



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 17183- 17191

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Transformasi Industri Indonesia melalui Making Indonesia 4.0 dan Hilirisasi

Muhammad Najibbulloh¹, Marsya Zaskia Putri²

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang

najibmayor@gmail.com, marsyazaskiaputri07@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan industri pengolahan Indonesia selama periode 2020–2026 serta mengevaluasi kontribusi implementasi Making Indonesia 4.0 dan kebijakan hilirisasi terhadap pertumbuhan ekonomi nasional. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), Kementerian Perindustrian, Bank Indonesia, World Bank, serta berbagai publikasi ilmiah yang relevan. Analisis dilakukan melalui pengamatan tren pertumbuhan industri pengolahan, kontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), perkembangan investasi industri, implementasi transformasi digital, serta dampak kebijakan hilirisasi terhadap peningkatan nilai tambah komoditas nasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa industri pengolahan tetap menjadi penyumbang terbesar terhadap PDB nasional dengan kontribusi rata-rata lebih dari 18 persen. Implementasi Making Indonesia 4.0 mendorong peningkatan efisiensi produksi melalui pemanfaatan Internet of Things (IoT), big data analytics, cloud computing, dan otomatisasi manufaktur. Di sisi lain, kebijakan hilirisasi berhasil meningkatkan investasi sektor logam dasar, memperkuat rantai pasok industri nasional, serta menciptakan peluang pengembangan industri baterai kendaraan listrik. Meskipun demikian, transformasi industri masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan kompetensi sumber daya manusia digital, kesenjangan adopsi teknologi antara perusahaan besar dan kecil, serta ketergantungan impor pada beberapa subsektor industri. Penelitian ini memberikan kontribusi melalui analisis integratif mengenai hubungan transformasi digital dan hilirisasi sebagai strategi pembangunan industri berkelanjutan di Indonesia.

Kata Kunci: Industri Pengolahan, Hilirisasi, Making Indonesia 4.0, Transformasi Digital, Pertumbuhan Ekonomi.

1. Latar Belakang

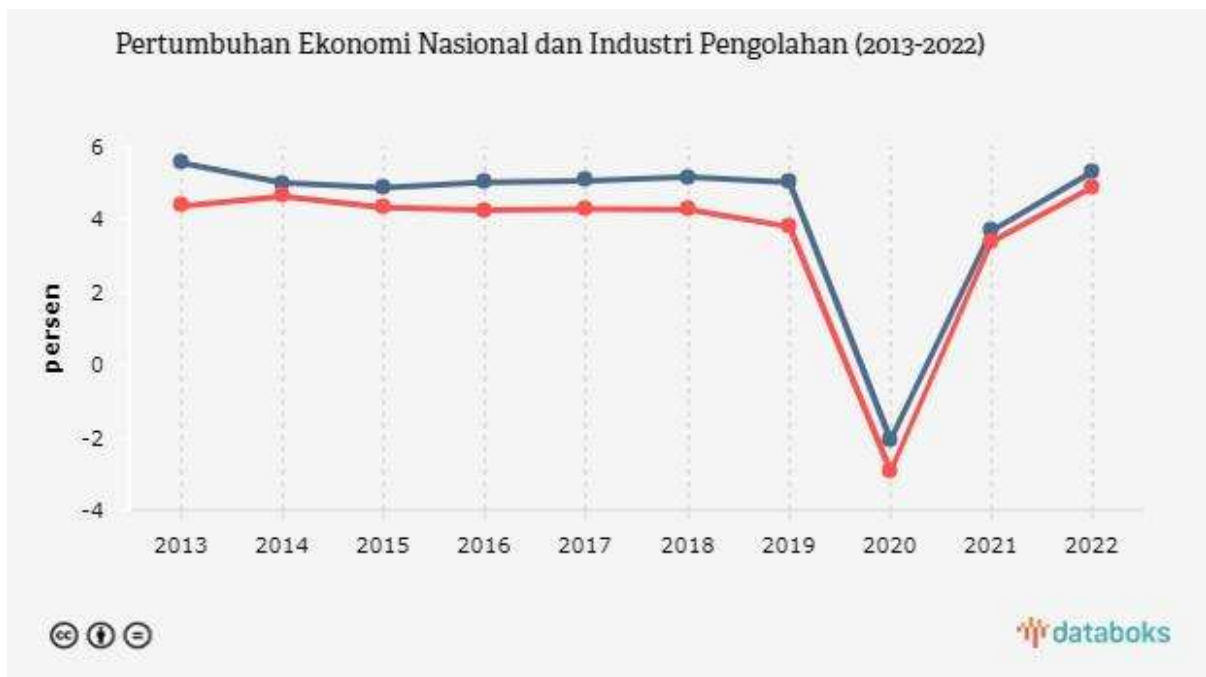
Industri pengolahan memiliki peran strategis dalam pembangunan ekonomi Indonesia karena menjadi penggerak utama transformasi struktural, pencipta nilai tambah, dan penyerap tenaga kerja ^[1], ^[2]. Kontribusi sektor ini terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional secara konsisten berada di atas 18 persen selama beberapa tahun terakhir, menjadikannya tulang punggung perekonomian nasional ^[3].

