

14



REVOLUSI MANUFAKTUR DENGAN AI DAN OR

Arief Bimantoro Suharko, B.S.E.E., M.Sc.Eng., Ph.D.
Edo Suryo Pratomo, S.T., M.Sc., Ph.D., CAMF.

Kecerdasan Buatan dan Masa Depan Industri

“Teknologi bukan hanya alat, tapi juga kunci untuk membuka masa depan bangsa.”—BJ Habibie, Presiden Indonesia Ketiga.

Indonesia berada di ambang transformasi yang luar biasa—era keemasan yang dicita-citakan sebagai Indonesia Emas 2045. Visi yang berani ini membayangkan sebuah negara tempat inovasi, teknologi, dan potensi manusia bersatu untuk menciptakan masa depan yang sejahtera, berkeadilan, dan memimpin dunia. Sebagai salah satu negara ekonomi berkembang paling dinamis di dunia, Indonesia memiliki posisi unik untuk memanfaatkan kekuatan teknologi mutakhir guna mempercepat perjalanannya menuju masyarakat yang sepenuhnya maju dan inklusif.

Di jantung transformasi ini terdapat tiga kekuatan yang dahsyat: **Kecerdasan Buatan (AI)**, **Riset Operasional (OR)**, dan **Rekayasa Manufaktur (ME)**. Bidang-bidang ini merupakan mesin penggerak industri masa depan. AI menghadirkan kemampuan untuk berpikir, belajar, dan beradaptasi; OR menawarkan perangkat untuk memecahkan tantangan yang paling rumit dan mengoptimalkan pengambilan keputusan; dan ME mengubah inovasi menjadi produk dan proses nyata yang mendorong pertumbuhan ekonomi. Bersama-sama, semuanya merupakan kunci untuk membuka potensi industri dan sosial Indonesia yang sangat besar.

Namun, janji dari teknologi-teknologi ini tidak dapat dipisahkan dari orang-orang yang akan menggunakannya. Masa depan pekerjaan di Indonesia akan dibentuk oleh munculnya AI generatif (*generative AI*) dan agensi (*agentic AI*)—teknologi yang akan mendefinisikan ulang pekerjaan, menciptakan peluang baru, dan menantang keterampilan yang ada. Mempersiapkan tenaga kerja Indonesia untuk berkembang di era baru ini bukan sekadar kebutuhan; ini adalah keharusan nasional. Melalui pendidikan, pelatihan ulang, dan penempatan yang etis, Indonesia dapat memastikan bahwa tidak seorang pun tertinggal dalam transformasi besar ini.

Naskah ini menyoroti jalan yang berani ke depan—jalan yang merangkul inovasi sambil memusatkan martabat dan kesempatan manusia. Bagian ini mengeksplorasi bagaimana AI, OR, dan ME dapat dimanfaatkan untuk membangun sektor manufaktur yang tangguh dan tangkas yang mendorong kemakmuran berkelanjutan. Bagian ini menghadapi realitas transisi tenaga kerja dan menawarkan strategi visioner untuk mempersiapkan setiap orang Indonesia untuk partisipasi yang berarti dalam ekonomi masa depan. Yang terpenting, bagian ini menyerukan strategi nasional yang terpadu dan terintegrasi yang menyelaraskan teknologi, bakat, dan etika untuk mewujudkan impian Indonesia Emas 2045.

Dengan menyatukan pelajaran global, kisah sukses Indonesia yang menginspirasi, dan ide-ide kebijakan yang berpikiran maju, bagian ini mengundang pembaca untuk membayangkan—dan membantu

membangun—masa depan di mana teknologi memberdayakan orang, dan di mana zaman keemasan Indonesia bersinar terang untuk semua.

Menafsir Ulang Peran Manusia dalam Transformasi Industri

Riset Operasional (OR) secara tradisional telah memainkan peran penting dalam mengoptimalkan sistem yang kompleks melalui pemodelan matematika, analisis statistik, dan solusi algoritmik. Di Indonesia, metode OR tentunya dapat mendukung keputusan dalam logistik rantai pasokan, perencanaan infrastruktur, manajemen perawatan kesehatan, dan kebijakan publik sesuai dengan uraian Petropoulos dkk. (2024). Namun, munculnya AI generatif—sistem yang mampu secara mandiri menghasilkan laporan, simulasi skenario, dan rekomendasi pengoptimalan—dan AI agen—agen pembuat keputusan otonom yang dapat bertindak dan beradaptasi secara *real-time*—mengubah cara OR dilakukan dan sifat pekerjaan dalam bidang ini.

