pada Tingkat *Output, Outcome,* dan *Impact*

Aspek	Indikator	Metode Pengukuran Keberhasilan
Output	Lulusan yang Kompeten	• Asesmen kompetensi berbasis rubrik (kemampuan ML, DL, *data engineering*, *deployment*). • Standardized practical test (tes tertulis + *coding challenge*). • Validasi kompetensi oleh mitra industri melalui uji kasus nyata.
	Skor *Pre Test-Post Test* Naik	• Perbandingan *pre-test* dan *post-test* menggunakan analisis statistik (*paired-sample t-test*). • *Benchmarking* terhadap angkatan sebelumnya atau standar nasional.
	Proyek AI Berkualitas	• Evaluasi oleh panel ahli mengenai kualitas proyek AI (akurasi model, relevansi, inovasi, potensi implementasi) • Pengukuran tingkat kesiapan teknologi (*Technology Readiness Level*/TRL).

Aspek	Indikator	Metode Pengukuran Keberhasilan
		• Review eksternal dari mitra industri terkait potensi penerapan.
Outcome	Serapan Kerja Lulusan	• *Tracer study* (6–12 bulan) untuk memantau status pekerjaan • Perhitungan *employment rate* di sektor AI/teknologi. • Median *time-to-employment* setelah pelatihan. • Umpan balik industri terkait performa alumni.
	Implementasi Inovasi AI	• Jumlah proyek AI yang melibatkan alumni. • Jumlah prototipe yang naik tahap *deployment*
Impact	Talenta Digital Kuat	• Jumlah alumni yang bekerja di bidang AI atau ekosistem digital. • Kontribusi alumni pada komunitas profesional (publikasi, kompetisi AI). • Penilaian kapasitas talenta digital melalui National Digital Talent Index.
	Produktivitas Naik	• Analisis produktivitas perusahaan sebelum dan sesudah penerapan AI yang dikembangkan alumni. • *Economic Value Added* (EVA) dari solusi AI. • Perbandingan efisiensi proses (penghematan waktu, biaya, peningkatan output).
	Inovasi & *Startup* AI Meningkat	• Jumlah *startup* atau usaha rintisan berbasis AI yang didirikan alumni. • Jumlah produk AI baru yang dihasilkan alumni
	Daya Saing Digital Meningkat	• Posisi Indonesia pada indeks global (AI *Readiness Index, Digital Competitiveness Index*, NRI). • Analisis makroekonomi terkait kontribusi AI terhadap PDB. • Persepsi industri global mengenai kualitas talenta digital nasional.

BAB 7
PENUTUP

BAB VII
PENUTUP

Bagian penutup ini membahas implikasi strategis perkembangan AI bagi Indonesia serta menegaskan peran penting talenta AI sebagai fondasi utama pemanfaatan teknologi secara optimal. Di tengah percepatan inovasi global, AI menjadi infrastruktur kunci yang memengaruhi daya saing ekonomi, kualitas layanan publik, dan efektivitas pemerintahan. Oleh karena itu, kemampuan Indonesia untuk menguasai, mengembangkan, dan mengarahkan teknologi ini sangat bergantung pada kesiapan talenta digital nasional. Bab ini juga menyampaikan rekomendasi kebijakan untuk memperkuat ekosistem pengembangan talenta AI secara berkelanjutan.

7.1. Implikasi Strategis Perkembangan Teknologi AI bagi Indonesia

Perkembangan AI sebagai *general-purpose technology* (GPT) membawa implikasi besar bagi arah pembangunan Indonesia. Sebagai GPT, AI memiliki efek meluas tidak hanya pada berbagai sektor ekonomi dan sosial, tetapi juga kekuatan geopolitik. Negara dengan dominasi AI yang kuat, termasuk di dalam hal kebijakan dan pengembangan AI, memperoleh keuntungan teknologi dan ekonomi (Ozkaya & Demirhan, 2023; Tilovska-Kechedji, 2023). Hal ini membawa implikasi strategis yang perlu diperhatikan oleh pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat.

7.1.1. Perlunya Membangun Kedaulatan Digital dan Mengurangi Ketergantungan

Kedaulatan digital adalah upaya negara, perusahaan, dan masyarakat untuk memiliki kendali atas teknologi digital, data, dan infrastruktur yang digunakan. Ini berarti kemampuan untuk membuat keputusan teknologi secara mandiri serta menetapkan aturan dan standar sendiri, termasuk ikut serta dalam penetapan aturan dan standar di tingkat internasional (Moghior, 2022; Roberts, 2024b). Dalam konteks AI, kedaulatan tidak hanya mencakup kepemilikan infrastruktur seperti pusat data dan *cloud* nasional, tetapi juga kemampuan intelektual untuk membangun algoritma, model, dan sistem AI yang sesuai dengan kebutuhan Indonesia. Tanpa kapasitas pengembangan mandiri, negara berisiko mengalami ketergantungan struktural dan kerentanan strategis.

Ketergantungan pada teknologi impor dapat menimbulkan masalah jangka panjang. Sistem AI yang dilatih dengan data dari negara lain sering kali bias jika diterapkan pada konteks sosial Indonesia yang beragam. Sebagai contoh, penelitian menunjukkan ChatGPT 4.0 tidak merepresentasikan karakter psikologis masyarakat global, melainkan lebih mencerminkan profil WEIRD (*Western, Educated, Industrialized, Rich*, dan *Democratic*) serta paling mendekati karakter masyarakat Amerika Serikat. Negara yang nilai sosial budayanya dekat dengan AS memiliki kemiripan psikologis lebih tinggi dengan model ini (Atari et al., 2023b). Dengan demikian, jika Indonesia hanya mengadopsi teknologi luar tanpa memahami mekanismenya, maka layanan publik dan industri dapat menggunakan sistem yang tidak akurat atau diskriminatif.

Ketiadaan talenta AI tingkat lanjut juga membuat negara sulit memastikan keamanan teknologi. Sistem yang dibangun pihak luar sering bersifat *black-box* dan sulit diaudit, sehingga membuka risiko pelanggaran privasi, kebocoran data, dan penyalahgunaan. Karena itu,

kedaulatan digital di era AI lebih ditentukan oleh kapasitas manusia daripada sekadar infrastruktur teknis.

Oleh sebab itu, investasi pada talenta AI tingkat lanjut bukan hanya strategi ekonomi, tetapi juga strategi kedaulatan dan keamanan digital. Indonesia hanya dapat mencapai kedaulatan teknologi jika mampu merancang dan mengendalikan sistem AI berdasarkan nilai dan kebutuhan bangsa sendiri.

7.1.2. Keberhasilan Ekonomi Digital Bergantung pada Penguatan Talenta AI

AI dapat meningkatkan produktivitas dengan membuat proses kerja lebih cepat dan lebih efisien, baik dari sisi alat kerja maupun tenaga manusia. AI juga membantu memperpanjang rantai industri, misalnya dengan membuka peluang usaha atau layanan baru. Selain itu, AI mendorong efisiensi inovasi teknologi dan membuat pasar bekerja lebih efektif (Cao et al., 2025; Davoyan, 2023; Hu et al., 2022; Xu, 2022). Contohnya, banyak penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AI meningkatkan *total factor productivity* (TFP) perusahaan, yaitu ukuran seberapa efisien perusahaan menggunakan semua sumber dayanya. Hasil empiris juga menunjukkan adanya hubungan positif antara adopsi AI dan kenaikan produktivitas (Cao et al., 2025). Studi lainnya menunjukkan bahwa AI memberi pengaruh besar terhadap pertumbuhan ekonomi dalam jangka panjang (Xu, 2022). Meskipun dalam jangka pendek mungkin ada beberapa efek yang menghambat (misalnya akibat penyesuaian teknologi atau perubahan pekerjaan), manfaat jangka panjangnya jauh lebih besar seperti peningkatan pertumbuhan ekonomi dan efisiensi produksi. Disamping itu, AI dapat mengurangi beban kerja administratif, mempercepat pengambilan keputusan, dan menciptakan peluang layanan baru. Bagi negara berkembang seperti Indonesia, manfaat transformasi AI berpotensi mempercepat lompatan pertumbuhan ekonomi (*economic leapfrogging*).

Namun demikian, pertumbuhan ekonomi berbasis AI tidak datang secara otomatis. Tanpa talenta yang kompeten, organisasi atau perusahaan hanya akan menjadi pengguna pasif sistem impor dan kesulitan mengadaptasi AI ke proses bisnis lokal. Menurut Shahidi et al. (2024), kekurangan talenta di bidang AI ini merupakan salah satu hambatan paling kritis bagi pertumbuhan ekonomi digital. Temuan dari survei World Economic Forum (2025b) juga menempatkan kesenjangan keterampilan (*skill gap*) sebagai hambatan transformasi bisnis yang paling sering dilaporkan. Ini alasan mengapa investasi pada pendidikan, pelatihan, dan riset AI sangat penting untuk mendorong pertumbuhan ekonomi yang bertumpu pada inovasi. Tanpa penanganan sistemik, kekurangan talenta akan memperdalam ketergantungan Indonesia pada teknologi asing.

7.1.3. Transformasi Pemerintahan dan Pelayanan Publik

AI memiliki potensi besar untuk merevolusi pelayanan publik di Indonesia melalui peningkatan efisiensi birokrasi, akurasi data, dan kecepatan respons layanan. Teknologi ini mulai dimanfaatkan dalam pembangunan infrastruktur cerdas dan *smart city*, yang terbukti mampu meningkatkan kualitas layanan publik (Mahusin et al., 2025; Suling et al., 2022). AI juga berperan penting dalam memperkuat kebijakan berbasis bukti. Salah satu contoh yang sudah banyak dikutip adalah penggunaan AI dalam memprediksi wabah, memetakan penyebaran, dan merumuskan strategi intervensi seperti pembatasan mobilitas, sehingga pemerintah dapat merespons darurat kesehatan publik dengan lebih cepat, tepat, dan efektif (Hasan et al., 2023).

Selain itu, AI memungkinkan otomatisasi berbagai tugas administratif yang sifatnya berulang, sehingga pekerjaan bisa diselesaikan lebih cepat dan tidak memakan banyak waktu (Tveita & Hustad, 2025). Contohnya, layanan pelanggan berbasis AI dapat memberikan respons dalam 20-55 detik, sementara sistem AI untuk pengelolaan sumber

daya mampu meningkatkan tingkat pemanfaatan hingga sekitar 85% (Zhou et al., 2025).

Seluruh potensi ini hanya dapat dimaksimalkan apabila Indonesia memiliki talenta AI yang kuat dan memadai untuk merancang, mengimplementasikan, serta mengawasi penerapan AI secara bertanggung jawab agar berdampak optimal bagi pelayanan publik.

7.1.4. Pentingnya Kerangka Regulasi dan Tata Kelola AI yang Kuat

Tata kelola dan etika AI sangat penting untuk memastikan bahwa teknologi ini digunakan secara bertanggung jawab, transparan, dan adil. Pesatnya perkembangan AI juga menimbulkan berbagai tantangan etis dan risiko baru, sehingga diperlukan regulasi serta sistem pengawasan yang kuat. Berikut adalah beberapa tantangan etis dan risiko dari AI:

a) Diskriminasi Algoritmik dan Bias Data
   Sistem AI dapat mengulang atau memperkuat bias dalam data pelatihannya, sehingga keputusan yang dihasilkan berpotensi tidak adil (Guan et al., 2022; Kandeel et al., 2024).

b) Pelanggaran Privasi
   Agar dapat bekerja dengan baik, AI sering memerlukan data dalam jumlah besar, sehingga pengumpulan data yang berlebihan dapat mengancam privasi individu (Kandeel et al., 2024; Raghuwanshi et al., 2025).

c) Akuntabilitas dan Transparansi
   Tidak selalu jelas pihak yang bertanggung jawab atas kesalahan keputusan AI. Selain itu, kompleksitas algoritma AI sering menyulitkan pemahaman dan menghambat transparansi (Guan et al., 2022; Kandeel et al., 2024).

d) Ketidakpastian Teknologi
AI memiliki sifat sulit diprediksi dan berpotensi menimbulkan risiko baru yang belum terbayangkan sebelumnya (Guan et al., 2022).

e) Risiko Geopolitik
Selain berbagai risiko tersebut, aspek geopolitik juga perlu diperhatikan. Ketergantungan pada perusahaan global seperti Google, OpenAI, atau Huawei dapat menimbulkan risiko terhadap kontrol teknologi dan ekonomi.

Secara keseluruhan, uraian di atas menegaskan bahwa tanpa talenta AI yang memadai, Indonesia tidak hanya gagal mengendalikan risiko dan menghadapi tantangan AI, tetapi juga kehilangan banyak manfaat besar dari teknologi ini. Dibutuhkan talenta AI yang memahami etika, konteks sosial, dan keragaman Indonesia agar AI diterapkan secara aman, adil, dan relevan. Dengan keahlian dan sensitivitas lokal, merekalah yang memastikan transformasi digital dapat berjalan secara inklusif, berdampak nyata, dan memberikan nilai tambah bagi seluruh masyarakat.

7.2. Peran Strategis Talenta AI bagi Indonesia

Dalam satu dekade terakhir, perkembangan AI telah membawa perubahan signifikan terhadap arah pembangunan global. AI tidak lagi dipandang sebagai teknologi pendukung, melainkan sebagai infrastruktur baru yang mendukung pertumbuhan ekonomi, tata kelola pemerintahan, pelayanan publik, hingga keamanan nasional. Laporan dan makalah internasional, termasuk oleh Calvino et al. (2025) dan Kaufman (2024), mengelompokkan AI sebagai *general-purpose technology* (GPT), yaitu teknologi berdampak luas yang memengaruhi berbagai sektor sekaligus, serupa dengan peran listrik pada abad ke-20 atau internet pada awal 2000-an. Perubahan skala ini menjadikan talenta AI semakin krusial, karena kemampuan suatu negara dalam memanfaatkan AI sangat ditentukan oleh kualitas sumber daya

manusia yang mengembangkan dan mengendalikannya. Berikut adalah peran strategis talenta AI nasional.