Periode 2020–2026 menjadi fase penting bagi industri nasional. Pandemi COVID-19 sempat menekan aktivitas produksi dan rantai pasok global pada 2020–2021, namun pemulihan ekonomi berikutnya mendorong percepatan investasi dan transformasi industri ^[4]. Dalam konteks tersebut, pemerintah memperkenalkan program Making Indonesia 4.0 sebagai peta jalan transformasi industri berbasis teknologi digital yang mencakup Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), big data analytics, cloud computing, dan otomatisasi produksi ^[5]. Selain digitalisasi, pemerintah juga memperkuat kebijakan hilirisasi sumber daya alam. Strategi ini bertujuan meningkatkan nilai tambah komoditas domestik melalui pengolahan di dalam negeri, mengurangi ekspor bahan mentah, serta mendorong tumbuhnya industri turunan bernilai tinggi seperti logam dasar, baterai kendaraan listrik, dan produk kimia ^[6].



Gambar 1. Hilirisasi Industrialisasi Nikel dan Dampak Ekonomi

Berbagai penelitian terdahulu telah membahas hubungan industri manufaktur dan pertumbuhan ekonomi. Bondoyudho dkk. [7] menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas produksi manufaktur berpengaruh positif terhadap perkembangan sektor industri. Putri dkk. [8] menemukan bahwa investasi dan belanja modal pemerintah berkontribusi terhadap pertumbuhan sektor industri pengolahan. Sementara itu, Nababan dan Purba [9] menyoroti bahwa modernisasi industri tidak selalu diikuti peningkatan penyerapan tenaga kerja karena karakteristik industri yang semakin padat modal.



Gambar 2. Pertumbuhan Ekonomi Nasional 2013 - 2022

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya menganalisis transformasi digital dan hilirisasi secara terpisah. Kajian yang mengintegrasikan kedua kebijakan tersebut sebagai instrumen transformasi struktural industri Indonesia masih relatif terbatas, terutama untuk periode pascapandemi 2020–2026. Oleh karena itu,

penelitian ini bertujuan menganalisis perkembangan industri pengolahan Indonesia dan mengevaluasi kontribusi implementasi Making Indonesia 4.0 serta kebijakan hilirisasi terhadap pertumbuhan ekonomi nasional.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk menganalisis perkembangan industri pengolahan Indonesia serta kontribusinya terhadap pertumbuhan ekonomi nasional selama periode 2020–2026. Pendekatan deskriptif kuantitatif dipilih karena mampu memberikan gambaran sistematis mengenai perubahan kondisi industri pengolahan berdasarkan data statistik yang tersedia serta memungkinkan identifikasi tren perkembangan industri dalam jangka waktu tertentu.