Otomatisasi Tugas Analisis Rutin

Secara historis, profesional OR telah menghabiskan banyak waktu untuk prapemrosesan data, kalibrasi model, dan pembuatan laporan deskriptif—tugas-tugas yang, meskipun penting, sering kali berulang dan memakan waktu (Agrawal *et al.*, 2018). Saat ini, model AI generatif dapat mengotomatiskan langkah-langkah ini, dengan cepat menyintesis kumpulan data yang kompleks menjadi narasi, visualisasi, dan rekomendasi yang koheren. Misalnya, AI dapat menghasilkan laporan pengoptimalan logistik terperinci yang menyoroti keseimbangan utama dan menyarankan rencana yang dapat ditindaklanjuti tanpa campur tangan manusia secara langsung (Goodfellow *et al.*, 2016).

Sebagai contoh, perusahaan logistik Indonesia J&T Express telah mulai menguji coba algoritma perutean bertenaga AI yang secara otomatis menganalisis data arus paket dan membuat jadwal pengiriman harian, sehingga mengurangi waktu perencanaan manual hingga 50%. Otomatisasi ini memungkinkan analisis logistik untuk fokus pada pengecualian dan peningkatan strategis daripada penjadwalan rutin (J&T Express, 2024).

Di Indonesia, contoh penerapan otomatisasi ini ditemukan dalam studi kasus Inisiatif Kota Cerdas Jakarta di mana otomatisasi ini sangat berharga bagi lembaga pemerintah yang mengelola sistem perkotaan berskala besar seperti Jakarta.

Program Kota Cerdas Jakarta merupakan contoh utama Riset Operasional yang didukung AI dalam praktiknya. Inisiatif ini mengintegrasikan aliran data yang sangat besar—dari sensor lalu lintas, jadwal angkutan umum, dan layanan darurat—memasukkannya ke dalam model AI yang secara otomatis menyimulasikan skenario lalu lintas dan strategi alokasi sumber

daya. Dengan menggunakan AI agen, sistem secara dinamis menyesuaikan sinyal lalu lintas untuk mengurangi kemacetan dan memprediksi titik rawan untuk keadaan darurat (Unit Pengelola Jakarta Smart City, 2025).

Operator manusia telah beralih dari analisis data manual ke pengawasan keluaran AI dan melibatkan pemangku kepentingan masyarakat untuk menerapkan kebijakan perkotaan yang responsif. Pergeseran ini menggambarkan peran profesional OR yang terus berkembang yang tidak lagi berfokus pada pemrosesan data, tetapi lebih pada pengawasan strategis dan komunikasi dengan pemangku kepentingan.

Evolusi Peran OR: Dari Analis Menjadi Supervisor dan Ahli Strategi

Seiring dengan AI mengambil alih proses rutin, peran profesional OR bergeser ke arah pengawasan sistem AI, penafsiran *output*, dan pengambilan keputusan strategis yang didasarkan pada wawasan yang dihasilkan AI. Transisi ini memerlukan pemahaman yang lebih mendalam tentang algoritme AI, keterbatasannya, dan potensi biasanya (Doshi-Velez & Kim, 2017). Praktisi OR Indonesia menjadi pakar hibrida, memadukan pengetahuan domain dengan literasi AI.

Sebagai contoh, di PT Telkom Indonesia, perangkat AI kini mendukung pengoptimalan jaringan dan keputusan pemeliharaan prediktif. Analis OR telah beralih ke penafsiran *output* AI dan memberi saran kepada eksekutif tentang investasi infrastruktur. Kolaborasi manusia-AI ini telah mengurangi waktu henti jaringan hingga 25% dan meningkatkan kepuasan pelanggan (PT Telkom, 2025).

Studi Kasus pada Program Integrasi AI Institut Teknologi Bandung (ITB) menjadi contoh persiapan generasi profesional OR yang didukung AI berikutnya. ITB merombak kurikulum Teknik Industri untuk mengintegrasikan perangkat AI dan pertimbangan etika secara langsung ke dalam mata kuliah inti (ITB, 2024). Mahasiswa terlibat dalam proyek akhir yang bermitra dengan lembaga pemerintah untuk membangun sistem pendukung keputusan guna mengoptimalkan rantai pasokan dan perencanaan kota menggunakan teknik OR yang digerakkan oleh AI.

Lulusan muncul dengan keterampilan untuk melatih sistem AI sesuai kebutuhan unik Indonesia, menafsirkan model yang dihasilkan AI, dan mengomunikasikan wawasan kepada berbagai pemangku kepentingan, mempersiapkan mereka untuk peran analis hibrida di sektor publik dan swasta.