7.2.1. Fondasi Kedaulatan Digital

Percepatan kemajuan AI mendorong kompetisi global yang menempatkan talenta sebagai aset strategis. Negara-negara maju telah berinvestasi besar untuk memastikan kemampuan dalam mengembangkan dan mengendalikan teknologi AI secara mandiri. Indonesia berada dalam lanskap yang sama, tetapi masih menghadapi keterbatasan talenta serta tingginya ketergantungan pada teknologi impor. Dalam konteks ini, penguatan talenta AI nasional menjadi fondasi kedaulatan digital. Talenta lokal memungkinkan Indonesia untuk dapat merancang, mengaudit, dan mengoperasikan sistem AI secara mandiri, melindungi keamanan data nasional, serta mengurangi risiko ketergantungan strategis pada teknologi asing.

7.2.2. Penggerak Pertumbuhan Ekonomi di Era AI

Sejumlah penelitian, seperti yang dilakukan oleh Brynjolfsson & McAfee (2014), Acemoglu & Restrepo (2019), serta Agrawal et al. (2022), menunjukkan bahwa AI dapat menjadi mesin baru pertumbuhan ekonomi karena mampu meningkatkan produktivitas, menciptakan jenis pekerjaan baru, dan mempercepat inovasi lintas sektor. Namun manfaat ini hanya dapat terwujud jika negara memiliki talenta yang mampu untuk merancang, menerapkan, dan mengelola AI secara efektif, sekaligus mampu mengadaptasikan teknologi tersebut ke konteks lokal. Di Indonesia, potensi pemanfaatan AI sangat besar di sektor pangan, manufaktur, kesehatan, pendidikan, transportasi, dan pemerintahan, tetapi semua peluang tersebut bergantung pada ketersediaan talenta yang kompeten. Kekurangan talenta AI bahkan disebut sebagai salah satu hambatan paling kritis bagi ekonomi digital (Shahidi et al., 2024), sementara World Economic

Forum (2025b) menempatkan kesenjangan keterampilan sebagai penghalang utama transformasi bisnis.

7.2.3. Penentu Kesukesan Transformasi Pemerintahan dan Layanan Publik berbasis AI

Talenta AI memegang peran strategis dalam memastikan keberhasilan transformasi pemerintahan dan peningkatan kualitas layanan publik. Penerapan AI di birokrasi, mulai dari otomatisasi proses administrasi, analitik berbasis data, hingga sistem pendukung pengambilan keputusan, memerlukan sumber daya manusia yang mampu merancang, memantau, dan mengevaluasi teknologi tersebut secara akurat. Tanpa talenta yang memadai, risiko bias, kesalahan pengambilan keputusan, hingga kegagalan sistem akan meningkat dan dapat mengurangi kepercayaan publik. Oleh karena itu, keberadaan talenta AI nasional menjadi faktor penentu agar inovasi digital di sektor publik berjalan aman, akuntabel, dan sesuai kepentingan masyarakat.

7.2.4. Pilar Tata Kelola dan Etika AI

AI beroperasi melalui perpaduan algoritma, data, dan komputasi yang membutuhkan dukungan regulasi, tata kelola, serta integrasi sistem yang kuat. Tanpa kerangka ini, risiko seperti bias algoritmik pelanggaran privasi, atau dominasi kekuatan teknologi oleh negara-negara maju (Al-Billeh et al., 2024; Barocas & Selbst, 2016; Zhao, 2025) akan semakin sulit dikelola. Ekosistem AI juga terkait erat dengan dimensi sosial, etika, pendidikan, keamanan, dan kebijakan publik yang saling mempengaruhi dan menentukan keberhasilan implementasinya. Dalam konteks ini, keberadaan talenta AI lokal menjadi krusial untuk memastikan bahwa pengembangan dan penerapan teknologi berjalan sejalan dengan nilai, kebutuhan, dan keberagaman Indonesia.

Beragam peran strategis talenta AI menunjukkan bahwa SDM merupakan faktor penentu utama dalam keberhasilan pemanfaatan teknologi AI. Namun, tantangan pengembangannya masih besar, mulai dari keterbatasan kurikulum tingkat lanjut, minimnya instruktur hingga infrastruktur komputasi yang belum memadai. Kondisi ini menuntut strategi pengembangan yang lebih terarah dan terpadu. Dengan pengembangan talenta yang sistemik dan berkelanjutan, Indonesia tidak hanya dapat mengurangi risiko ketergantungan, tetapi juga menjadikan AI sebagai sumber kekuatan ekonomi serta tata kelola digital yang lebih maju.

7.3. Rekomendasi Kebijakan untuk Pengembangan Talenta AI

Bagian ini memaparkan rekomendasi kebijakan utama berdasarkan analisis ekosistem, kebutuhan industri, kapasitas nasional, dan *international best practices*.

7.3.1. Menetapkan Program Pengembangan Talenta AI sebagai Prioritas Nasional

Pengembangan talenta AI tingkat lanjut perlu ditetapkan sebagai prioritas strategis nasional, setara dengan pembangunan infrastruktur digital dan transformasi layanan publik. Banyak negara yang berhasil membangun ekosistem AI memulainya melalui peta jalan nasional yang jelas, terukur, dan berorientasi jangka panjang. Misalnya, *AI Action Plan* Amerika Serikat (The White House, 2025), *New Generation Artificial Intelligence Development Plan* (AIDP) China (The State Council of the People's Republic of China, 2023), dan *National AI Strategy* (NAIS) Singapura (NAIS 2.0, 2023). Semua strategi ini menempatkan pengembangan SDM sebagai salah satu inti dari pembangunan AI.

Pemerintah Indonesia perlu menyusun *roadmap* serupa yang mencakup target kuantitatif, standar kompetensi nasional, tata kelola lintas kementerian, model pendanaan berkelanjutan, dan indikator kinerja seperti jumlah riset AI berkualitas, jumlah *start-up* AI, dan kontribusi layanan publik.

7.3.2. Pengembangan Infrastruktur dan Pusat-Pusat Talenta AI Nasional

Pengembangan talenta AI tingkat lanjut tidak terlepas dari ketersediaan infrastruktur komputasi serta ekosistem pembelajaran yang memadai. Untuk itu, BPSDM Kemkomdigi sesuai dengan mandat kelembagaannya perlu menginisiasi serta mengoordinasikan pembentukan **pusat-pusat talenta AI nasional** melalui kemitraan strategis dengan perguruan tinggi, BRIN, dan pusat riset nasional yang telah memiliki jurusan maupun laboratorium terkait AI. Pusat ini menjadi rumah untuk pelatihan LLM, AI security, dan proyek riil layanan publik, sekaligus ruang uji coba kebijakan (AI *policy sandbox*). Pusat-pusat talenta AI juga harus dilengkapi dengan fasilitas komputasi mutakhir (seperti GPU, *high-performance computing* (HPC), layanan *cloud*, *sandbox* model) sehingga peserta pelatihan dapat mengembangkan kompetensi berbasis praktik dengan baik. Selain itu, penting untuk memiliki akses ke dataset riil berkualitas. Hal ini sejalan dengan yang disampaikan oleh El Belghiti et al. (2025) bahwa kualitas data yang tinggi sangat penting untuk kinerja sistem AI. Data yang buruk dapat menyebabkan malfungsi dan hasil yang tidak akurat, yang pada gilirannya dapat merusak kepercayaan terhadap sistem AI.

7.3.3. Modernisasi Kurikulum dan Model Pembelajaran Talenta AI

Kurikulum AI perlu diperbarui agar tetap relevan dengan pesatnya perkembangan teknologi global. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa lulusan yang berhasil berkarir di bidang AI bukan hanya mereka

yang menguasai teori. Pengalaman praktik, seperti melalui program magang di tahun terakhir, membantu mahasiswa mendapatkan pekerjaan yang lebih baik dan lebih sesuai dengan kebutuhan industri (Jackson & Collings, 2018). Selain itu, ***project-based learning* (pembelajaran berbasis proyek)** juga sangat efektif dalam mempersiapkan mahasiswa masuk ke dunia kerja karena mendorong pembelajaran aktif, kerja sama, serta penerapan langsung ilmu yang dipelajari pada situasi nyata (Di Virgilio et al., 2026; T. Rahman et al., 2023). Dengan demikian, pendidikan AI tingkat lanjut harus menekankan *project-based learning* di mana peserta membangun model nyata dari tahap perolehan data hingga *deployment*.

Selain itu, industri menginginkan talenta yang familiar dengan *frontier topics.* Tanpa kurikulum yang mengikuti perkembangan ini, Indonesia berisiko mencetak talenta yang tidak relevan dengan kebutuhan masa depan. Pengembangan talenta AI juga harus kontekstual terhadap tantangan dan program-program strategis pemerintah Indonesia, misalnya:

a) Perencanaan menu dan gizi program pemerintah makan bergizi gratis (MBG);
b) Optimasi Rantai Pasok (*Supply Chain*) MBG;
c) Pemantauan Kualitas dan Keamanan Pangan MBG;
d) Prediksi hasil panen untuk pertanian tropis;
e) Model AI untuk mitigasi bencana;
f) Optimasi layanan kesehatan primer;
g) dan lain-lain.

7.3.4. Insentif Retensi Talenta

Ancaman perpindahan talenta ke luar negeri **(*brain drain*)** sedang terjadi di banyak negara, dan Indonesia perlu menanganinya dengan serius. Negara-negara lain sudah memakai berbagai insentif untuk mempertahankan ahli-ahli AI terbaik, seperti beasiswa penelitian

jangka panjang, pendanaan untuk membangun *start-up*, dan jalur karir khusus untuk peneliti. Jika Indonesia tidak punya kebijakan yang kuat, para talenta terbaik bisa direkrut oleh perusahaan global. Menurut studi McKinsey (2022), talenta akan bertahan jika mereka mendapat kesempatan berkembang, fasilitas riset yang baik, dan pengakuan profesional. Dengan insentif retensi yang tepat, Indonesia bisa menjaga talenta terbaiknya agar tetap berkontribusi bagi inovasi nasional. Beberapa hal yang dapat dilakukan adalah:

a) Menyediakan jalur karir yang baik bagi para talenta AI
   Menyediakan jalur karir yang jelas dan menarik berarti memberi pekerja gambaran yang pasti tentang bagaimana mereka bisa berkembang di dalam negeri.

b) Pengembangan Infrastruktur
   Indonesia perlu membangun infrastruktur ilmu pengetahuan dan teknologi yang kuat. Ini berarti pemerintah harus berinvestasi dalam fasilitas riset, pusat inovasi, dan kawasan teknologi, agar para profesional AI memiliki tempat dan sarana yang memadai untuk bekerja dan berkembang (Suntharasaj & Kocaoglu, 2008).

c) Dukungan Pemerintah dan Sektor Swasta
   Untuk menciptakan lingkungan yang baik bagi para ahli AI, dibutuhkan dukungan besar dari pemerintah dan sektor swasta. Dukungan ini bisa berupa pendanaan, penyediaan sumber daya, serta kebijakan yang jelas dan berpihak pada perkembangan teknologi AI (Suntharasaj & Kocaoglu, 2008).

d) Lingkungan Kerja yang Kompetitif
   Menyediakan peluang karir yang baik dan lingkungan kerja yang mendukung dapat membantu mempertahankan tenaga ahli. Caranya antara lain dengan memberi gaji yang bersaing, peluang naik jabatan, dan budaya kerja yang sehat serta suportif (Narymbaeva et al., 2024).

e) Pengembangan Profesional
Memberikan kesempatan pelatihan yang mudah diakses dan mengurangi beban kerja yang terlalu berat dapat meningkatkan kepuasan kerja dan membuat orang lebih betah bertahan di tempat kerja (Brownie & Oywer, 2016).

f) Kemitraan Global
Membangun kerja sama dengan lembaga dan universitas di luar negeri dapat memperkuat ekosistem riset dalam negeri serta membuka peluang bagi talenta lokal untuk dikenal di tingkat internasional (Narymbaeva et al., 2024).

g) Program Repatriasi
Membuat program yang mampu menarik para profesional dan ilmuwan hebat untuk pulang dan bekerja di negara asal dapat membantu membalikkan masalah *brain drain* (Suntharasaj & Kocaoglu, 2008).

Secara umum, pemerintah perlu menangani dua sisi sekaligus: faktor pendorong yang membuat orang pergi (seperti kondisi kerja yang kurang baik atau minimnya peluang), dan faktor penarik yang membuat mereka memilih bekerja di luar negeri (seperti kesempatan karir yang lebih besar). Keduanya harus dijawab melalui kebijakan yang menyeluruh dan berkelanjutan, sehingga talenta terbaik tidak hanya bertahan, tetapi juga terdorong untuk kembali dan berkontribusi bagi pembangunan nasional.

7.3.5. Kolaborasi Pemerintah – Industri – Akademisi

Ekosistem AI tidak akan berkembang tanpa kolaborasi erat antara pemerintah, industri, dan akademisi. Model *triple helix*—yang menekankan sinergi ketiga aktor—terbukti mampu mempercepat inovasi di banyak negara (Etzkowitz, 2008). Industri membutuhkan solusi nyata dan talenta yang siap kerja, perguruan tinggi memerlukan akses terhadap data serta permasalahan riil, sementara pemerintah

membutuhkan solusi AI untuk meningkatkan layanan publik. Ketiganya saling bergantung, dan kolaborasi dapat diwujudkan dalam bentuk:

a) Perancangan kurikulum dengan mitra industri;
b) Program magang dan mentoring;
c) Riset bersama dengan pendanaan bersama;
d) Laboratorium inovasi lintas sektoral (co-creation labs);
e) Kompetisi nasional yang melibatkan kementerian, pemda, dan perusahaan;
f) Pusat pelatihan berbasis proyek nyata pemerintahan.