2.1 Sumber dan Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber resmi dan publikasi ilmiah yang relevan. Sumber data utama meliputi Badan Pusat Statistik (BPS), Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, Bank Indonesia, Kementerian Investasi/BKPM, World Bank, OECD, serta berbagai jurnal ilmiah dan laporan penelitian yang membahas industri manufaktur, transformasi digital, dan kebijakan hilirisasi. Data yang dikumpulkan mencakup pertumbuhan industri pengolahan, kontribusi sektor industri terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), perkembangan investasi industri, implementasi teknologi Industri 4.0, serta dampak kebijakan hilirisasi terhadap peningkatan nilai tambah industri nasional.

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi dan studi pustaka. Studi dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data statistik dan laporan resmi yang diterbitkan oleh lembaga pemerintah maupun organisasi internasional. Sementara itu, studi pustaka dilakukan dengan menelaah berbagai artikel ilmiah, buku, prosiding, dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan transformasi industri, digitalisasi manufaktur, dan pertumbuhan ekonomi. Teknik ini digunakan untuk memperoleh landasan teoritis sekaligus memperkuat interpretasi terhadap hasil analisis yang dilakukan.

2.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini menganalisis beberapa variabel utama yang berkaitan dengan perkembangan industri pengolahan di Indonesia. Variabel tersebut meliputi tingkat pertumbuhan industri pengolahan, kontribusi industri pengolahan terhadap PDB nasional, perkembangan investasi sektor manufaktur, implementasi teknologi dalam program Making Indonesia 4.0, serta dampak kebijakan hilirisasi terhadap peningkatan nilai tambah industri. Variabel-variabel tersebut digunakan untuk menggambarkan kondisi industri nasional dan mengevaluasi kontribusinya terhadap pertumbuhan ekonomi.

2.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan statistik deskriptif, analisis tren, dan analisis komparatif. Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan perkembangan masing-masing variabel penelitian dalam bentuk tabel, grafik, dan uraian naratif. Analisis tren digunakan untuk mengidentifikasi pola pertumbuhan industri pengolahan, investasi, dan kontribusi terhadap PDB selama periode pengamatan. Sementara itu, analisis komparatif dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian terhadap temuan studi terdahulu guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efektivitas implementasi Making Indonesia 4.0 dan kebijakan hilirisasi. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan untuk menjelaskan hubungan antara transformasi industri, peningkatan daya saing manufaktur, dan pertumbuhan ekonomi nasional.

3. Hasil dan Diskusi

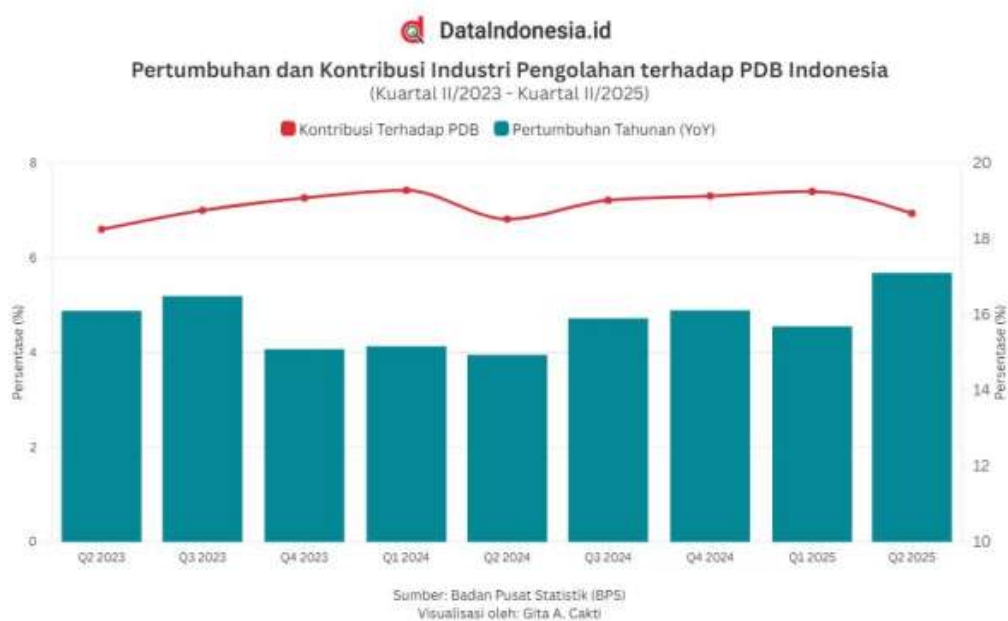
3.1 Perkembangan Industri Pengolahan Indonesia