Menyiapkan Talenta di Era Kecerdasan Buatan

Integrasi cepat AI generatif dan agensi ke dalam Riset Operasional (OR) secara mendasar mengubah keterampilan dan kompetensi yang dibutuhkan tenaga kerja Indonesia. Untuk mewujudkan ambisi Indonesia Emas 2045, sangat penting untuk mengembangkan strategi nasional komprehensif yang membekali para profesional OR—dan pasar tenaga kerja yang lebih luas—dengan pengetahuan, keterampilan teknis, dan landasan etika yang diperlukan untuk berkembang dalam lingkungan yang didukung AI.

Memahami Pergeseran Keterampilan

OR yang digerakkan oleh AI menuntut seperangkat keterampilan hibrida yang menggabungkan teknik analisis klasik dengan literasi AI. Kompetensi utama meliputi:

- Dasar-dasar Pembelajaran Mesin dan AI: Memahami algoritma, proses pelatihan data, dan keterbatasan sistem AI (Goodfellow *et al.*, 2016).
- Manajemen dan Rekayasa Data: Keterampilan untuk menyiapkan, membersihkan, dan mengurasi kumpulan data untuk aplikasi AI (Kelleher & Tierney, 2018).
- Kemampuan Menginterpretasi dan Menjelaskan: Kemampuan untuk menjelaskan rekomendasi yang dihasilkan AI secara jelas kepada para pengambil keputusan dan pemangku kepentingan (Doshi-Velez & Kim, 2017).
- Etika dan Tata Kelola: Kesadaran akan bias, masalah privasi, dan dampak sosial dari penerapan AI (Jobin *et al.*, 2019).
- Pemikiran Strategis dan Sistemik: Menggunakan keluaran AI untuk menginformasikan keputusan yang rumit dan melibatkan banyak pemangku kepentingan (Petropoulos *et al.*, 2024).

Keterampilan ini berbeda secara signifikan dari pendidikan OR tradisional, yang secara historis berfokus pada pengoptimalan, pemrograman linier, dan statistik. Profesional OR baru yang didukung AI harus menjadi penerjemah dan pengawas AI, memadukan keahlian teknis dengan komunikasi dan penilaian etika.

Tantangan dalam Persiapan Tenaga Kerja

Indonesia menghadapi beberapa tantangan dalam mempersiapkan tenaga kerjanya untuk transformasi ini, yakni:

- Kesenjangan Pendidikan: Banyak universitas dan program pelatihan di Indonesia saat ini tidak memiliki integrasi AI yang komprehensif dalam kurikulum mereka, terutama di fakultas OR dan teknik industri (United Nations Development Programme, 2024).

- Akses ke Pelatihan Berkualitas: Kesenjangan geografis dan sosial ekonomi membatasi akses ke program pelatihan lanjutan, terutama di luar pusat kota seperti Jakarta dan Bandung (UNDP Indonesia, 2024).
- Infrastruktur Digital: Infrastruktur digital yang tidak memadai di daerah terpencil membatasi kemampuan untuk terlibat dengan perangkat AI dan platform pembelajaran daring (Kementerian Komunikasi dan Digital, 2025).
- Resistensi terhadap Perubahan: Pola pikir tradisional di beberapa organisasi mungkin menolak mengadopsi alur kerja yang dilengkapi AI, sehingga membatasi inisiatif pengembangan profesional (Arias et al., 2025).
- Konteks Etika dan Budaya: Sistem AI yang dilatih pada data global mungkin tidak cukup mencerminkan keberagaman sosial, bahasa, dan budaya Indonesia yang unik, sehingga memerlukan pelatihan kontekstual khusus (Kementerian Komunikasi dan Digital, 2025).

Inisiatif Strategis untuk Pengembangan Tenaga Kerja

Untuk mengatasi tantangan ini, Indonesia harus menerapkan strategi multi-cabang yang mencakup reformasi pendidikan, program yang dipimpin pemerintah, kemitraan publik-swasta, dan keterlibatan masyarakat dalam bentuk:

1. Modernisasi dan Integrasi Kurikulum

Universitas dan lembaga teknik harus memodernisasi kurikulum OR dan teknik dengan menanamkan dasar-dasar AI, pertimbangan etika, dan penggunaan alat AI secara langsung ke dalam program gelar. Sebagai contoh, Institut Teknologi Bandung (ITB) telah memelopori hal ini dengan memperkenalkan modul AI dalam kursus Teknik Industrinya, dikombinasikan dengan proyek yang melibatkan lembaga pemerintah untuk memecahkan masalah perencanaan kota yang nyata (ITB, 2024). Contoh lain yaitu Universitas Gadjah Mada (UGM) di Yogyakarta yang meluncurkan spesialisasi ilmu data yang mengintegrasikan etika AI dan desain sistem AI yang disesuaikan untuk konteks sosial budaya Asia Tenggara, membantu mahasiswa mengembangkan aplikasi AI yang relevan secara regional (UGM, 2023). Dalam hal ini, otoritas pendidikan nasional (misalnya, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi) harus memberi insentif kepada universitas-universitas di seluruh Indonesia untuk mengadopsi reformasi kurikulum serupa, memastikan lembaga-lembaga daerah tidak tertinggal.