Kerja sama antara perguruan tinggi, dunia usaha, dan pemerintah telah menghasilkan program pelatihan baru dan *platform* digital yang membuat pendidikan dan pelatihan menjadu lebih berkualitas dan lebih sesuai dengan kebutuhan saat ini (Amante & Fernandes, 2023; Okafor et al., 2025; Truong et al., 2025). Pelatihan keterampilan digital yang dilakukan secara kolaboratif terbukti memberi hasil belajar yang lebih baik dibandingkan dengan cara tradisional. Sebuah riset yang dilakukan oleh Dahri et al. (2025) menemukan bahwa penggunaan pelatihan digital berbasis kerja sama bisa meningkatkan hasil belajar hingga 64%. Di Indonesia, kolaborasi ini sangat penting mengingat banyak tantangan lokal memerlukan pemahaman konteks daerah, kebijakan, dan industri.

7.3.6. Tata Kelola dan Etika AI sebagai Kurikulum Wajib

Semakin canggih teknologi AI, semakin besar pula risiko sosialnya. Studi yang dilakukan oleh Barocas dan Selbst (2016) menunjukkan bahwa sistem AI dapat menciptakan bias dan diskriminasi jika tidak dirancang secara hati-hati. Karena itu, pelatihan AI tingkat lanjut harus menyertakan modul etika, bias algoritma, *fairness*, keamanan model, dan privasi sebagai kurikulum wajib.

Selain melindungi masyarakat, pemahaman etika AI membuat talenta nasional mampu membangun sistem yang bertanggung jawab dan

sesuai regulasi global seperti EU AI Act, OECD AI Principles, dan UNESCO Recommendation on the Ethics of Aritificial Intelligence (UNESCO, 2022). Modul tata kelola juga penting untuk sektor publik, karena banyak layanan pemerintah melibatkan keputusan yang berdampak langsung pada warga. Tanpa pemahaman etika, risiko penyalahgunaan teknologi dapat meningkat. Dengan memasukkan etika ke kurikulum inti, Indonesia memastikan bahwa perkembangan AI bukan hanya cepat, tetapi juga aman, adil, dan dapat dipertanggungjawabkan.

7.3.7. Kata Penutup

Pengembangan talenta AI tingkat lanjut merupakan salah satu agenda strategis terpenting bagi Indonesia di abad ke-21. AI telah mengubah pola produksi, hubungan ekonomi, cara pemerintah memberikan layanan, hingga bagaimana masyarakat beraktivitas sehari-hari. Negara yang siap akan menikmati percepatan pembangunan, efisiensi biaya publik, inovasi industri, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Sebaliknya, negara yang tidak siap akan menghadapi ketertinggalan ekonomi, ketergantungan teknologi, dan risiko ketimpangan sosial.

Buku ini hadir sebagai upaya untuk memperluas pemahaman tentang pentingnya membangun talenta AI tingkat lanjut di Indonesia. Dengan memadukan perspektif geopolitik, teknologi, ekonomi, ketenagakerjaan, ekosistem AI, hingga strategi pelatihan dan evaluasi, buku ini memberikan kerangka yang komprehensif untuk memahami urgensi dan arah pembangunan talenta AI tingkat lanjut.

Pada akhirnya, masa depan AI Indonesia akan sangat ditentukan oleh manusia, yaitu oleh para peneliti, insinyur, praktisi, birokrat, pelatih, pendidik, dan pembuat kebijakan yang bekerja untuk membangun masa depan digital Indonesia. Teknologi AI hanyalah alat. Manusia lah

yang menentukan apakah AI akan menjadi kekuatan untuk kebaikan atau justru sumber ketimpangan baru.

Dengan komitmen jangka panjang, kolaborasi lintas sektor, dan investasi yang konsisten, Indonesia dapat membangun generasi talenta AI yang bukan hanya kompetitif secara global tetapi juga mampu membangun solusi yang sesuai dengan kebutuhan bangsa. Bila hal ini berhasil dilakukan, Indonesia tidak hanya akan menjadi pengguna teknologi, tetapi juga menjadi negara pencipta—yang mampu berkontribusi pada perkembangan AI dunia sekaligus memastikan kesejahteraan dan kedaulatan masyarakat Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Acemoglu, D. M., & Restrepo, P. M. (2018). Artificial Intelligence, Automation and Work. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.3098384

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. *American Economic Review*, *108*(6), 1488–1542. https://doi.org/10.1257/aer.20160696

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2019). Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. *Journal of Economic Perspectives*, *33*(2), 3–30. https://doi.org/10.1257/jep.33.2.3

Acemoglu, D., & Robinson, J. A. (2012). *Why nations fail: The origins of power, prosperity, and poverty* (1. edition). Crown Publishing.

Adam, L., Sarana, J., Suyatno, B., Soekarni, M., Suryanto, J., Ermawati, T., Saptia, Y., Adityawati, S., Mychelisda, E., Pamungkas, Y., Abdillah, M. R. N., Angelia, L., Thoha, M., Adam, L., Sarana, J., Suyatno, B., Soekarni, M., Suryanto, J., Ermawati, T., … Thoha, M. (2025). Driving Financial Inclusion in Indonesia with Innovative Credit Scoring. *Journal of Risk and Financial Management*, *18*(8). https://doi.org/10.3390/jrfm18080442

Adithya, R. D., Fauzi, R., & Fa'Rifah, R. Y. (2025). Sentiment Analysis on the Level of Adoption of Health Applications for Pregnant Women: Study Case with LDA and SVM. *2025 International Conference on Data Science and Its Applications (ICoDSA)*, 764–769. https://doi.org/10.1109/ICoDSA67155.2025.11157393

Aghion, P., Antonin, C., & Bunel, S. (2019). Artificial Intelligence, Growth and Employment: The Role of Policy. *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, *510-511–512*, 149–164.

Aghion, P., Jones, B. F., & Jones, C. I. (2017). *Artificial Intelligence and Economic Growth* (SSRN Scholarly Paper No. 3053718). Social Science Research Network. https://papers.ssrn.com/abstract=3053718

Agrawal, A., Gans, J., & Goldfarb, A. (2022). *Power and Prediction: The Disruptive Economics of Artificial Intelligence*. Harvard Business Review Press.

Aini, N. Q., & Septaningsih, A. C. (2025). Artificial Intelligence untuk Peningkatan Produktivitas Ternak: Pendekatan Inovatif dalam Peternakan: Artificial Intelligence for Improved Livestock productivity: Innovative Approaches in Animal Husbandry. *Jurnal Ilmiah Peternakan Halu Oleo*, *7*(1), 9–17. https://doi.org/10.56625/jipho.v7i1.234

Ajjam, M.-H., & Al-Raweshidy, H. S. (2026). AI-driven semantic similarity-based job matching framework for recruitment systems. *Information Sciences*, *724*, 122728. https://doi.org/10.1016/j.ins.2025.122728

Akram, R., Li, Q., Srivastava, M., Zheng, Y., & Irfan, M. (2024). Nexus between green technology innovation and climate policy uncertainty: Unleashing the role of artificial intelligence in an emerging economy. *Technological Forecasting and Social Change*, *209*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123820

Al-Billeh, T., Hmaidan, R., Al-Hammouri, A., & Al Makhmari, M. (2024). The Risks of Using Artificial Intelligence on Privacy and Human Rights: Unifying Global Standards. *Jurnal Media Hukum*, *31*(2), 333–350. https://doi.org/10.18196/jmh.v31i2.23480

Allen, R. C. (2009). Engels' pause: Technical change, capital accumulation, and inequality in the british industrial revolution. *Explorations in Economic History*, *46*(4), 418–435. https://doi.org/10.1016/j.eeh.2009.04.004

Al-Mushayt, O. S. (2019). Automating E-Government Services With Artificial Intelligence. *IEEE Access*, *7*, 146821–146829. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2946204

Alowais, S. A., Alghamdi, S. S., Alsuhebany, N., Alqahtani, T., Alshaya, A. I., Almohareb, S. N., Aldairem, A., Alrashed, M., Bin Saleh, K., Badreldin, H. A., Al Yami, M. S., Al Harbi, S., & Albekairy, A. M. (2023). Revolutionizing healthcare: The role of artificial intelligence in clinical practice. *BMC Medical Education*, *23*(1), 689. https://doi.org/10.1186/s12909-023-04698-z

Amante, S., & Fernandes, R. (2023). Aligning HE Pedagogical Innovation with VET, Industry, and Research Partnerships: Insights on the Demola Portugal Initiative. *Education Sciences*, *13*(1). Scopus. https://doi.org/10.3390/educsci13010093

Amodei, D., Olah, C., Steinhardt, J., Christiano, P., Schulman, J., & Mané, D. (2016). *Concrete Problems in AI Safety* (No. arXiv:1606.06565). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1606.06565

Annisa, V. N., Rafidah, R., Rahma, S., Rosmanidar, E., & Pratiwi, A. S. (2025). THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO INDONESIAN E-COMMERCE PLATFORMS AND ITS IMPACT ON DIGITAL ECONOMIC GROWTH. *Proceedings of the International Conference of Islamic Economics and Business (ICONIES)*, *11*(1), 1719–1724.

antaranews.com. (2024, November 23). *Pentingnya infrastruktur dan talenta menuju AI powerhouse global*. Antara News. https://www.antaranews.com/berita/4487309/pentingnya-infrastruktur-dan-talenta-menuju-ai-powerhouse-global

antaranews.com. (2025, August 22). *Indonesia to add coding, AI to Sekolah Rakyat curriculum*. Antara News. https://en.antaranews.com/news/374913/indonesia-to-add-coding-ai-to-sekolah-rakyat-curriculum

Arita, M. (2025). Data Sovereignty and Open Sharing: Reconceiving Benefit-Sharing and Governance of Digital Sequence Information. *Data Science Journal*, *24*, 1–5. https://doi.org/10.5334/dsj-2025-009

Ashofteh, A., & Bravo, J. M. (2021). Data science training for official statistics: A new scientific paradigm of information and knowledge development in national statistical systems. *Statistical Journal of the IAOS*, *37*(3), 771–789. https://doi.org/10.3233/SJI-210841

Atari, M., Xue, M. J., Park, P. S., Blasi, D. E., & Henrich, J. (2023a). *Which Humans?* (pp. 24–24). https://coevolution.fas.harvard.edu/publications/which-humans

Atari, M., Xue, M., Park, P., Blasi, D., & Henrich, J. (2023b, September 22). Faculty Working Paper Series. https://doi.org/10.31234/osf.io/5b26t

Autor, D. H. (2015). Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. *The Journal of Economic Perspectives*, *29*(3), 3–30.

Azriani, D., Agustian, D., Zuhairini, Y., Yulita, I. N., & Dhamayanti, M. (2025). Prediction models for stunting at 2-years-old from Indonesian newborn population. *BMC Pediatrics*, *25*(1), 718. https://doi.org/10.1186/s12887-025-06096-4

Bachnas, M. A., Andonotopo, W., Pribadi, A., Dewantiningrum, J., Adi Pramono, M. B., Sulistyowati, S., Stanojevic, M., & Kurjak, A. (2025). Fetal cardiac diagnostics in Indonesia: A study of screening and echocardiography. *Journal of Perinatal Medicine*, *53*(5), 561–575. https://doi.org/10.1515/jpm-2025-0037

bain.com. (2025, February 24). *AI: The Ambitions Are Bold, but the Talent Is Scarce*. Bain. https://www.bain.com/insights/ai-the-ambitions-are-bold-but-the-talent-is-scarce-snap-chart/

Bappenas. (2020). Strategi Nasional Kecerdasan Artifisial Indonesia 2020—2045. In *Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)* (pp. 194–194). https://ai-innovation.id/server/static/ebook/stranas-ka.pdf

BAPPENAS. (2023). *Luncurkan Rancangan Akhir RPJPN 2025-2045, Presiden Paparkan Visi Indonesia Emas 2045 | Kementerian PPN/Bappenas*. https://bappenas.go.id/berita/luncurkan-rancangan-akhir-rpjpn-2025-2045-presiden-paparkan-visi-indonesia-emas-2045-c29Ju

Barocas, S., & Selbst, A. D. (2016). Big Data's Disparate Impact. *California Law Review*, *104*(3), 671–732.

Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. *New Directions for Teaching and Learning*, *1996*(68), 3–12. https://doi.org/10.1002/TL.37219966804;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER

Barton, J. (1817). *Observations on the circumstances which influence the condition of the labouring classes of society*. Printed for John and Arthur Arch, by W. Mason, Chichester; Internet Archive. http://archive.org/details/b21947041

Beraja, M., Peng, W., Yang, D. Y., & Yuchtman, N. (2024). *Government as Venture Capitalists in AI*. https://sccei.fsi.stanford.edu/china-briefs/government-venture-capital-and-ai-development-china

Bernstein, M. J., Nielsen, M. W., Alnor, E., Brasil, A., Birkving, A. L., Chan, T. T., Griessler, E., de Jong, S., van de Klippe, W., Meijer, I., Yaghmaei, E., Nicolaisen, P. B., Nieminen, M., Novitzky, P., & Mejlgaard, N. (2022). The Societal Readiness Thinking Tool: A Practical Resource for Maturing the Societal Readiness of Research Projects. *Science and Engineering Ethics*, *28*(1), 6. https://doi.org/10.1007/s11948-021-00360-3

Birhane, A. (2021). Algorithmic injustice: A relational ethics approach. *Patterns*, *2*(2), 100205–100205. https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100205

Bogoslov, I. A., Stoica, E. A., & Dorin, B. (2024). Exploring the Relationship Between AI Adoption and the Integration of Digital Technology in Enterprises. In C. Ciurea, P. Pocatilu, & F. G. Filip (Eds.), *Proceedings of 22nd International Conference on Informatics in Economy (IE 2023)* (Vol. 367, pp. 121–136). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6529-8_11

Bondarenko, M., Lushnei, S., Paniv, Y., Molchanovsky, O., Romanyshyn, M., Filipchuk, Y., & Kiulian, A. (2025). Sovereign Large Language Models: Advantages, Strategy and Regulations. *arXiv*, 1–48. https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.04745

Bonwell, C., & Eison, J. (1991, September 1). *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom. ERIC Digest.* https://www.semanticscholar.org/paper/Active-Learning:-Creating-Excitement-in-the-ERIC-Bonwell-Eison/35eb45d51ae08fdbe2060f258fa05f8539d1aa8d

BPS. (2025). *Statistik Telekomunikasi Indonesia 2024* (No. Volume 13). Badan Pusat Statistik.