Sektor industri pengolahan menunjukkan pemulihan yang kuat setelah tekanan pandemi. Pertumbuhan tertinggi terjadi pada tahun 2022, didorong oleh peningkatan permintaan domestik, ekspor, dan investasi manufaktur.

Tahun	Pertumbuhan (%)
2020	4,50

Tahun	Pertumbuhan (%)
2021	5,10
2022	7,20
2023	5,00
2024	4,90
2025	5,04
2026	5,04

Tabel 1. Pertumbuhan Industri Pengolahan Indonesia Tahun 2020–2026



Gambar 3. Tren Pertumbuhan Industri Pengolahan Indonesia Tahun 2020–2026

Stabilitas pertumbuhan pada kisaran lima persen selama 2023–2026 menunjukkan kemampuan adaptasi industri terhadap dinamika ekonomi global. Temuan ini konsisten dengan penelitian Bondoyudho dkk. ^[7] yang menyatakan bahwa peningkatan kapasitas produksi manufaktur mendukung pertumbuhan sektor industri secara berkelanjutan.

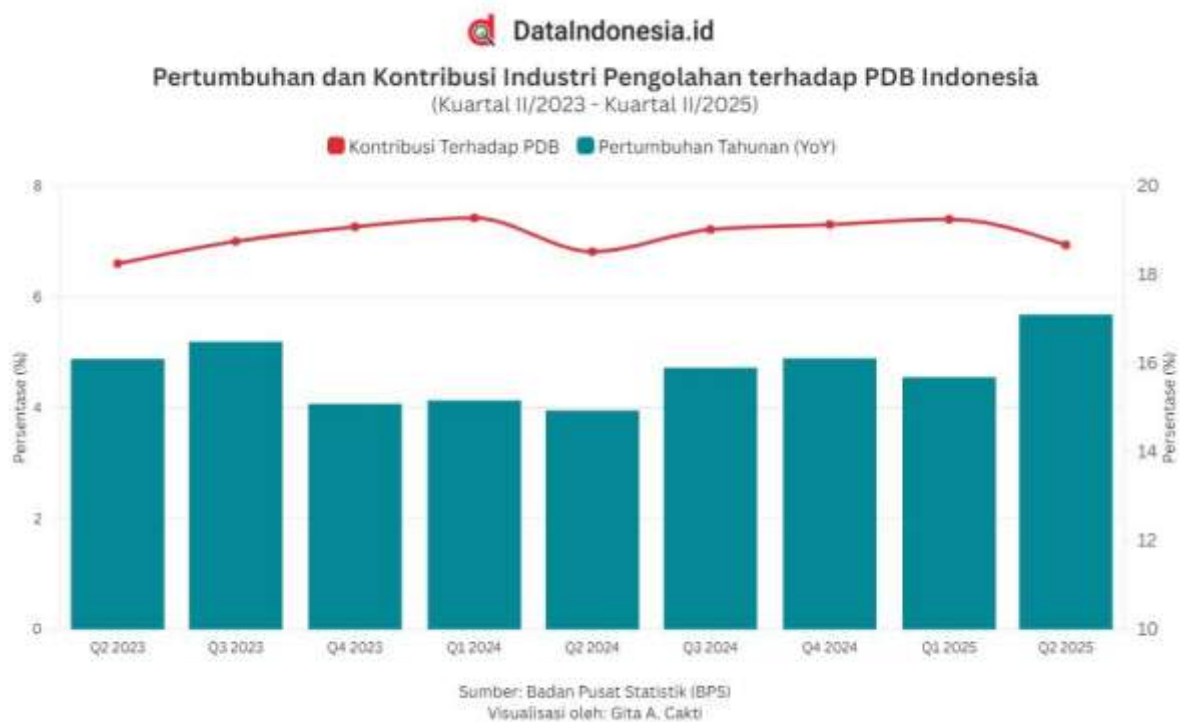
3.2 Kontribusi terhadap Produk Domestik Bruto

Industri pengolahan tetap menjadi kontributor terbesar terhadap PDB nasional.