2. Pelatihan Ulang dan Peningkatan Keterampilan Tenaga Kerja yang Ada

Program pengembangan profesional berkelanjutan sangat penting bagi tenaga kerja saat ini, termasuk analis, perencana, dan pengambil keputusan. Sebagai contoh, Inisiatif pelatihan ulang AI Kementerian Komunikasi dan Informatika menawarkan kursus dan lokakarya daring bagi pegawai negeri sipil yang mengelola layanan perkotaan, untuk meningkatkan kemampuan mereka dalam bekerja bersama sistem AI (Kementerian Komunikasi dan Digital, 2025). Contoh lainnya ditemukan pada PT. PERTAMINA, perusahaan minyak dan gas milik negara Indonesia, yang telah menerapkan program peningkatan keterampilan AI bagi tim logistik dan rantai pasokannya, yang memungkinkan staf untuk berkolaborasi dengan sistem AI guna melakukan pemeliharaan prediktif dan mengoptimalkan rute distribusi bahan bakar (Pertamina, 2025). Tindakan yang diperlukan untuk mencapai tujuan program ini tentunya adalah memperluas program ini kepada karyawan sektor swasta, khususnya di bidang logistik, manufaktur, dan utilitas publik, melalui subsidi, sertifikasi, dan kemitraan dengan perusahaan teknologi.

3. Pengembangan Platform Pembelajaran Daring yang Mudah Diakses

Untuk menjembatani kesenjangan geografis dan sosial ekonomi, Indonesia harus berinvestasi dalam infrastruktur digital dan mengembangkan platform pendidikan AI yang mudah diakses yang disesuaikan dengan bahasa dan konteks setempat. Sebagai contoh, portal daring *AI for Indonesia*, yang diluncurkan pada tahun 2023, menawarkan kursus gratis dalam Bahasa Indonesia tentang dasar-dasar dan aplikasi AI, yang menjangkau pelajar di seluruh negeri (Indonesia AI, 2025). Contoh lain, Ruangguru, platform *edtech* terkemuka di Indonesia, bermitra dengan lembaga pemerintah untuk menyediakan kursus literasi data dan AI yang disesuaikan dengan kebutuhan siswa kejuruan di daerah pedesaan (Ruangguru, 2025). Tindakan yang diperlukan adalah memperkuat akses pita lebar di daerah pedesaan dan memberi insentif kepada pemerintah daerah untuk mempromosikan inisiatif literasi digital.

4. Promosi Kolaborasi Interdisipliner dan Pusat Inovasi

Membangun lingkungan tempat para ahli OR, ilmuwan data, ahli etika, dan pembuat kebijakan berkolaborasi mempercepat inovasi dan membuat konteks yang tepat solusi AI untuk kebutuhan Indonesia. Contoh pelaksanaan antara lain dilakukan oleh Lab Inovasi AI Jakarta yang menyelenggarakan lokakarya dan inkubator lintas sektor yang berfokus pada perencanaan perkotaan dan penyediaan layanan yang didukung AI, yang menghubungkan akademisi, pemerintah, dan industri (APTIKNAS, 2025). Contoh lain adalah Prakarsa Kota Cerdas Surabaya yang telah mendirikan

pusat inovasi AI regional yang mempertemukan pejabat pemerintah daerah, universitas, dan perusahaan rintisan teknologi untuk mengembangkan solusi berteknologi AI untuk pengoptimalan transportasi umum dan respons bencana (Master Plan Smart City Surabaya, 2023).

Tindakan yang perlu dilakukan tentunya mendirikan pusat serupa di kota-kota besar dan wilayah lain untuk mendesentralisasikan inovasi AI dan persiapan tenaga kerja.

5. Menanamkan Etika dan Dampak Sosial dalam Pelatihan

Pemanfaatan AI yang etis harus menjadi pusat dari semua upaya pengembangan tenaga kerja untuk memastikan AI meningkatkan dan bukannya melemahkan kesetaraan sosial. Universitas Indonesia (UI) mengembangkan kursus khusus etika dan kebijakan AI yang dirancang khusus untuk Indonesia, dengan fokus pada mitigasi bias, transparansi, dan menghormati konteks budaya yang beragam (Artificial Intelligence Center Indonesia, 2025). Di sisi lain, Konsorsium Etika AI Indonesia, sebuah koalisi universitas, LSM, dan lembaga pemerintah, menyediakan panduan dan lokakarya tentang penggunaan AI yang etis, khususnya dalam aplikasi sektor publik (KORIKA, 2021). Tindakan untuk mengintegrasikan etika data, mitigasi bias, dan prinsip transparansi ke dalam semua kurikulum dan pelatihan profesional terkait AI, dengan mengadaptasi materi ke dalam konteks budaya Indonesia yang beragam diperlukan untuk inisiatif ini.