BPSDM Kominfo. (2024). *Proyeksi Ketersediaan (Supply) dan Kebutuhan (Demand) Talenta Digital Indonesia 2024—20230*. Kementrian Komunikasi dan Informatika Kementerian Komunikasi dan Informatika.

Brauner, S., Murawski, M., & Bick, M. (2025). The development of a competence framework for artificial intelligence professionals using probabilistic topic modelling. *Journal of Enterprise Information Management*, *38*(1), 197–218. https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2022-0341

Bresnahan, T. F., & Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies 'Engines of growth'? *Journal of Econometrics*, *65*(1), 83–108. https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T

Brownie, S., & Oywer, E. (2016). Health professionals in Kenya: Strategies to expand reach and reduce brain drain of psychiatric nurses and psychiatrists. *BJPsych International*, *13*(3), 55–58. https://doi.org/10.1192/S2056474000001227

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies* (First Edition). W. W. Norton & Company.

Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2018). Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. In *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (pp. 23–57). University of Chicago Press. https://www.nber.org/books-and-chapters/economics-artificial-intelligence-agenda/artificial-intelligence-and-modern-productivity-paradox-clash-expectations-and-statistics

Buyones-Gonzalez, H., & Quezada-Espinoza, M. (2024a). Artificial Intelligence in the Construction Industry: A Competency-Based Examination Through Expert Lens. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. https://www.scopus.com/pages/publications/85202023647?origin=document-preview-flyout

Buyones-Gonzalez, H., & Quezada-Espinoza, M. (2024b). *Artificial Intelligence in the Construction Industry: A Competency-Based Examination Through Expert Lens*. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings. Scopus. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85202023647&partnerID=40&md5=94d02faa1e09290bfbff6ade1d0d205c

Calo Ryan, L. P. and D. W. (2017). Artificial Intelligence Policy: A Primer and Roadmap. In UC Davis Law Review (Ed.), *University of California* (p. 435). University Of California, UC Davis.

Calvino, F., Haerle, D., & Liu, S. (2025). Is generative AI a General Purpose Technology?: Implications for productivity and policy. *OECD Artificial Intelligence Papers*. https://doi.org/10.1787/704e2d12-en

Cantú-Ortiz, F. J., Galeano Sánchez, N., Garrido, L., Terashima-Marin, H., & Brena, R. F. (2020). An artificial intelligence educational strategy for the digital transformation. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, *14*(4), 1195–1209. https://doi.org/10.1007/s12008-020-00702-8

Cao, Y., Hao, L., Kou, L., Zhou, J., & Zou, L. (2025). Whether, How and When Do Artificial Intelligence Technologies Improve Enterprise Total Factor Productivity? *Journal of Internet Technology*, *26*(2), 241–253. Scopus. https://doi.org/10.70003/160792642025032602009

Cardon, P., & Marshall, B. (2025). Defining Key Workplace Competencies in the AI Era: A Framework for AI-Powered Education. In *Teaching and Learning in the Age of Generative AI: Evidence-Based Approaches to Pedagogy, Ethics, and Beyond* (pp. 332–346). Taylor and Francis. https://doi.org/10.4324/9781032688602-20

CBRE. (2025). *Global Tech Talent 2025*. https://www.cbre.com/insights/books/global-tech-talent-guidebook-2025

Chao, W. (2018). *The Fourth Revolution: Big data & artificial intelligence*. UNESCO. https://courier.unesco.org/en/articles/fourth-revolution

Chatterjee, S. (2020). AI strategy of India: Policy framework, adoption challenges and actions for government. *Transforming Government: People, Process and Policy*, *14*(5), 757–775. https://doi.org/10.1108/TG-05-2019-0031

Cheng, Z., & Zhu, M. (2025). *Leveraging Climate and Time Zone: A Global Approach to Reducing AI's Carbon Footprint*. 1053–1059. https://doi.org/10.1145/3746709.3746888

Chui, M., Hazan, E., Roberts, R., Singla, A., Smaje, K., Sukharevsky, A., Yee, L., & Zemmel, R. (2023). The economic potential of generative AI: The next productivity frontier. *McKinsey & Company*, *June*, 1–66. https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier?cid=eml-web

Clark, G. (2007). *A Farewell to Alms: A Brief Economic History of the World* (STU-Student edition). Princeton University Press. https://www.jstor.org/stable/j.ctt7srwt

Clark, G. (2014). Chapter 5—The Industrial Revolution. In P. Aghion & S. N. Durlauf (Eds.), *Handbook of Economic Growth* (Vol. 2, pp. 217–262). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53538-2.00005-8

cnbcindonesia.com. (2018). *Ini Robot Bank di Indonesia: Cinta, Mita, Vira, dan Sabrina*. CNBC Indonesia. https://www.cnbcindonesia.com/market/20180403112007-17-9463/ini-robot-bank-di-indonesia-cinta-mita-vira-dan-sabrina

Cockburn, I. M., Henderson, R., & Stern, S. (2018). The Impact of Artificial Intelligence on Innovation: An Exploratory Analysis. In *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* (pp. 115–146). University of Chicago Press. https://www.nber.org/books-and-chapters/economics-artificial-intelligence-agenda/impact-artificial-intelligence-innovation-exploratory-analysis

Couldry, Nick, & Mejias, Ulises A. (2019). *The Costs of Connection | Stanford University Press*. https://www.sup.org/books/sociology/costs-connection

Coursera. (2025, August 8). *Artificial Intelligence (AI) Career Roadmap: Jobs and Levels Guide*. Coursera. https://www.coursera.org/resources/job-leveling-matrix-for-artificial-intelligence-career-pathways

Dahri, N. A., Yahaya, N., & Vighio, M. S. (2025). Transforming teacher education through collaborative digital innovations: An empirical study of teachers'perceptions and experiences. *Education and Information Technologies*, *30*(14), 20697–20733. Scopus. https://doi.org/10.1007/s10639-025-13583-9

Dale, R. (2025a). Sovereign AI in 2025. *Natural Language Processing*, 1312–1321. https://doi.org/10.1017/nlp.2025.10007

Dale, R. (2025b). Sovereign AI in 2025. *Natural Language Processing*, *31*(5), 1312–1321. https://doi.org/10.1017/nlp.2025.10007

Darıcı, S., Riaz, M., Demir, G., Gencer, Z. T., & Pamucar, D. (2024). How will I break AI? Post-Luddism in the AI age: Fuzzy MCDM synergy. *Technological Forecasting and Social Change*, *202*, 123327. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123327

Darwich, K. (2025). Bridging the gap: Essential soft and hard skills for the AI-driven banking workforce. In *AI's Transformative Impact on Finance, Auditing, and Investment* (pp. 123–150). IGI Global. https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0129-7.ch005

Davoyan, A. (2023). The Impact of Artificial Intelligence on Economy. *Lect. Notes Networks Syst.*, *813 LNNS*, 371–376. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47454-5_28

De Barros, V. A. M., Paiva, H. M., & Hayashi, V. T. (2023). Using PBL and Agile to Teach Artificial Intelligence to Undergraduate Computing Students. *IEEE Access*, *11*, 77737–77749. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3298294

De Falco, C. C., & Romeo, E. (2026). AI Implementation for Social Benefit. Use Cases in Public Sector. In A. Visvizi, O. Troisi, V. Corvello, & M. Grimaldi (Eds.), *Research and Innovation Forum 2024* (pp. 31–42). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78623-5_3

Dementiev, V. E. (2023). Technological sovereignty and priorities of localization of production. *Terra Economicus*, *21*(1), 6–18. https://doi.org/10.18522/2073-6606-2023-21-1-6-18

Di Virgilio, F., Puccio, A., & Manocchio, M. C. (2026). From Project-Based Learning to Employability Outcome: The Mediating Role of Skill Acquisition and Learning Engagement, Moderated by Digital Tools and AI Within a Conceptual Framework. *Lect. Notes Networks Syst.*, *1450 LNNS*, 375–390. https://doi.org/10.1007/978-981-96-7289-9_30

Dibiaggio, L., Nesta, L., & Vannuccini, S. (2024). *European sovereignty in artificial intelligence: A competence-based perspective*.

Donins, U., & Behmane, D. (2023). Challenges and Solutions for Artificial Intelligence Adoption in Healthcare – A Literature Review. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, *357 SIST*, 53–62. Scopus. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3311-2_6

Dubey, A. K., Kumar, A., Segovia Ramírez, I., & García Márquez, F. P. (2026). Machine learning and hybrid intelligence for wind energy optimization: A comprehensive state-of-the-art review. *Expert Systems with Applications*, *296*, 128926. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.128926

Dushyanthen, S., Hooley, F., Lyons, K., Parkinson, J., Trimbel, P., Conway, M., Kok, D. L., Davies, A., & Davies, A. C. (2025). Evaluating a global classroom initiative to teach machine learning applications in healthcare. *BMC Medical Education*, *25*(1), 1455. https://doi.org/10.1186/s12909-025-07918-w

El Belghiti, A., Sbai, H., & Asri, H. (2025). AI Systems Quality: A Data-Centric Perspective. *Lect. Notes Networks Syst.*, *1485 LNNS*, 73–83. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95326-2_8

Etzkowitz, H. (2008). *The triple helix: University-industry-government innovation in action*. Routledge.

europa.eu. (2025). *The AI Continent Action Plan | Shaping Europe's digital future*. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ai-continent-action-plan

Fahriza, R., & Yuliana, E. (2024). Smart Waste Management: Revolutionizing Waste Bank in Bandung (Indonesia). In A. Hamdan (Ed.), *Achieving Sustainable Business Through AI, Technology*

Education and Computer Science (Vol. 163, pp. 667–678). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-73632-2_57

Fahruri, A., Rusmanto, T., Warganegara, D. L., & Tjhin, V. U. (2025). Artificial Intelligence Adoption on Investment Platform for Robo Advisory Users in Indonesia. *JOIV : International Journal on Informatics Visualization*, *9*(3), 1077–1086. https://doi.org/10.62527/joiv.9.3.2842

Fan, D., & Liu, K. (2021). The relationship between artificial intelligence and china's sustainable economic growth: Focused on the mediating effects of industrial structural change. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(20). Scopus. https://doi.org/10.3390/su132011542

Fathurrahman, H. I. K., Azhari, A., Sutikno, T., Chin, L., Putra, P. M., Yunandha, I. D., Pratama, G. Y. R., & Purnomo, B. (2023). Indonesian Waste Database: Smart Mechatronics System. *International Journal of Robotics and Control Systems*, *3*(2), 354–363. https://doi.org/10.31763/ijrcs.v3i2.999

Feng, H. (2018). *The application of artificial intelligence in electrical automation control*. *1087*(6). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1087/6/062008

Fernand, M. P., Fernando, C. B., David, C. F., David, F. L., Emilia, G. G., Isabelle, H. T., Luis, M., Carlos, M., & José, H. O. (2022). *AI watch, Revisiting technology readiness levels for relevant artificial intelligence technologies.* Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2760/495140

fintechnews.id. (2025). Indonesia Fintech Report 2025. *Fintech News Indonesia*. https://fintechnews.id/fintech-indonesia-report-2025/

Floridi, L., & Cowls, J. (2019). A Unified Framework of Five Principles for AI in Society. *Harvard Data Science Review*, *1*(1). https://doi.org/10.1162/99608F92.8CD550D1

Franco D'Souza, R., Surapaneni, K. M., Sathyanarayanan, P., Regupathy, A., Mathew, M., Mishra, V., Kalaimathi, A. G., Sekkizhar, G., Tandon, R., Louis Palatty, P., & Mady, V. (2025). Convergence of Diverse Expertise: A Multidisciplinary Training on the Ethics of Artificial Intelligence in Healthcare Technology and Research. *Journal of Academic Ethics*, *23*(3), 885–899. Scopus. https://doi.org/10.1007/s10805-024-09593-w

Frank, M. R., Autor, D., Bessen, J. E., Brynjolfsson, E., Cebrian, M., Deming, D. J., Feldman, M., Groh, M., Lobo, J., Moro, E., Wang, D., Youn, H., & Rahwan, I. (2019). Toward understanding the impact of artificial intelligence on labor. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(14), 6531–6539.

Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, *114*, 254–280. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019

Fu, R. (2024). Analysis of the Effect of Artificial Intelligence on the Labor Market in the United States. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, *57*(1), 78–84. https://doi.org/10.54254/2754-1169/57/20230538

Fu, W., & Liu, S. (2022). An Analysis on the Training Mode of Master Students in Artificial Intelligence Field for Electronic Information Professional Degree—Take Hunan Normal University as an Example. In W. Fu & G. Sun (Eds.), *E-Learning, e-Education, and Online Training* (Vol. 454, pp. 410–422). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21164-5_32

Gaba, D. M. (2004). The future vision of simulation in health care. *BMJ Quality & Safety*, *13*(suppl 1), i2–i10. https://doi.org/10.1136/QSHC.2004.009878

Galeano, S., Hodge, N., & Ruder, A. (2025). By Degree(s): Measuring Employer Demand for AI Skills by Educational Requirements. *Federal Reserve Bank of Atlanta, Workforce Currents*. https://doi.org/10.29338/wc2025-01

Gao, J., Huang, X., & Zhang, L. (2019). Comparative Analysis between International Research Hotspots and National-Level Policy Keywords on Artificial Intelligence in China from 2009 to 2018. *Sustainability*, *11*(23), 6574. https://doi.org/10.3390/su11236574

Gohwong, S. (2026). *Large language models and geopolitical competition: Governmental power and the challenges of a VUCA world* (pp. 119–147). IGI Global. https://doi.org/10.4018/979-8-3373-1727-4.ch006

Gonzales, J. T. (2023). Implications of AI innovation on economic growth: A panel data study. *Journal of Economic Structures*, *12*(1). Scopus. https://doi.org/10.1186/s40008-023-00307-w

Google, Temasek, Bain & Co. (2025). *E-Conomy SEA 2025*.

Google.com. (n.d.). *Bangkit: Kickstart your tech career*. Retrieved November 24, 2025, from https://grow.google/intl/id_id/bangkit/?tab=machine-learning

Gozali, A. A. (2023, July 7). *Peta Regulasi AI: Bagaimana Negara-negara Mengatur Kecerdasan Buatan*. KOMPAS.com. https://tekno.kompas.com/read/2023/07/07/07000017/peta-regulasi-ai--bagaimana-negara-negara-mengatur-kecerdasan-buatan

Green, A. (2024). Artificial intelligence and the changing demand for skills in the labour market. In *OECD Artificial Intelligence Papers* (No. 14). OECD Publishing. https://ideas.repec.org//p/oec/comaaa/14-en.html

Groenwegen, P. D. (1970). Employment and Machinery: Two Classical Debates on the Effects of Automation. *Journal of Industrial Relations*, *12*(3), 348–359. https://doi.org/10.1177/002218567001200304

Guan, H., Dong, L., & Zhao, A. (2022). Ethical Risk Factors and Mechanisms in Artificial Intelligence Decision Making. *Behavioral Sciences*, *12*(9). https://doi.org/10.3390/bs12090343

Gupta, D. A., Sharma, D. A., Yadav, D. C., & Naik, D. S. K. (2025). AI FOR EFFECTIVE GOVERNANCE & INCLUSIVE DEVELOPMENT. *Lex Localis - Journal of Local Self-Government*, *23*(S5), 218–232. https://doi.org/10.52152/5dfnf906

Gurtov, V. A., Pitukhin, E. A., & Shchegoleva, L. V. (2023). Comparative analysis of professions in the field of artificial intelligence based on the competence approach. *Perspektivy Nauki i Obrazovania*, *61*(1), 142–160. https://doi.org/10.32744/pse.2023.1.9

Halim, E., Zahra, A., Maryani, Wulandhari, L. A., Fitrianah, D., & Puspita, V. (2024). Fostering Digital Innovation in Indonesia: The Role of STEM-AI Skills in Overcoming Talent Deficits and Gender Stereotypes. *2024 International Conference on Intelligent Cybernetics Technology & Applications (ICICyTA)*, 714–719. https://doi.org/10.1109/ICICYTA64807.2024.10912915

Hammer, A., & Karmakar, S. (2021). Automation, AI and the Future of Work in India. *Employee Relations: The International Journal*, *43*(6), 1327–1341. https://doi.org/10.1108/ER-12-2019-0452

Han, K & Park, J. (2025). A Multi-Criteria Approach toward Accelerating for Artificial Intelligence Business Ecosystems: A Perspective of AI Startups. *PROCEEDINGS OF THE 58TH HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES*.

Haque, M. A., & Siddique, H. R. (2026). Generative artificial intelligence and large language models in smart healthcare applications: Current status and future perspectives. *Computational Biology and Chemistry*, *120*(P1), 108611–108611. https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2025.108611

Harintama, F., & Muslimin, A. I. (2024). Enhancing EFL Teaching in Indonesian Islamic Senior High Schools Through Artificial Intelligence Integration. *Schemata: Jurnal Pascasarjana UIN Mataram*, *13*(2), 111–122. https://doi.org/10.20414/schemata.v13i2.11818

Hasan, Md. M., Islam, M. U., Sadeq, M. J., Fung, W.-K., & Uddin, J. (2023). Review on the Evaluation and Development of Artificial Intelligence for COVID-19 Containment. *Sensors*, *23*(1). https://doi.org/10.3390/s23010527

Hatemo, S., Weickhardt, C., Gisler, L., & Bendel, O. (2025). Revisiting the Trolley Problem for AI: Biases and Stereotypes in Large Language Models and their Impact on Ethical Decision-Making. *AAAI Spring Symposium - Technical Report*, *5*(1), 213–219. https://doi.org/10.1609/aaaiss.v5i1.35590

Hellmeier, M., Pampus, J., Qarawlus, H., & Howar, F. (2023). Implementing Data Sovereignty: Requirements & Challenges from Practice. *Proceedings of the 18th International Conference on Availability, Reliability and Security*, 1–9. https://doi.org/10.1145/3600160.3604995

Hidayatullah, A. A., Fitria, D., Lusiani, R., Nindy Fatliana, A., Mauluddin, Y., & Husniah, H. (2024). The Role of Digital Technology in Improving the Efficiency and Quality of BPJS Health Services: Concept Overview. *2024 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ICISS62896.2024.10751370

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, *88*(1), 28–54. https://doi.org/10.1002/SCE.10106

Hu, W., Xu, C., Duan, Y., & Zhao, W. (2022). *Discussion on the Impact of Artificial Intelligence to China's Economy: - From the Perspective of Theoretical Mechanism, Industrial Structure and so on*. 107–110. Scopus. https://doi.org/10.1109/ACIE55485.2022.00030

Huang, H. (2025). AI Meets Higher Education: Applying Artificial Intelligence to Personalized Learning Platforms. *Innovation in Science and Technology*, *4*(2), 43–50. https://doi.org/10.56397/IST.2025.02.04

Huang, Y., Ling, L., & Liu, Y. (2024). Integrating AI into Biology Education: Classifying Edible and Poisonous Mushrooms Using Machine Learning. *2024 5th International Conference on Computer Engineering and Intelligent Control, ICCEIC 2024*, 346–352. https://doi.org/10.1109/ICCEIC64099.2024.10775456

Hung, H. T. (2025). Exploring China's cyber sovereignty concept and artificial intelligence governance model: A machine learning approach. *Journal of Computational Social Science*, *8*(1), 24. https://doi.org/10.1007/s42001-024-00346-8

Inamdar, S., & Kumar, S. V. S. (2025). Generative AI in education industry: Job displacement, job opportunities, and ethical considerations. *Digital Transformation and Sustainability of Business*, 684–688. https://doi.org/10.1201/9781003606185-163/GENERATIVE-AI-EDUCATION-INDUSTRY-JOB-DISPLACEMENT-ETHICAL-CONSIDERATIONS-SABA-INAMDAR-VENKATA-SIVA-KUMAR

Indarti, T., Fanani, U. Z., Nasrullah, R., Septiana, H., & Afdholy, N. (2024). Innovative artificial intelligence (AI) technology learning support for Indonesian language teachers at a junior high school in Tuban. *Transformasi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, *20*(2), 438–452. https://doi.org/10.20414/transformasi.v20i2.11317

Issakova, A. (2025). *The truth no one wants to say: Most countries will never have sovereign AI*. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/alexissakova_the-truth-no-one-wants-to-say-most-countries-activity-7401959664495788032-2jNQ/

Jackson, D., & Collings, D. (2018). The influence of Work-Integrated Learning and paid work during studies on graduate employment and underemployment. *Higher Education*, *76*(3), 403–425. https://doi.org/10.1007/s10734-017-0216-z

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Artificial Intelligence Applications for Industry 4.0: A Literature-Based Study. *Journal of Industrial Integration and Management*, *07*(01), 83–111. https://doi.org/10.1142/S2424862221300040

Jhonnerie, R., Oktorini, Y., Volcherina Darlis, V., Pebriandi, P., Prianto, E., Fatmawati, R., Nofrizal, N., Ramses, R., Miswadi, M., & Rahmatdillah, R. (2024). Integration of generative artificial intelligence and Google Earth Engine for mangrove land cover mapping. *BIO Web of Conferences*, *136*, 03002. https://doi.org/10.1051/bioconf/202413603002

Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence 2019 1:9*, *1*(9), 389–399. https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2

Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A. (1998). *(PDF) Cooperative Learning Returns To College What Evidence Is There That It Works?* https://www.researchgate.net/publication/220041868_Cooperative_Learning_Returns_To_College_What_Evidence_Is_There_That_It_Works

Jonathan, G. M., & Han, S. (2026). GenAI in Public Sector Transformation: Balancing Promise and Prudence. In A. Kő, F. Buccafurri, G. Kotsis, A. M. Tjoa, & I. Khalil (Eds.), *Electronic Government and the Information Systems Perspective* (pp. 105–121). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-032-02225-7_8

Jonnala, S., Swamy, B., & Thomas, N. M. (2025). Geopolitical Bias in Sovereign Large Language Models: A Comparative Mixed-Methods Study. *Journal of Research, Innovation and Technologies*, *4*(2(8)), 173–192. https://doi.org/10.57017/jorit.v4.2(8).04

Joshi, D. (2024). AI governance in India – law, policy and political economy. *Communication Research and Practice*, *10*(3), 328–339. https://doi.org/10.1080/22041451.2024.2346428

Kalai, M., Becha, H., & Helali, K. (2024). Effect of artificial intelligence on economic growth in European countries: A symmetric and asymmetric cointegration based on linear and non-linear ARDL approach. *Journal of Economic Structures*, *13*(1). Scopus. https://doi.org/10.1186/s40008-024-00345-y

Kandeel, M. E., Hamza, E. A., & Elrefae, G. (2024). AI Governance: A General Perspective. *Glob. Congr. Emerg. Technol., GCET*, 195–201. https://doi.org/10.1109/GCET64327.2024.10934585

Kanokogi, H. (2022). Case Study: AI-Based Autonomous Control. *InTech*, *69*(5), 23–25.

Kaufman, D. (2024). Logic and foundations of artificial intelligence and society's reactions to maximize benefits and mitigate harm. *Filosofia Unisinos*, *25*(1). https://doi.org/10.4013/fsu.2024.251.10

Kaur, N., Sahay, S., & Dixit, S. (2024). Role of Artificial Intelligence (AI)-aided Internet of Things (IoT) Technologies in Business and Production. In *Advanced IoT Technologies and Applications in the Industry 4.0 Digital Economy* (pp. 29–41). Scopus. https://doi.org/10.1201/9781003434269-2

Kazimova, D., Serikbayeva, N., Samashova, G., Zatyneyko, A., & Sarsenbayeva, B. (2025). Evaluating the impact of pattern recognition on AI skills development in universities. *Frontiers in Education*, *10*. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1592209

Kemdikbud.go.id. (2022). *Program Bangkit*. https://lldikti15.kemdikbud.go.id/4430/

Kemenbudristek. (2024). *Panduan Penggunaan Generative Artificial Intelligence pada Pembelajaran di Perguruan Tinggi*.

Kemenkes RI. (2024). *Profil Kesehatan Indonesia 2024*.

KEMENKOEKON. (2023). *Wujudkan Transformasi Ekonomi Mendukung Indonesia Emas 2045, Menko Airlangga Ungkap Keberanian Membuat Lompatan Besar—Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia*. https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/5263/wujudkan-transformasi-ekonomi-mendukung-indonesia-emas-2045-menko-airlangga-ungkap-keberanian-membuat-lompatan-besar

Keynes, J. M. (2010). Economic Possibilities for Our Grandchildren. In J. M. Keynes (Ed.), *Essays in Persuasion* (pp. 321–332). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1007/978-1-349-59072-8_25

Khan, M. I., Mohamad, M., Naim, A., Balqis, N., Magd, H., Khan, M. F., & Malik, P. K. (2025). Applications of AI in Sustainable Medical Practices: A Case Study Approach in Indonesia. In A. Naim (Ed.), *Advances in Computational Intelligence and Robotics* (pp. 243–266). IGI Global Scientific Publishing. https://doi.org/10.4018/979-8-3373-3017-4.ch009

Khanal, S., Zhang, H., & Taeihagh, A. (2025). Development of New Generation of Artificial Intelligence in China: When Beijing's Global Ambitions Meet Local Realities. *Journal of Contemporary China*, *34*(151), 19–42. https://doi.org/10.1080/10670564.2024.2333492

Knox, J. (2020). Artificial intelligence and education in China. *Learning, Media and Technology*, *45*(3), 298–311. https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1754236

Kolb, D. A. (1984). Experiential Learning: Experience as The Source of Learning and Development. *Prentice Hall, Inc.*, *1984*, 20–38. https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7223-8.50017-4

KOMINFO. (2024). *Proyeksi Ketersediaan (Supply) dan Kebutuhan (Demand) Talenta Digital Indonesia 2024-2030*.