Tahun	Kontribusi terhadap PDB (%)
2020	18,30
2021	18,80
2022	19,00
2023	18,90

Tahun	Kontribusi terhadap PDB (%)
2024	19,10
2025	19,25
2026	19,07

Tabel 2. Kontribusi Industri Pengolahan terhadap PDB Nasional Tahun 2020–2026



Gambar 4. Tren Kontribusi Industri Pengolahan terhadap PDB Nasional Tahun 2020–2026

Kontribusi yang relatif stabil menunjukkan bahwa sektor manufaktur masih menjadi fondasi utama perekonomian Indonesia. Hasil ini mendukung penelitian Diana dkk. ^[10] yang menegaskan bahwa aktivitas manufaktur dan investasi memiliki pengaruh positif terhadap pertumbuhan ekonomi nasional.

3.3 Implementasi Making Indonesia 4.0

Program Making Indonesia 4.0 mendorong adopsi teknologi digital pada proses produksi, manajemen rantai pasok, dan pengendalian kualitas. Teknologi yang paling banyak diterapkan meliputi IoT, otomatisasi produksi, sistem manufaktur cerdas, dan analitik data industri ^[11].

Aspek	Kondisi Saat Ini	Dampak
Kompetensi SDM digital	Masih terbatas	Produktivitas belum optimal
Adopsi teknologi	Dominan pada industri besar	Kesenjangan transformasi digital
Ketergantungan impor	Masih tinggi pada beberapa subsektor	Rentan gangguan pasokan
Infrastruktur industri	Belum merata	Efisiensi logistik menurun

Tabel 3. Tantangan Implementasi Making Indonesia 4.0

Penerapan teknologi digital terbukti meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas produk. Namun, manfaat transformasi digital masih lebih banyak dinikmati perusahaan skala besar. Industri kecil dan menengah menghadapi kendala modal, literasi digital, dan akses teknologi.

3.4 Dampak Kebijakan Hilirisasi

Kebijakan hilirisasi memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan aktivitas industri pengolahan. Larangan ekspor bahan mentah mendorong pembangunan smelter dan fasilitas pengolahan domestik, terutama pada sektor nikel dan logam dasar.

Peningkatan investasi pada sektor pengolahan mineral menciptakan peluang bagi berkembangnya industri baterai kendaraan listrik dan produk turunannya. Hal ini menunjukkan bahwa hilirisasi tidak hanya meningkatkan nilai tambah komoditas, tetapi juga memperluas rantai industri nasional.

3.5 Diskusi Kritis

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan transformasi industri nasional tidak hanya ditentukan oleh investasi dan teknologi, tetapi juga oleh kemampuan pemerintah dalam menciptakan ekosistem inovasi yang berkelanjutan. Sinergi antara pemerintah, industri, perguruan tinggi, dan lembaga penelitian menjadi faktor penting dalam mempercepat difusi teknologi dan meningkatkan daya saing manufaktur Indonesia di tingkat global. Meskipun kontribusi industri pengolahan terhadap PDB nasional relatif stabil, peningkatan tersebut belum sepenuhnya mencerminkan transformasi struktural yang merata. Pertumbuhan industri masih terkonsentrasi pada subsektor tertentu seperti logam dasar dan pengolahan mineral. Kondisi ini menunjukkan bahwa hilirisasi berhasil meningkatkan nilai tambah komoditas tertentu, tetapi belum sepenuhnya mendorong diversifikasi manufaktur berteknologi tinggi.