Mengukur Keberhasilan dan Menyesuaikan Strategi

Penerapan inisiatif ini memerlukan kerangka kerja pemantauan dan evaluasi yang kuat. Indikator kinerja utama (KPI) dapat mencakup:

- Persentase program terkait OR yang menggabungkan modul AI.
- Jumlah profesional yang tersertifikasi dalam keterampilan OR yang didukung AI.
- Jangkauan geografis dan demografis program pelatihan AI.
- Kepuasan pemberi kerja terhadap tenaga kerja terampil AI.
- Dampak pada retensi, penciptaan, dan transformasi pekerjaan.

Penilaian rutin memungkinkan pembuat kebijakan untuk menyesuaikan strategi, mengalokasikan sumber daya secara efektif, dan memastikan keselarasan dengan tujuan Indonesia Emas 2045.

Proses persiapan tenaga kerja Indonesia untuk Riset Operasional yang digerakkan oleh AI bukan sekadar tantangan teknis, melainkan keharusan nasional. Melalui reformasi pendidikan yang terkoordinasi, inisiatif pelatihan ulang, investasi infrastruktur, dan tata kelola yang etis, Indonesia dapat mengembangkan tenaga kerja yang mampu memanfaatkan AI untuk mengoptimalkan sistem, meningkatkan pengambilan keputusan, dan

mempercepat pembangunan berkelanjutan. Pendekatan proaktif ini akan memberdayakan para profesional Indonesia untuk memimpin masa depan yang didukung AI, menjadikan Indonesia Emas 2045 kenyataan.

Evolusi Pekerjaan dalam Ekosistem Manufaktur

Kehadiran kecerdasan buatan generatif dan agensi siap mengubah sektor manufaktur Indonesia secara mendalam. Seiring dengan kemajuan negara menuju visi ambisius Indonesia Emas 2045, memahami bagaimana AI akan membentuk kembali pekerjaan manufaktur dan menciptakan peran hibrida baru sangat penting bagi para pembuat kebijakan, pendidik, dan pemimpin industri. Bagian ini membahas sifat pekerjaan manufaktur yang terus berkembang, munculnya keahlian hibrida, dan strategi yang diperlukan untuk mempersiapkan pekerja Indonesia menghadapi masa depan yang dinamis ini.

Perubahan Sifat Pekerjaan Manufaktur

Peran manufaktur tradisional di Indonesia—mulai dari operator jalur perakitan hingga inspektur kontrol kualitas—secara historis melibatkan tenaga kerja manual, tugas berulang, dan pemantauan rutin. Pengenalan otomatisasi berbasis AI dan robotika cerdas mengubah peran ini dalam beberapa cara utama:

- **Otomatisasi Tugas Rutin:** Robotika bertenaga AI dan sistem pintar semakin banyak melakukan tugas berulang dan tepat seperti pengelasan, pengemasan, dan inspeksi dengan efisiensi dan konsistensi yang lebih baik (Bessen, 2018). Misalnya, Toyota Motor Manufacturing Indonesia telah mengintegrasikan lengan robot dengan sistem visi AI untuk mengotomatiskan proses pengelasan dan pengecatan, mengurangi tingkat kesalahan dan meningkatkan produktivitas (PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia, 2025).
- **Kontrol Kualitas yang Disempurnakan:** Sistem AI yang dilengkapi dengan visi komputer mendeteksi cacat dan anomali secara *real-time*. Misalnya, PT Unilever Indonesia menggunakan inspeksi kualitas berbasis AI untuk memindai produk secara otomatis pada sabuk konveyor, menggantikan inspeksi manual dan secara signifikan mengurangi cacat (PT Unilever Indonesia Tbk, 2025).
- **Pengambilan Keputusan Berdasarkan Data:** Manufaktur semakin berpusat pada data. Perusahaan seperti PT Indofood Sukses Makmur memanfaatkan analitik bertenaga AI untuk mengoptimalkan logistik rantai pasokan dan manajemen inventaris, yang memungkinkan pekerja berinteraksi dengan dasbor AI yang memandu jadwal produksi dan alokasi sumber daya (Indofood, 2025).