Kovari, A. (2025). A systematic review of AI-powered collaborative learning in higher education: Trends and outcomes from the last decade. *Social Sciences & Humanities Open*, *11*, 101335. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101335

Kumar, S. (2025). *An Analytical Study of Impact of AI on Employment*. International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET. Scopus. https://doi.org/10.1109/ICETETSIP64213.2025.11156570

Kushwaha, S. (2023). *A Futuristic Perspective on Artificial Intelligence*. 2022 OPJU International Technology Conference on Emerging Technologies for Sustainable Development, OTCON 2022. https://doi.org/10.1109/OTCON56053.2023.10113980

Lane, M. (2024). *Who will be the workers most affected by AI?: A closer look at the impact of AI on women, low-skilled workers and other groups*. OECD. https://doi.org/10.1787/14dc6f89-en

Larner, W. (2015). Globalising knowledge networks: Universities, diaspora strategies, and academic intermediaries. *Geoforum*, *59*, 197–205. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2014.10.006

Latifah, R. (2025). Literature Review: Strategi Guru dalam Menggunakan Aplikasi Artificial Intelligence di Indonesia. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, *6*(1), 1660–1669. https://doi.org/10.54373/imeij.v6i1.2729

Latiffianti, E., Arthur Fathurrahman, M., Fahmi Ramadhan, M., & Kezia Himawan, J. (2024). An Integrated Circular Waste Management System: A Conceptual Design. *2024 IEEE Technology & Engineering Management Conference - Asia Pacific (TEMSCON-ASPAC)*, 1–8. https://doi.org/10.1109/TEMSCON-ASPAC62480.2024.11024696

Li, B., & Sun, R. (2024). Construction of an AI Literacy General Education Curriculum Based on "Knowledge-Skills" Navigation. *Journal of Library and Information Science in Agriculture*, *36*(8), 34–42. Scopus. https://doi.org/10.13998/j.cnki.issn1002-1248.24-0670

Li, L., Huang, W., & Liu, B. (2025). A Research-Oriented Model for Artificial Intelligence Education: Integrating Multidisciplinary Approaches to Foster Innovation and Holistic Learning. *ICETM 2024 - Proceedings of the 2024 7th International Conference on Educational Technology Management*, 480–485. https://doi.org/10.1145/3711403.3711481

Lincy, S. S. B. T. (2024). Artificial intelligence (AI) driven industrial automation. In *Industry Automation: The Technologies, Platforms and Use Cases* (1st ed., pp. 85–100). River Publishers.

Lu, C., & Lu, A. J. (2023). Attempts and Challenges in Establishing an Undergraduate AI Major. *2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1–8. https://doi.org/10.1109/FIE58773.2023.10343345

Luo, X., & Lin, Y. (2024). Graduate Student Digital Literacy Promotion Pathway Driven by AIGC. *Journal of Library and Information Science in Agriculture*, *36*(9), 70–77. Scopus. https://doi.org/10.13998/j.cnki.issn1002-1248.24-0596

Luong, N., & Konaev, M. (2023). *In & Out of China: Financial Support for AI Development*. Center for Security and Emerging Technology. https://cset.georgetown.edu/article/in-out-of-china-financial-support-for-ai-development/

Mahusin, N., Sallehudin, H., Singh, D., Falaki, N., Alzoubi, M. R., Alshurideh, M. T., Shelash, S. I., Mohammad, A. A. S., & Alzyoud, M. (2025). Leveraging AI for Public Good: Challenges and Strategies for Implementing AI in the Public Sector. In *Studies in Computational Intelligence* (Vol. 1173, pp. 549–565). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-031-73899-9_42

Malau, D. N., Setiawan, A. D., & Hidayatno, A. (2020). Model Conceptualization on Startup Company Development and Valuation in Indonesia. *2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, 298–302. https://doi.org/10.1109/ICIEA49774.2020.9102089

Malthus, T. (1798). *An Essay on the Principle of Population*. Printed for J. Johnson, in St. Paul's Church-Yard.

Mankins, J. (1995). *Technology Readiness Level – A White Paper*.

Maria, S., Rachmawaty, A., & Aini, R. N. (2024). Artificial Intelligence and Labour Markets: Analyzing Job Displacement and Creation. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*, *4*(4), 284–290. Scopus. https://doi.org/10.52088/ijesty.v4i4.830

Maslej, N., Fattorini, L., Perrault, R., Gil, Y., Parli, V., Kariuki, N., Capstick, E., Reuel, A., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ligett, K., Lyons, T., Manyika, J., Niebles, J. C., Shoham, Y., Wald, R., Walsh, T.,

Hamrah, A., Santarlasci, L., … Oak, S. (2025). *Artificial Intelligence Index Report 2025* (Version 3). arXiv. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2504.07139

Masoud, N. (2025). Artificial intelligence and unemployment dynamics: An econometric analysis in high-income economies. *Technological Sustainability*, *4*(1), 30–50. Scopus. https://doi.org/10.1108/TECHS-04-2024-0033

Mazzeo, J. (2024). A Strategic Roadmap for Corporate Excellence in AI. *Research-Technology Management*, *67*(6), 27–32. https://doi.org/10.1080/08956308.2024.2400001

McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2017). *Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future*. W. W. Norton & Company.

McCulloch, J. R. (1821). *The opinions of Messrs Say, Sismondi , and Malthus, on the effects of machinery and accumulation, stated and examined*. London. http://archive.org/details/opinionsofmessrs00lond

McKinsey. (2024). *The state of AI in early 2024*. McKinsey&Compacy. https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-2024

McLaughlin, J. A., & Jordan, G. B. (1999). Logic models: A tool for telling your programs performance story. *Evaluation and Program Planning*, *22*(1), 65–72. https://doi.org/10.1016/S0149-7189(98)00042-1

Megavitry, R., Harsono, I., Widodo, I., & Sarungallo, A. S. (2024). Pengukuran Efektivitas Sistem Informasi Pangan dan Keterjangkauan Pangan Sehat terhadap Keamanan Pangan di Indonesia. *Jurnal Multidisiplin West Science*, *3*(03), 334–343. https://doi.org/10.58812/jmws.v3i03.1058

Microsoft.com. (2024). *Kemkomdigi dan Microsoft Luncurkan elevAIte Indonesia: Bekali 1 Juta Talenta dengan Keterampilan AI*. https://news.microsoft.com/id-id/2024/12/02/kemkomdigi-dan-microsoft-luncurkan-elevaite-indonesia-bekali-1-juta-talenta-dengan-keterampilan-ai/?msockid=27764091726566920972 53ff733f67de

Miller, G. E. (1990). The assessment of clinical skills/competence/performance. *Academic Medicine: Journal of the Association of American Medical Colleges*, *65*(9 Suppl), S63-67. https://doi.org/10.1097/00001888-199009000-00045

Mitchell, M., Wu, S., Zaldivar, A., Barnes, P., Vasserman, L., Hutchinson, B., Spitzer, E., Raji, I. D., & Gebru, T. (2019). Model Cards for Model Reporting. *Proceedings of the Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 220–229. https://doi.org/10.1145/3287560.3287596

Mittelstadt, B. (2019). Principles alone cannot guarantee ethical AI. *Nature Machine Intelligence 2019 1:11*, *1*(11), 501–507. https://doi.org/10.1038/S42256-019-0114-4

Moghior, C. (2022). European Digital Sovereignty: An Analysis of Authority Delegation. *Romanian Journal of European Affairs*, *22*(1), 104–121.

Morley, J., Floridi, L., Kinsey, L., & Elhalal, A. (2020). From What to How: An Initial Review of Publicly Available AI Ethics Tools, Methods and Research to Translate Principles into Practices. *Science and Engineering Ethics*, *26*(4), 2141–2168. https://doi.org/10.1007/s11948-019-00165-5

Mouloudj, K., Le, V. L. O., Bouarar, A., Bouarar, A. C., Asanza, D. M., & Srivastava, M. (2023). Adopting artificial intelligence in healthcare: A narrative review. In *The Use of Artificial Intelligence in Digital Marketing: Competitive Strategies and Tactics* (pp. 1–20). Scopus. https://doi.org/10.4018/978-1-6684-9324-3.ch001

Mügge, D. (2024). EU AI sovereignty: For whom, to what end, and to whose benefit? *Journal of European Public Policy*, *31*(8), 2200–2225. https://doi.org/10.1080/13501763.2024.2318475

NAIS 2.0. (2023). *NAIS 2.0: AI for the Public Good For Singapore and the World*. Smart Nation Singapore. https://www.smartnation.gov.sg/initiatives/national-ai-strategy/

Nalini, M. (2024). Industry Automation: The Contributions of Artificial Intelligence (AI). In P. Raj, A. Kumar, A. Kumar, & N. Singhal (Eds.), *Industry Automation: The Technologies, Platforms and Use Cases* (1st ed.). River Publishers. https://doi.org/10.1201/9781003516668

Nam, J., Jung, Y., & Kim, J. (2024). Understandings of the AI business ecosystem in South Korea: AI startups' perspective. *Telecommunications Policy*, *48*(6), 102763. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2024.102763

Nanalyze.com. (2019). *Top-11 Artificial Intelligence Startups in Indonesia*. Nanalyze. https://www.nanalyze.com/2019/01/artificial-intelligence-indonesia/

Nanni, R., Bizzaro, P. G., & Napolitano, M. (2024). The false promise of individual digital sovereignty in Europe: Comparing artificial intelligence and data regulations in China and the European Union. *Policy & Internet*, *16*(4), 711–726. https://doi.org/10.1002/poi3.424

Narymbaeva, A., Rakhymzhanov, Y., Abdukarimova, Z., Osmanova, G., Satbayeva, A., & Alimbetova, A. (2024). EXPLORING INTELLECTUAL AND EDUCATIONAL MIGRATION IN KAZAKHSTAN: DOCUMENTARY ANALYSIS. *Access to Justice in Eastern Europe*, *7*(4), 317–346. https://doi.org/10.33327/AJEE-18-7.4-a000128

Ndiaye, S. M. (2025). Building Trustworthiness as a Requirement for AI in Africa: Challenges, Stakeholders and Perspectives. In D. O. Eke, K. Wakunuma, S. Akintoye, & G. Ogoh (Eds.), *Trustworthy AI:*

African Perspectives (pp. 41–67). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-75674-0_3

Nilsson, N. J. (1984). Artificial Intelligence, Employment, and Income. *AI Magazine*, *5*(2), Article 2. https://doi.org/10.1609/aimag.v5i2.433

Nugroho, A. Y., Prasetyo, A. D. P., & Sarwono, A. W. (2025). COLLABORATION IN THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED TECHNOLOGY IN HERITAGE TOURISM DESTINATIONS CASE STUDY: TAMAN SARI YOGYAKARTA. *Multidisciplinary Indonesian Center Journal (MICJO)*, *2*(3), 3590–3599. https://doi.org/10.62567/micjo.v2i3.1057

Nurhidayat, D. (2025). *Lemahnya Dukungan Terhadap Riset dan Inovasi di Indonesia*. Media Indonesia. https://mediaindonesia.com/humaniora/774544/lemahnya-dukungan-terhadap-riset-dan-inovasi-di-indonesia

Nuryanto, U., Yusuf, F., Junedi, B., Pratiwi, I., & Basrow, B. (2025). The role of AI and big data in increasing the success of e-commerce assistance and its implications on the quality of MSME capacity development models with disabilities. *International Journal of Data and Network Science*, *9*(4), 1175–1192.

OECD. (2024). ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE CHANGING DEMAND FOR SKILLS IN THE LABOUR MARKET. *OECD Publishing*, *April 2024*(14). https://doi.org/10.32609/0042-8736-2023-11-65-80

Okafor, I. S., Okoro, E. E., Egbe, T. I., Ajimijaye, O. S., & Emeka-Duruzor, T. (2025). *Leveraging NCDMB-CypherCrescent-University Synergy for Curriculum Innovation: Integrating SEPAL Enterprise into Petroleum Engineering Education in Nigeria*. Society of Petroleum Engineers - SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition, NAIC 2025. Scopus. https://doi.org/10.2118/228809-MS

Olmstead, A. L., & Rhode, P. W. (2001). Reshaping The Landscape: The Impact And Diffusion Of The Tractor In American Agriculture, 1910–1960. *The Journal of Economic History*, *61*(3), 663–698. https://doi.org/10.1017/S0022050701030042

Olugboja, A. (2025). Integrating AI and Data Mining Tools into Information Systems Courses-A Case Study of Successes, Challenges, and Student Outcomes. *2025 14th International Conference on Educational and Information Technology, ICEIT 2025*, 476–483. https://doi.org/10.1109/ICEIT64364.2025.10975941

Omirali, A., Kozhakhmet, K., & Zhumaliyeva, R. (2025). Digital Trust in Transition: Student Perceptions of AI-Enhanced Learning for Sustainable Educational Futures. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(17). Scopus. https://doi.org/10.3390/su17177567

Ondrusch, N., & Quandt, V. (2025). AI Education: Fostering Interdisciplinary Collaboration for Ethical and User-Centred AI Development. *Lecture Notes in Computer Science*, *15770 LNCS*, 262–276. https://doi.org/10.1007/978-3-031-93864-1_18

Ormond, E. (2025). *Reimagining AI Governance in Africa: The Case for a Multistakeholder Model*. *September*.

Othman, A. T. (2025). Analyzing the Impact of Implementing Artificial Intelligence on Productivity and Job Opportunities in Iraqi Technology Companies. In *Studies in Systems, Decision and Control* (Vol. 597, pp. 549–563). Scopus. https://doi.org/10.1007/978-3-031-90271-0_39

Oxford Insights. (2024). *Government AI Readiness Index*.

Ozkaya, G., & Demirhan, A. (2023). Analysis of Countries in Terms of Artificial Intelligence Technologies: PROMETHEE and GAIA Method Approach. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(5). https://doi.org/10.3390/su15054604

Perkmann, M., Tartari, V., McKelvey, M., Autio, E., Broström, A., D'Este, P., Fini, R., Geuna, A., Grimaldi, R., Hughes, A., Krabel, S., Kitson, M., Llerena, P., Lissoni, F., Salter, A., & Sobrero, M. (2013). Academic engagement and commercialisation: A review of the literature on university-industry relations. *Research Policy*, *42*(2), 423–442. https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.09.007

Phan, H. T., Pham, H. T., Nguyen, T. C., & Phuoc, T. (2024). AI Innovation and Economics Growth: A Global Evidence. *WSB Journal of Business and Finance*, *58*(1), 198–216.