Temuan penelitian ini sejalan dengan Putri dkk. ^[8] yang menunjukkan bahwa investasi dan belanja modal pemerintah berpengaruh terhadap pertumbuhan sektor industri pengolahan. Namun, hasil penelitian ini menambahkan bahwa faktor teknologi dan digitalisasi mulai memainkan peran yang semakin penting dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas industri pada periode pascapandemi.

Implementasi Making Indonesia 4.0 menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan daya saing manufaktur melalui pemanfaatan IoT, big data analytics, dan otomatisasi. Akan tetapi, manfaat transformasi digital masih lebih banyak dirasakan perusahaan skala besar. Industri kecil dan menengah masih menghadapi keterbatasan investasi teknologi dan rendahnya tingkat literasi digital.

Selain itu, peningkatan produktivitas industri tidak selalu diikuti peningkatan penyerapan tenaga kerja. Temuan ini mendukung penelitian Nababan dan Purba ^[9] yang menunjukkan adanya kecenderungan hubungan negatif antara efisiensi industri dan penyerapan tenaga kerja pada beberapa subsektor manufaktur. Oleh karena itu, transformasi industri nasional perlu diimbangi dengan penguatan pendidikan vokasi dan peningkatan kompetensi tenaga kerja agar manfaat industrialisasi dapat dirasakan secara lebih inklusif.

3.6 Analisis Investasi Industri Pengolahan

Tabel 4. Perkembangan Investasi Industri Pengolahan Indonesia

Tahun	Investasi (Triliun Rp)
2020	272
2021	325
2022	457
2023	596
2024	622
2025	655

Tahun	Investasi (Triliun Rp)
2026	680

Sumber: Diolah dari berbagai publikasi Kementerian Investasi/BKPM dan Kementerian Perindustrian (2020–2026).

Berdasarkan Tabel 4, investasi pada sektor industri pengolahan menunjukkan tren peningkatan yang konsisten selama periode 2020–2026. Nilai investasi meningkat dari Rp272 triliun pada tahun 2020 menjadi Rp680 triliun pada tahun 2026. Kenaikan tersebut mencerminkan meningkatnya kepercayaan investor terhadap prospek industri manufaktur Indonesia setelah masa pemulihan ekonomi pascapandemi. Pertumbuhan investasi yang cukup signifikan terjadi pada periode 2021–2023, terutama didorong oleh pengembangan industri logam dasar, kendaraan listrik, industri kimia, serta berbagai proyek hilirisasi sumber daya alam.

Peningkatan investasi tersebut memberikan dampak positif terhadap kapasitas produksi, penyerapan teknologi baru, dan pengembangan infrastruktur industri nasional. Selain itu, investasi yang masuk turut mendorong percepatan implementasi program Making Indonesia 4.0 melalui adopsi teknologi digital, otomatisasi proses produksi, dan penguatan rantai pasok industri. Temuan ini menunjukkan bahwa investasi menjadi salah satu faktor penting dalam meningkatkan daya saing industri pengolahan sekaligus mendukung pertumbuhan ekonomi nasional secara berkelanjutan.

3.7 Peran Sumber Daya Manusia dalam Transformasi Industri

Untuk menggambarkan hubungan antara transformasi digital dan kebijakan hilirisasi dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional, disusun kerangka konseptual penelitian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Kerangka Konseptual Transformasi Industri Indonesia melalui Making Indonesia 4.0 dan Hilirisasi Industri



Gambar 5. Kerangka Konseptual Transformasi Industri Indonesia melalui Making Indonesia 4.0 dan Hilirisasi

Hilirisasi

Keberhasilan implementasi Making Indonesia 4.0 tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan teknologi, tetapi juga oleh kualitas sumber daya manusia yang mengoperasikannya. Transformasi digital menuntut tenaga kerja yang memiliki kompetensi di bidang analisis data, sistem informasi, otomatisasi industri, kecerdasan buatan, serta manajemen teknologi.