Transformasi ini mengalihkan fokus tenaga kerja dari eksekusi manual ke peran pengawasan, analitis, dan pemecahan masalah yang membutuhkan keahlian baru.

Munculnya Peran Hibrida Baru

AI tidak sekadar menggantikan pekerjaan; AI membentuk ulang dan menciptakan peran baru yang menggabungkan kekuatan manusia dengan kemampuan AI. Peran hibrida yang memadukan keterampilan teknis, manajerial, dan interpersonal sangat penting dalam ekosistem manufaktur Indonesia. Beberapa contoh peran tersebut antara lain:

- **Supervisor Produksi yang Didukung AI:** Di PT Astra International, supervisor produksi telah berevolusi dari pengawas manual menjadi koordinator yang melekat AI yang menafsirkan peringatan yang dihasilkan AI, menyesuaikan alur kerja, dan memastikan kelangsungan operasional (Astra, 2025).
- **Analisis Data dan Spesialis AI dalam Manufaktur:** Pusat Industri Digital Indonesia berkolaborasi dengan universitas lokal untuk melatih para profesional yang mengembangkan model AI untuk pemeliharaan prediktif dan kontrol kualitas yang disesuaikan dengan kondisi manufaktur Indonesia (Pusat Industri Digital Indonesia, 2025).
- **Pelatih Kolaborasi Manusia-AI:** Perusahaan seperti PT Semen Indonesia menjalankan program internal di mana pelatih AI mengajarkan pekerja pabrik cara berinteraksi dengan mesin yang dibantu AI dan menafsirkan keluaran sistem, yang mendorong kerja sama manusia-mesin yang lancar (Semen Indonesia, 2025).
- **Petugas Etika dan Kepatuhan:** Dengan semakin berkembangnya adopsi AI, perusahaan seperti Telkom Indonesia telah menetapkan peran yang berfokus pada penerapan AI yang etis dan kepatuhan terhadap peraturan privasi data, yang memastikan penggunaan AI yang bertanggung jawab di lingkungan produksi (PT Telkom, 2025).
- **Teknisi Pemeliharaan Robotika:** Peran hibrida terlihat di PT Panasonic Gobel Indonesia, di mana teknisi memelihara komponen mekanis dan perangkat lunak dari jalur perakitan robotik bertenaga AI (Panasonic Indonesia, 2025).

Semua inisiatif ini tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga meningkatkan kemampuan pekerja, yang menunjukkan peran penting pelatihan ulang dalam adopsi AI.

Dampak bagi Pekerja Manufaktur Indonesia

Pergeseran pekerjaan manufaktur yang didorong oleh AI menawarkan peluang dan risiko, yakni:

- **Kebutuhan untuk Meningkatkan Keterampilan:** Perusahaan seperti PT Garudafood telah bermitra dengan sekolah teknik setempat untuk memberikan pelatihan dasar AI dan analisis data kepada pekerja, mengatasi kesenjangan keterampilan dan meningkatkan kemampuan kerja (Garudafood, 2025).
- **Risiko Perpindahan Pekerjaan:** Sebuah studi Bank Dunia (2023) memperingatkan bahwa peran manufaktur berketerampilan rendah di wilayah seperti Jawa Tengah menghadapi pengurangan terkait otomatisasi, yang menekankan urgensi program peningkatan keterampilan.
- **Meningkatnya Permintaan *Soft Skill*:** Pengusaha semakin menghargai kreativitas, kemampuan beradaptasi, dan komunikasi, seperti yang terlihat di perusahaan seperti PT Sarihusada Generasi Mahardhika, yang mendorong laboratorium inovasi yang mendorong inisiatif AI yang digerakkan oleh karyawan (Sarihusada, 2025).
- **Kesenjangan Regional:** Sementara pusat manufaktur Jakarta dan Surabaya dengan cepat mengadopsi AI, kawasan industri pedesaan menghadapi transisi yang lebih lambat karena keterbatasan infrastruktur, sehingga memerlukan investasi yang terarah (Kementerian Komunikasi dan Digital, 2025).