Pineda, V. G., Valencia-Arias, A., Giraldo, F. E. L., & Zapata-Ochoa, E. A. (2026). Integrating artificial intelligence and quantum computing: A systematic literature review of features and applications. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, *7*(August 2025), 26–39. https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2025.08.002

Pratama, A., Hapsari, D. R. I., & Wulandari, L. (2025). Bridging regulation and reality: Comparative study of Artificial Intelligence regulation in the financial sectors. *Legality : Jurnal Ilmiah Hukum*, *33*(2), 307–333. https://doi.org/10.22219/ljih.v33i2.38908

Pudjianto, B. W., Nusirwan, Susenna, A., Kusumasari, D., Agustina, L., Andriariza, Y., Zellatifanny, C. M., Ariyanti, A. M. Y., & Imran, F. (2025). *Indeks Masyarakat Digital Indonesia 2025*. Kementerian Komunikasi dan Digital.

Putri, V. C. C., Sonni, A. F., Putri, V. C. C., & Sonni, A. F. (2025). AI-Driven Personal Branding for Female Entrepreneurs: The Indonesian Hijabi Startup Ecosystem. *Journalism and Media*, *6*(3). https://doi.org/10.3390/journalmedia6030131

Rafee, S. M., Prasad, M., Sunil Kumar, M., & Easwaran, B. (2023). AI technologies, tools, and industrial use cases. In *Toward Artificial General Intelligence: Deep Learning, Neural Networks, Generative AI* (pp. 21–51). Scopus. https://doi.org/10.1515/9783111323749-002

Raghuwanshi, V., Khare, P., & Sharma, P. (2025). Global AI Governance and Collaboration: The Role of International Bodies in AI Regulation. In A. Youssef & A. Arslan (Eds.), *Navigating the Intersection of AI Policy, Technology, and Governance* (pp. 225–250). IGI Global. https://doi.org/10.4018/979-8-3373-1210-1.ch009

Rahman, A. B. M. M., Paul, A., Zhan, Z., & Chowdhury, M. A. S. (2024). *The Influence of AI Innovation on Economic Performance: A Panel Data Analysis on BRICS Countries*. *24*, 673–678. Scopus. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85213397431&partnerID=40&md5=ffc524f10f7f6c007516e4c46b303411

Rahman, T., Fitria, N., Nurhidayah, E., & Yuliandani, I. (2023). Effects of Project-Based Learning on Employability Skills. *Review of Islamic Studies*, *2*, 1–10. https://doi.org/10.35316/ris.v2i1.473

Rahula Hananuraga, Nasril Nasril, Agustinus Tanggu Daga, Opan Arifudin, & Petrus Jacob Pattiasina. (2025). Evolution And Contribution Of Artificial Intelligencess In Indonesian Education. *Journal of International Multidisciplinary Research*, *3*(3), 19–26. https://doi.org/10.62504/jimr1219

Raisch, S., & Krakowski, S. (2021). Artificial Intelligence and Management: The Automation–Augmentation Paradox. *Academy of Management Review*, *46*(1), 192–210. https://doi.org/10.5465/amr.2018.0072

Ramírez-Gordillo, T., Mora-Mora, H., Pujol, F. A., Jimeno, A., & Maciá, A. (2026). AI and Society in Context of Industry 5.0: Challenges and Future Research Directions. *Springer Proceedings in Complexity*, 19–30. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78623-5_2

Ray, Trisha. (2025, April 3). Sovereign remedies: Between AI autonomy and control. *Atlantic Council*. https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/issue-brief/sovereign-remedies-between-ai-autonomy-and-control/

Revolusi, P., & Febriandy, R. K. (2025). Developing AI Regulations in Indonesia: Policy Recommendations Based on Comparative Policy Analysis from the European Union, the United States, and Singapore. *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, *6*(2), 1035–1049. https://doi.org/10.63447/jimik.v6i2.1380

Ricardo, D. (1821). *On the Principles of Political Economy, and Taxation*. John Murray.

Roberts, H. (2024a). Digital sovereignty and artificial intelligence: A normative approach. *Ethics and Information Technology*, *26*(4). https://doi.org/10.1007/s10676-024-09810-5

Roberts, H. (2024b). Digital sovereignty and artificial intelligence: A normative approach. *Ethics and Information Technology*, *26*(4). https://doi.org/10.1007/s10676-024-09810-5

Rodrigues, M., Lino, R., Alves, F., & Novais, P. (2026). Ethical Considerations in Artificial Intelligence and Machine Learning. In I. Rojas, G. Joya, & A. Catala (Eds.), *Advances in Computational Intelligence* (pp. 27–43). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-032-02728-3_3

Romani, R. (2005). The republican foundations of Sismondi's *Nouveaux principes d'économie politique*. *History of European Ideas*, *31*(1), 17–33. https://doi.org/10.1016/j.histeuroideas.2004.03.007

Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, *98*(5), 71–102.

Ruliputra, R. N., Sucahyo, Y. G., Gandhi, A., & Ruldeviyani, Y. (2019). Why do Enterprises Adopt Natural Language Processing Services? Startups' Landscape and Opportunities in Artificial Intelligence. *2019 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)*, 313–318. https://doi.org/10.1109/ICACSIS47736.2019.8979806

Russell, I., Markov, Z., Neller, T., Georgiopoulos, M., & Coleman, S. (2005). Unifying an introduction to artificial intelligence course through machine learning laboratory experiences. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. https://www.scopus.com/pages/publications/22544456905?origin=document-preview-flyout

Ruttkamp-Bloem, Emma. (2025). *(5) Post | LinkedIn*. https://www.linkedin.com/posts/emma-ruttkamp-bloem-19400248_ai-globalism-and-ai-localism-governing-ai-activity-7134378607618973696-Uf_7/

Salminen, K., Hautamäki, P., & Jähi, M. (2024). Aligning Industry Needs and Education: Unlocking the Potential of AI via Skills. *2024 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, 1–10. https://doi.org/10.23919/PICMET64035.2024.10653328

Salvador-Carulla, L., Woods, C., de Miquel, C., & Lukersmith, S. (2024). Adaptation of the technology readiness levels for impact assessment in implementation sciences: The TRL-IS checklist. *Heliyon*, *10*(9), e29930. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29930

Samdub, M. (2022). Governance Interface: The Index in Modi's India. *Public Culture*, *34*(3 (98)), 473–493. https://doi.org/10.1215/08992363-9937382

Saputra, N., Cahyani, H. P., Khalila, K., Nisa, N. A., Qulbi, S. H., & Salsabila, Z. E. (2025). AI-Driven Insights into Emerging Technology Adoption in Indonesia Financial Sector. *2025 4th International Conference on Creative Communication and Innovative Technology (ICCIT)*, 1–7. https://doi.org/10.1109/ICCIT65724.2025.11167192

Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, socialism and democracy* (1st ed.). Harper & Brothers.

Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.

Secondtalent.com. (2025). *Top 50+ Chinese AI Investment Statistics [2025] | SecondTalent*. https://www.secondtalent.com/resources/chinese-ai-investment-statistics/

Section. (2025). *The AI Proficiency Report*. Section. https://www.sectionai.com/ai/the-ai-proficiency-report

Setiawan, A. B., Dunan, A., & Mudjiyanto, B. (2023). The Use of Big Data System in National Digital Talent Development in Industrial Revolution 4.0 Era. In *Digital Transformation for Business and Society: Contemporary Issues and Applications in Asia* (pp. 43–63). Scopus. https://doi.org/10.4324/9781003441298-3

Shahidi, F., BozorgKhou, N., & Moradhasel, N. (2024). *Challenges of Artificial Intelligence Technology and Its Impact on Digital Economy Growth*. 519–523. https://doi.org/10.1109/IST64061.2024.10843606

Shannaq, B., Alabri, A., Sriram, V. P., & Ali, O. B. (2025). Investigating the Impact of Ai on the Workforce and the Future of Work in the Region: A Machine Learning Perspective. *Bangladesh Journal of Multidisciplinary Scientific Research*, *10*(4), 1–10. https://doi.org/10.46281/a7zcns96

Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2021). Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, *9*, 4843–4873. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415

Shekhar, S., Choudhary, N., Saraiya, R., Neff, J., Zolnikov, B., Almeida Costa, D., Zulfiqar, S., Chrysovulou, C., & Manceron, P. (2024). Solving the Talent Challenge for Artificial Intelligence. *Society of Petroleum Engineers - ADIPEC 2024*. https://doi.org/10.2118/222820-MS

Sheridan, K. M., Halverson, E. R., Litts, B. K., Brahms, L., Jacobs-Priebe, L., & Owens, T. (2014). Learning in the Making: A Comparative Case Study of Three Makerspaces. *Harvard Educational Review*, *84*(4), 505–531. https://doi.org/10.17763/HAER.84.4.BRR34733723J648U

Shumeiko, N. V., & Osadcha, K. P. (2024). Application of artificial intelligence in higher education institutions for developing soft skills of future specialists in the sphere of information technology. *Journal of Physics: Conference Series*, *2871*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/2871/1/012027

Sikorskyi, Y., Zablotska, R., Zub, M., Bratus, H., & Dadashova, K. (2025). THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE GLOBAL COMPETITIVENESS OF LABOUR MARKETS. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, *103*(4), 1145–1155. Scopus.

Silberman, M., Biech, E., & Auerbach, C. (2015). Active training: A handbook of techniques, designs, case examples, and tips: Fourth edition. *Active Training: A Handbook of Techniques, Designs, Case Examples, and Tips: Fourth Edition*, 1–425. https://doi.org/10.1002/9781119154778

Sinha, K., Misra, B., Chakraborty, S., & Dey, N. (2023). AI Sovereignty in Autonomous Driving: Exploring Needs and Possibilities for Overcoming Challenges. *2023 IEEE Silchar Subsection Conference (SILCON)*, 1–7. https://doi.org/10.1109/SILCON59133.2023.10405285

Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, *70*(1), 65–94.

Somaratne, S., De Silva, D., & Athukorala, R. (2025). Mapping Human-AI Collaboration: A Skill Framework for the Effective Use of AI. *Int. Conf. Commun., Secur., Artif. Intell. ICCSAI*, 1253–1261. https://doi.org/10.1109/ICCSAI64074.2025.11064159

Sood, A., Mishra, D., & Surya, V. (2024). Opportunities and challenges in creating adaptable Artificial Intelligence (AI) models in Low and Middle-Income Countries (LMICs): The Indian scenario. *International Journal of Ayurveda Research*, *5*(4), 248. https://doi.org/10.4103/ijar.ijar_242_24

Sozykin, A., Kuklin, E., & Iumanova, I. (2022). Teaching Advanced AI Development Techniques with a New Master's Program in Artificial Intelligence Engineering. In V. Voevodin, S. Sobolev, M. Yakobovskiy, & R. Shagaliev (Eds.), *Supercomputing* (Vol. 13708, pp. 562–573). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22941-1_41

Stanford.edu. (2017). *Full Translation: China's "New Generation Artificial Intelligence Development Plan" (2017)*. DigiChina. https://digichina.stanford.edu/work/full-translation-chinas-new-generation-artificial-intelligence-development-plan-2017/

Startupcampus.id. (2024). *13 Perusahaan AI di Indonesia yang paling menginspirasi!* Startup Campus Blog. https://startupcampus.id/blog/13-perusahaan-ai-di-indonesia-yang-paling-menginspirasi/

Su, K.-D. (2022). IMPLEMENTATION OF INNOVATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE COGNITIONS WITH PROBLEM-BASED LEARNING GUIDED TASKS TO ENHANCE STUDENTS' PERFORMANCE IN

SCIENCE. *Journal of Baltic Science Education*, *21*(2), 245–257. https://doi.org/10.33225/jbse/22.21.245

Sukini, S., Budiyono, S., Aji, W. N., & Suseno, D. (2025). Digital media and artificial intelligence in teaching Bahasa Indonesia: Realities, potentials, and challenges. *Journal of Educational Management and Instruction (JEMIN)*, *5*(2), 371–387. https://doi.org/10.22515/jemin.v5i2.11958

Suling, C. F., Nurmandi, A., Muallidin, I., Purnomo, E. P., & Kurniawan, D. (2022). The Use of AI to Develop Smart Infrastructure in Indonesia. *Lect. Notes Comput. Sci.*, *13325 LNCS*, 208–217. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05463-1_15

Sun, X., & Hao, Y. (2020). Countermeasures for Training Computer High-Skilled Talents in the Era of Artificial Intelligence. In Z. Xu, R. M. Parizi, M. Hammoudeh, & O. Loyola-González (Eds.), *Cyber Security Intelligence and Analytics* (Vol. 1146, pp. 680–686). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43306-2_96

Suntharasaj, P., & Kocaoglu, D. F. (2008). Enhancing a country's competitiveness through "national talent management framework." *PICMET - Portland Int. Cent. Manage. Eng. Technol. Proc.*, 314–327. https://doi.org/10.1109/PICMET.2008.4599637

Tariq, M. U. (2025). AI-Enhanced Project-Based Learning: Revolutionizing Commerce Education With Generative AI. In A. ElSayary (Ed.), *Advances in Computational Intelligence and Robotics* (pp. 125–142). IGI Global. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-7332-3.ch008

Techcollective.com. (2025). *5 Indonesian AI startups to watch in 2025*. Tech Collective. https://techcollectivesea.com/2025/05/16/indonesian-ai-startups/

The Alan Turing Institute. (2024). *AI Skills for Business Competency Framework*. https://zenodo.org/records/11092677/preview/AISkillsForBusinessCompetencyFramework_V2.pdf?include_deleted=0

The State Council of the People's Republic of China. (2023). A New Generation Artificial Intelligence Development Plan. In D. Araya & P. Marber (Eds.), *Augmented Education in the Global Age*. Routledge.