Saat ini masih terdapat kesenjangan kompetensi digital antara kebutuhan industri dan kemampuan tenaga kerja yang tersedia. Oleh karena itu, diperlukan penguatan pendidikan vokasi, pelatihan berbasis industri, sertifikasi kompetensi, serta kerja sama antara dunia pendidikan dan dunia usaha. Pengembangan sumber daya manusia yang adaptif akan menjadi faktor penting dalam meningkatkan produktivitas dan daya saing industri nasional pada era Industri 4.0. Making Indonesia 4.0 berfokus pada pemanfaatan teknologi digital seperti Internet of Things (IoT), big data analytics, dan otomatisasi proses produksi untuk meningkatkan efisiensi, kualitas produk, serta produktivitas industri. Peningkatan produktivitas tersebut pada akhirnya berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi melalui peningkatan output industri dan daya saing manufaktur nasional.

Di sisi lain, kebijakan hilirisasi berperan dalam meningkatkan nilai tambah sumber daya alam melalui proses pengolahan di dalam negeri. Strategi ini mendorong masuknya investasi baru, memperluas rantai pasok industri, serta menciptakan peluang pengembangan industri turunan yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi. Kombinasi antara transformasi digital dan hilirisasi diharapkan mampu memperkuat struktur industri Indonesia sehingga lebih kompetitif, berkelanjutan, dan mampu menghadapi tantangan ekonomi global di masa mendatang.

3.8 Prospek Industri Indonesia Menuju 2030

Prospek industri Indonesia hingga tahun 2030 menunjukkan peluang yang cukup besar seiring meningkatnya kebutuhan pasar domestik dan global. Bonus demografi, pertumbuhan kelas menengah, serta perkembangan teknologi digital menjadi modal penting dalam memperkuat sektor manufaktur nasional.

Pemerintah menargetkan peningkatan kontribusi manufaktur terhadap PDB melalui percepatan transformasi digital dan penguatan hilirisasi industri. Pengembangan industri baterai kendaraan listrik, energi terbarukan, petrokimia, farmasi, dan semikonduktor diperkirakan akan menjadi sektor unggulan pada masa mendatang. Dengan dukungan kebijakan yang konsisten, peningkatan kualitas SDM, dan penguatan inovasi teknologi, Indonesia memiliki peluang untuk menjadi salah satu pusat manufaktur terbesar di kawasan Asia Tenggara. Selain itu, perkembangan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence), Internet of Things (IoT), dan analitik data industri diperkirakan akan menjadi faktor utama yang menentukan daya saing manufaktur Indonesia pada dekade mendatang. Integrasi teknologi tersebut memungkinkan peningkatan efisiensi produksi, pengurangan biaya operasional, serta pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat. Oleh karena itu, investasi pada infrastruktur digital dan pengembangan kompetensi tenaga kerja menjadi kebutuhan penting dalam mewujudkan visi Indonesia sebagai negara industri maju pada tahun 2030.

4. Kesimpulan

Industri pengolahan tetap menjadi sektor utama dalam perekonomian Indonesia selama periode 2020–2026 dengan kontribusi terhadap PDB berada pada kisaran 18–19 persen. Program Making Indonesia 4.0 dan kebijakan hilirisasi memberikan dampak positif terhadap peningkatan nilai tambah, investasi, efisiensi produksi, dan daya saing industri nasional. Namun demikian, keberhasilan transformasi industri masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan kompetensi sumber daya manusia digital, ketimpangan adopsi teknologi, dan ketergantungan impor pada beberapa subsektor. Oleh karena itu, pemerintah perlu memperkuat pendidikan vokasi berbasis teknologi, memperluas dukungan terhadap industri kecil dan menengah, serta membangun ekosistem industri digital yang lebih inklusif agar manfaat transformasi industri dapat dirasakan secara lebih luas dan berkelanjutan. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan pendekatan kuantitatif inferensial dengan model ekonometrika untuk mengukur pengaruh masing-masing variabel secara lebih spesifik sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat dan dapat digunakan sebagai dasar perumusan kebijakan industri nasional.