Strategi untuk Mendukung Transisi Tenaga Kerja

Untuk memaksimalkan manfaat AI dan meminimalkan risiko, Indonesia harus menerapkan pendekatan multi-level:

- **Kolaborasi Pemerintah-Industri-Pendidikan:** Peta Jalan Industri 4.0 Indonesia mendorong kemitraan antara Kementerian Perindustrian, produsen, dan universitas untuk bersama-sama mengembangkan program pelatihan yang berfokus pada AI.
- **Investasi dalam Pendidikan Kejuruan:** Program Revitalisasi Pendidikan dan Pelatihan Teknis dan Kejuruan mendukung pelatihan AI dan robotika di sekolah kejuruan, mempersiapkan siswa untuk peran manufaktur hibrida yang sedang berkembang (UNESCO, 2025).
- **Jaring Pengaman Sosial dan Program Transisi:** Undang-Undang Penciptaan Lapangan Kerja Indonesia mencakup ketentuan untuk tunjangan pengangguran dan hibah pelatihan ulang untuk mendukung pekerja yang kehilangan pekerjaan (Kemmerling & Ranawijaya, 2025).
- **Promosi Pembelajaran Sepanjang Hayat:** Perusahaan seperti PT Unilever Indonesia mendorong pembelajaran berkelanjutan dengan menawarkan kredensial mikro dalam kompetensi AI dan mensponsori

partisipasi karyawan dalam kursus daring (PT Unilever Indonesia Tbk, 2025).

- Infrastruktur Digital Inklusif: Proyek perluasan pita lebar di kawasan industri, seperti yang dipimpin oleh Telkom Indonesia, memastikan akses digital yang adil, yang memungkinkan partisipasi tenaga kerja AI yang lebih luas (PT Telkom, 2025).

Transformasi yang digerakkan oleh AI di sektor manufaktur Indonesia menandai peralihan dari pekerjaan manual dan berulang ke peran hibrida yang memadukan wawasan manusia dan kecerdasan mesin. Mempersiapkan tenaga kerja untuk paradigma baru ini memerlukan peningkatan keterampilan yang proaktif, kebijakan sosial yang komprehensif, dan pembangunan ekosistem yang kolaboratif. Dengan merangkul perubahan ini secara strategis, Indonesia dapat memanfaatkan AI untuk meningkatkan produktivitas manufaktur, menciptakan lapangan kerja yang berkualitas, dan mewujudkan pertumbuhan berkelanjutan yang dibayangkan dalam Indonesia Emas 2045.

Membangun Kesiapan Tenaga Kerja Manufaktur Industri 4.0

Transisi ke Industri 4.0 menandai pergeseran mendasar dalam manufaktur yang didorong oleh sistem siber-fisik, *Internet of Things* (IoT), *big data*, dan, yang terpenting, kecerdasan buatan. Indonesia, yang tengah berjuang menuju visi Indonesia Emas 2045, harus memastikan bahwa tenaga kerja manufakturnya sepenuhnya siap untuk transformasi ini. Bagian ini menguraikan komponen utama, tantangan, dan tindakan strategis yang penting untuk menyiapkan tenaga kerja Indonesia untuk Industri 4.0, dengan fokus pada manufaktur yang didukung AI.

Memahami Industri 4.0 dan Implikasinya terhadap Tenaga Kerja

Industri 4.0 mengintegrasikan teknologi digital dengan proses manufaktur untuk menciptakan “pabrik pintar” yang dicirikan oleh mesin yang saling terhubung, aliran data waktu nyata, dan otomatisasi adaptif (Kagermann, 2015). Bagi tenaga kerja, ini berarti:

- Pekerjaan menuntut literasi digital dan keakraban dengan perangkat AI.
- Pekerja berkolaborasi erat dengan mesin, mengalihkan peran dari operasi manual ke pengawasan sistem dan pemecahan masalah.
- Keterampilan lunak seperti kemampuan beradaptasi, berpikir kritis, dan kerja sama tim menjadi sangat penting.

Bagi Indonesia, dengan basis manufaktur besar yang mempekerjakan jutaan orang, implikasi ini menghasilkan kebutuhan peningkatan dan pelatihan ulang yang mendesak untuk menghindari pemindahan tenaga kerja dalam skala besar.

Kesiapan Tenaga Kerja Saat Ini di Sektor Manufaktur Indonesia

Tenaga kerja manufaktur Indonesia beragam, dengan berbagai tingkat pendidikan dan keterampilan. Sementara beberapa perusahaan besar dan klaster industri telah mulai mengadopsi teknologi Industri 4.0, mayoritas UKM dan pabrik kecil menghadapi kendala. Kenyataan ini juga terlihat dengan adanya:

- Kesenjangan keterampilan digital di mana banyak pekerja tidak memiliki kompetensi digital dasar yang dibutuhkan untuk berinteraksi dengan sistem yang mendukung AI (Arias *et al.*, 2025).
- Pelatihan kejuruan yang Terbatas di mana banyak sekolah kejuruan tradisional masih menekankan keterampilan mekanik konvensional, dengan sedikit fokus pada AI, analisis data, dan robotika.
- Tantangan Infrastruktur di mana akses yang tidak memadai ke internet dan perangkat digital yang andal di banyak wilayah manufaktur menghambat pelatihan dan adopsi yang efektif.