The White House. (2025). *AMERICA'S AI ACTION PLAN*. White House. https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2025/07/Americas-AI-Action-Plan.pdf

Thomas, J. W. (2000). *A REVIEW OF RESEARCH ON PROJECT-BASED LEARNING*. https://www.semanticscholar.org/paper/A-REVIEW-OF-RESEARCH-ON-PROJECT-BASED-LEARNING-Thomas/556a3e15b4cfe31588cff520206fcf764a413c25

Thompson, N. C., Greenewald, K., Lee, K., & Manso, G. F. (2022). *The Computational Limits of Deep Learning* (No. arXiv:2007.05558). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.05558

Thuy, V. T. T. (2024). *AI Technology and the Potential Applications in Architectural Design and Applied Fine Arts Education in the Vietnam Context*. *482*, 975–987. Scopus. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1972-3_109

Tilovska-Kechedji, E. (2023). NAVIGATING THE GEOPOLITICAL LANDSCAPE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: REFLECTIONS AND CHALLENGES. *Journal of Liberty and International Affairs*, *9*(3), 488–500. https://doi.org/10.47305/JLIA2393599tk

Tinmaz, H. (2020). History of Industrial Revolutions: From Homo Sapiens Hunters to Bitcoin Hunters. In R. da Rosa Righi, A. M. Alberti, & M. Singh (Eds.), *Blockchain Technology for Industry 4.0: Secure, Decentralized, Distributed and Trusted Industry Environment* (pp. 1–26). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1137-0_1

Truong, T. H., Lin, B.-W., & Tung, C.-P. (2025). Strategic legislation for the promotion of university–industry collaborations: A case study of Taiwan. *Journal of Technology Transfer*, *50*(1), 304–344. Scopus. https://doi.org/10.1007/s10961-024-10110-9

Tschang, F. T., & Almirall, E. (2021). Artificial Intelligence as Augmenting Automation: Implications for Employment. *Academy of Management Perspectives*, *35*(4), 642–659. https://doi.org/10.5465/amp.2019.0062

Tveita, L. J., & Hustad, E. (2025). Benefits and Challenges of Artificial Intelligence in Public sector: A Literature Review. *Procedia Comput. Sci.*, *256*, 222–229. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.02.115

UNESCO. (2021). *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNESCO. (2022). *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. UNESCO. https://www.unesco.org/en/articles/recommendation-ethics-artificial-intelligence

UNESCO. (2025). *INDONESIA Laporan Penilaian Kesiapan (Readiness Assessment) Kecerdasan Artifisial (AI)*. UNESCO.

Unni, M. V., Rudresh, S., Bh, R., Krishnan, R. K., Kar, R., & Devichandrika, S. (2023). *Automation using Artificial Intelligence in Business Landscape*. 1519–1523. Scopus. https://doi.org/10.1109/ICACRS58579.2023.10404252

Uren, V., & Edwards, J. S. (2023). Technology readiness and the organizational journey towards AI adoption: An empirical study. *International Journal of Information Management*, *68*, 102588. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102588

Urman, A., & Makhortykh, M. (2025). The silence of the LLMs: Cross-lingual analysis of guardrail-related political bias and false information prevalence in ChatGPT, Google Bard (Gemini), and Bing Chat. *Telematics and Informatics*, *96*(October 2024), 102211–102211. https://doi.org/10.1016/j.tele.2024.102211

van der Vlist, F., Helmond, A., & Ferrari, F. (2024). Big AI: Cloud infrastructure dependence and the industrialisation of artificial intelligence. *Big Data & Society*, *11*(1), 20539517241232630. https://doi.org/10.1177/20539517241232630

Vavra, C. (2021). Workforce development, automation top of mind at Process Expo. *Control Engineering*, *68*(11), 18. Scopus.

Vazquez-Hurtado, C., Canizales-Martinez, J. P., Roman-Flores, A., Ahmad, R., & Brito-Ozuna, S. (2025). Intelligent Cyber-Physical Collaborative Robots Enhanced by AI and VR Technologies for Advanced Smart Learning Factories. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 367–374. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98883-7_44

Virvou, M., Tsihrintzis, G. A., & Jain, L. C. (2022). Introduction to Advances in Selected Artificial Intelligence Areas. In M. Virvou, G. A. Tsihrintzis, & L. C. Jain (Eds.), *Advances in Selected Artificial Intelligence Areas* (Vol. 24, pp. 1–7). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93052-3_1

Vivian, Y. F. A., Nelysia, N., & Prawati, L. D. (2023). Does Indonesia Have the Readiness to Implement Artificial Intelligence in Tax Technology Development? *Proceedings of the 2023 14th International Conference on E-Business, Management and Economics*, 177–182. https://doi.org/10.1145/3616712.3616750

Vochozka, M., Kliestik, T., Kliestikova, J., & Sion, G. (2018). Participating in a highly automated society: How artificial intelligence disrupts the job market. *Economics, Management, and Financial Markets*, *13*(4), 57–62. Scopus. https://doi.org/10.22381/EMFM13420185

W. K. Kellogg Foundation. (2004). *Logic Model Development Guide*. W.K. Kellogg Foundation.

Wang, C., & Jiao, D. (2025). Impact of artificial intelligence on the labor income distribution: Labor substitution or production upgrading? *Finance Research Letters*, *73*, 106674. https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106674

Wang, J., & Hu, W. (2024). *The Impact of Artificial Intelligence Policy on Employment: Evidence from China*. *24*, 391–403. Scopus. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85213317523&partnerID=40&md5=e9dfd370c410554b050f68660ff583ff

Wang, K., Dong, K., Wu, J., & Wu, J. (2023). Patterns of artificial intelligence policies in China: A nationwide perspective. *Library Hi Tech*, *43*(1), 295–325. https://doi.org/10.1108/LHT-04-2022-0168

Wang, K.-H., & Lu, W.-C. (2025). AI-induced job impact: Complementary or substitution? Empirical insights and sustainable technology considerations. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, *4*(1). Scopus. https://doi.org/10.1016/j.stae.2024.100085

Wang, L., Sarker, P. K., Alam, K., & Sumon, S. (2021). Artificial Intelligence and Economic Growth: A Theoretical Framework. *Scientific Annals of Economics and Business*, *68*(4), 421–443. Scopus. https://doi.org/10.47743/SAEB-2021-0027

Wang, X., He, T., Wang, S., & Zhao, H. (2025). The Impact of Artificial Intelligence on Economic Growth From the Perspective of Population External System. *Social Science Computer Review*, *43*(1), 129–147. Scopus. https://doi.org/10.1177/08944393241246100

Wang, Y., & Li, Y. (2023). Chinese economic growth and sustainable development: Role of artificial intelligence and natural resource management. *Resources Policy*, *85*. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103996

Wanto, A. (2019). PREDIKSI PRODUKTIVITAS JAGUNG DI INDONESIA SEBAGAI UPAYA ANTISIPASI IMPOR MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF TIRUAN BACKPROPAGATION. *SINTECH (Science and Information Technology) Journal*, *2*(1), 53–62. https://doi.org/10.31598/sintechjournal.v2i1.355

Weiguo, Y., Zitong, Q., & Qingjun, W. (2020). A Review of Research on the Employment Effect of Artificial Intelligence Applications. *Contemporary Social Sciences*, *1*, 89–101. Scopus. https://doi.org/10.19873/j.cnki.2096-0212.2020.01.007

Whittaker, M. C., Kate; Dobbe, Roel; Fried Genevieve; Kaziunas, Elizabeth; Mathur, Varoon; West, Sarah Myers; Richardson, Rashida; Schultz, Jason; Schwartz, Oscar. (2018). *AI Now 2018 Report* (p. 62). New York University.

Winandri, G. D., Gunawan, A., & Hartono, H. (2025). The Role of AI-Based Teaching Assistants in Enhancing Student Engagement and Academic Performance in Indonesian Higher Education. *2025 IEEE Conference on Computer Applications (ICCA)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ICCA65395.2025.11011002

World Economic Forum. (2025a). *Future Jobs Report 2025*. https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/

World Economic Forum. (2025b). *The Future of Jobs Report 2025*. World Economic Forum. https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/

Wu, F., Lu, C., Zhu, M., Chen, H., Zhu, J., Yu, K., Li, L., Li, M., Chen, Q., Li, X., Cao, X., Wang, Z., Zha, Z., Zhuang, Y., & Pan, Y. (2020). Towards a new generation of artificial intelligence in China. *Nature Machine Intelligence*, *2*(6), 312–316. https://doi.org/10.1038/s42256-020-0183-4

Wu, Y., Lin, Z., Zhang, Q., & Wang, W. (2024). Artificial intelligence, wage dynamics, and inequality: Empirical evidence from Chinese listed firms. *International Review of Economics & Finance*, *96*, 103739. https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.103739

Xu, Z. (2022). The Influence of Robot-Assisted Industry Using Deep Learning on the Economic Growth Rate of Manufacturing Industry in the Era of Artificial Intelligence. *Wireless Communications and Mobile Computing*, *2022*, 1–12. https://doi.org/10.1155/2022/4594858

Xue, L., & Pang, Z. (2022). Ethical governance of artificial intelligence: An integrated analytical framework. *Journal of Digital Economy*, *1*(1), 44–52. https://doi.org/10.1016/j.jdec.2022.08.003

Yang, J., Fu, Y., Wei, W., & Huang, G. (2025). *AI-Enabled Education Integrated with Real-World Cases in a Specific Major: An Example of Aircraft Power Engineering*. 728–732. Scopus. https://doi.org/10.1109/ICAIE64856.2025.11158687

Young, cameron C., Eniche, E., Rao, A., & Succi, M. D. (2025). *Racial, Ethnic, and Sex bias in large language model opioid recommendations for pain management*. 511–517.

Zaheer, A., & Singh, A. (2024). Impact Analysis of Artificial Intelligence in Cybersecurity in 4IR. *IEEE Int. Conf. Eng. Technol. Appl. Sci., ICETAS*. ICETAS 2024 - 9th IEEE International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences. https://doi.org/10.1109/ICETAS62372.2024.11120197

Zeng, J. (2021a). China's Artificial Intelligence Innovation: A Top-Down National Command Approach? *Global Policy*, *12*(3), 399–409. https://doi.org/10.1111/1758-5899.12914

Zeng, J. (2021b). Securitization of Artificial Intelligence in China. *The Chinese Journal of International Politics*, *14*(3), 417–445. https://doi.org/10.1093/cjip/poab005

Zewde, T. A. (2025). Enhancing Pre-College Students Readiness through Interactive Summer AI workshops. *2025 15th IEEE Integrated STEM Education Conference, ISEC 2025*. https://doi.org/10.1109/ISEC64801.2025.11147382

Zhang, B., Wang, M., & Zhang, C. (2022). "AI and Practice Teaching" electronic information innovative training model in the context of exploring. In *Artificial Intelligence in Education and Teaching Assessment* (pp. 273–280). Scopus. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6502-8_24

Zhang, X., Zhao, Y., Tang, X., Zhu, H., & Xiong, H. (2020). Developing fairness rules for talent intelligence management system. *Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, *2020-January*, 5882–5891.

Zhao, X. (2025). Technological hedging and differentiated responses of Southeast Asian countries to U.S.–China technological competition: A case study on artificial intelligence (AI). *Pacific Review*, *38*(3), 502–533. https://doi.org/10.1080/09512748.2024.2408010

Zhong, M., Wei, L., & Mo, H. (2025). Enhancing graduate AI education through practical and values-driven curriculum integration. *Frontiers in Education*, *10*. Scopus. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1630073

Zhou, D., Yu, L., Zeng, X., Wu, Q., Zhang, A., & Zhao, G. (2025). Modeling of Public Service Application Scenarios Based on Artificial Intelligence Technology. *Lect. Notes Networks Syst.*, *1352 LNNS*, 374–383. https://doi.org/10.1007/978-3-031-88294-4_38

Zhou, D., & Zhang, Y. (2024). Political biases and inconsistencies in bilingual GPT models—The cases of the U.S. and China. *Scientific Reports*, *14*(1), 1–13. https://doi.org/10.1038/s41598-024-76395-w

Zimba, M., Jouini, M., & Ndaka, A. K. (2025). Context-Aware Africa-Led Designing of Responsible Artificial Intelligence Technologies. In D. O. Eke, K. Wakunuma, S. Akintoye, & G. Ogoh (Eds.), *Trustworthy AI: African Perspectives* (pp. 145–164). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-031-75674-0_7

Zuo, X. (2023). *Research on the Application of Artificial Intelligence Technology in Economic Management in the Information Age*. 1737–1741. Scopus. https://doi.org/10.1109/ICIBA56860.2023.10165033


KOMDIGI
Kementerian Komunikasi dan Digital
Republik Indonesia

KOMDIGI
Kementerian Komunikasi dan Digital
Republik Indonesia

Buku "Kajian Strategi Pengembangan Talenta AI di Indonesia" hadir memberikan pemahaman komprehensif mengenai ekosistem talenta AI nasional. Kajian ini mengulas berbagai sudut pandang strategis, mulai dari perspektif geopolitik, teknologi, dan ekonomi, hingga dinamika ketenagakerjaan serta tantangan pemenuhan talenta. Selain menyajikan strategi konkret serta desain pelatihan kapasitas SDM yang berkelanjutan, karya ini dimaksudkan sebagai referensi strategis bagi para pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan yang inklusif dan berdaya saing global. Upaya tersebut menjadi langkah krusial dalam mendukung percepatan transformasi digital menuju visi Indonesia Emas 2045.

Diterbitkan Oleh:
Kementerian Komunikasi dan Digital
Republik Indonesia
Jl. Medan Merdeka Barat No. 9
Jakarta Pusat 10110 Indonesia
Website: www.kominfo.go.id

ISBN 978-623-6249-25-3 (PDF)
9 786236 249253