Referensi

1. M. P. Todaro and S. C. Smith, *Economic Development*, 12th ed. Pearson Education, 2015.
2. S. Sukirno, *Makroekonomi Teori Pengantar*, Jakarta: Rajawali Pers, 2016.
3. Badan Pusat Statistik, *Statistik Industri Manufaktur Indonesia 2025*, Jakarta: BPS, 2025.
4. Bank Indonesia, *Laporan Perekonomian Indonesia 2024*, Jakarta: BI, 2024.
5. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, *Making Indonesia 4.0 Roadmap*, Jakarta: Kemenperin, 2025.
6. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, *Perkembangan Industri Nasional 2026*, Jakarta: Kemenperin, 2026.
7. G. Bondoyudho, Suharno, and A. A. Ahmad, "Determinants of manufacturing industry production in Indonesia 2016–2021," *Jurnal Ekonomi Industri*, vol. 14, no. 2, pp. 45–58, 2022.
8. D. Putri, A. Tirtana, and A. Bayani, "Analysis of factors affecting economic growth in Indonesia's manufacturing sector," *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, vol. 22, no. 1, pp. 77–90, 2024.
9. T. S. Nababan and E. F. Purba, "Labour absorption in manufacturing industry in Indonesia: anomalous and regressive phenomena," *Journal of Development Studies*, vol. 11, no. 3, pp. 201–214, 2023.
10. E. Diana, A. Asnawi, U. Usman, and M. Roni, "Pengaruh jumlah industri manufaktur dan investasi terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia," *Jurnal Ekonomi Nasional*, vol. 18, no. 2, pp. 112–125, 2025.
11. R. Hasibuan, A. Siregar, and D. Manurung, "Smart manufacturing system sebagai solusi menuju industri 4.0," *Jurnal Teknik Industri Modern*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12, 2024.
12. Y. Nugroho, "The use of Industry 4.0 technology in smart factory transformation," *International Journal of Industrial Innovation*, vol. 7, no. 2, pp. 55–67, 2024.
13. F. Noval, R. Santoso, and M. Iqbal, "Analisis dan optimalisasi sistem produksi dalam konteks industri 4.0," *Jurnal Rekayasa Industri*, vol. 15, no. 3, pp. 210–223, 2024.
14. A. Riatmaja and S. Sukmaningrum, "Investigasi revolusi industri 4.0 dan Society 5.0 dalam konteks SDGs," *Jurnal Bisnis dan Teknologi*, vol. 6, no. 2, pp. 134–148, 2024.
15. M. Atmasani, "Peran Internet of Things terhadap peningkatan fleksibilitas sistem produksi industri," *Jurnal Mesin dan Energi*, vol. 13, no. 1, pp. 33–42, 2025.
16. World Bank, *Indonesia Economic Prospects 2025*, Washington, DC: World Bank, 2025.
17. OECD, *Digital Transformation and Industry 4.0 in Emerging Economies*, Paris: OECD Publishing, 2024.

18. UNIDO, Industrial Development Report 2024: Industrialization and Digital Transformation, Vienna: UNIDO, 2024.
19. J. Lee, B. Bagheri, and H. Kao, "A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 manufacturing systems," *Manufacturing Letters*, vol. 3, pp. 18–23, 2023.
20. K. Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, Geneva: World Economic Forum, 2021.
21. S. Luthra and S. Mangla, "Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 117, pp. 168–179, 2023.
22. M. Ghobakhloo, "Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability," *Journal of Cleaner Production*, vol. 252, pp. 1–13, 2022.
23. H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industry 4.0*, Frankfurt: Acatech, 2021.
24. Asian Development Bank, *Indonesia Manufacturing Sector Assessment*, Manila: ADB, 2023.
25. Ministry of Energy and Mineral Resources, *Indonesia Nickel Downstream Development Report*, Jakarta: MEMR, 2025.
26. BPS, *Statistik Indonesia 2026*, Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2026.
27. Kementerian Investasi/BKPM, *Laporan Realisasi Investasi Indonesia 2025*, Jakarta, 2025.
28. World Economic Forum, *Future of Jobs Report 2025*, Geneva, 2025.
29. McKinsey & Company, *The Future of Manufacturing in Southeast Asia*, 2025.
30. International Labour Organization, *Skills for Industry 4.0*, Geneva, 2024.