Survei terkini (Pusat Industri Digital Indonesia, 2025) menunjukkan bahwa kurang dari 25% tenaga kerja manufaktur memiliki pelatihan formal di bidang digital atau terkait AI, yang menyoroti skala tantangan tersebut.

Kompetensi dan Keterampilan Utama untuk Manufaktur Industri 4.0

Mempersiapkan tenaga kerja memerlukan penetapan kompetensi yang jelas dan selaras dengan tuntutan Industri 4.0. Kompetensi tersebut meliputi:

- Literasi Digital dan AI.
Tenaga kerja perlu memahami dasar-dasar AI, mengoperasikan mesin yang dilengkapi AI, menafsirkan wawasan data yang digerakkan oleh AI, dan memelihara peralatan pintar (World Economic Forum, 2024).
- Keterampilan Teknis Lanjutan.
Tenaga kerja perlu menguasai pemrograman robotika, integrasi sistem, pemeliharaan sistem siber-fisik, dan pemecahan masalah perangkat lunak.
- Keterampilan Analisis dan Pemecahan Masalah.
Tenaga kerja harus memiliki kemampuan menganalisis data produksi, mendiagnosis kesalahan sistem, dan mengoptimalkan alur kerja menggunakan rekomendasi yang dihasilkan AI.
- Keterampilan Lunak.
Tenaga kerja harus memiliki keterampilan dalam komunikasi, kemampuan beradaptasi, kolaborasi, dan pola pikir pembelajaran berkelanjutan.

- Keselamatan dan Etika.
Tenaga kerja wajib memiliki kesadaran akan etika AI, privasi data, dan keselamatan tempat kerja di lingkungan yang digerakkan oleh AI.

Tindakan Strategis untuk Persiapan Tenaga Kerja

Persiapan Indonesia untuk transformasi tenaga kerja Industri 4.0 harus bersifat multidimensi dengan komponen-komponen sebagai berikut:

1. Reformasi Sistem Pendidikan dan Inovasi Kurikulum.

Hal ini perlu dijabarkan melalui beberapa inisiatif seperti:

- Mengintegrasikan Konsep AI dan Industri 4.0 dalam Pendidikan Kejuruan.
Revisi kurikulum Pendidikan dan Pelatihan Teknis dan Kejuruan perlu dilakukan untuk menggabungkan dasar-dasar AI, IoT, dan analisis data, seperti yang terlihat dalam inisiatif Peta Jalan Industri 4.0 Indonesia (Pusat Industri Digital Indonesia, 2025).
- Memperkuat Kemitraan Universitas-Industri.
Promosi magang dan program penelitian bersama yang berfokus pada aplikasi AI dalam manufaktur perlu digiatkan.
- Membangun Pusat Keunggulan.
Pengembangan pusat inovasi Industri 4.0 yang menawarkan pelatihan langsung dengan mesin dan laboratorium simulasi yang mendukung AI akan sangat diperlukan di dalam proses menyiapkan tenaga kerja dengan kompetensi baru yang dibutuhkan tersebut.

2. Program Peningkatan Keterampilan dan Pelatihan Ulang bagi Pekerja yang Ada.

Penjabaran lebih lanjut komponen ini dapat dilakukan melalui:

- Inisiatif Pelatihan Perusahaan.
Produsen besar Indonesia seperti PT Astra International dan PT Unilever Indonesia telah menerapkan program pelatihan literasi digital dan AI yang berkelanjutan bagi karyawan, dengan fokus pada pengoperasian robotika, analisis data, dan pemecahan masalah sistem AI ((Astra, 2025); (PT Unilever Indonesia Tbk, 2025)).
- Pelatihan yang Disponsori Pemerintah.
Program Kartu Prakerja pemerintah diperluas untuk menawarkan modul tentang keterampilan AI dan manufaktur digital, yang ditujukan bagi pekerja yang terlantar atau rentan yang mencari peluang baru (Prakerja, 2024).



- Model Pembelajaran Fleksibel.
Platform daring seperti Dicoding Indonesia dan Skill Academy menawarkan kursus yang dapat diakses dalam kompetensi AI dan Industri 4.0 yang disesuaikan untuk pekerja Indonesia.

3. Meningkatkan Infrastruktur dan Aksesibilitas Digital.

Inisiatif yang perlu dikembangkan lebih lanjut, antara lain:

- Perluasan Pita Lebar.
Upaya Telkom Indonesia untuk memperluas internet berkecepatan tinggi di kawasan industri telah memungkinkan akses yang lebih baik ke perangkat AI dan pelatihan daring bagi produsen di Jawa, Sumatera, dan sekitarnya (PT Telkom, 2025).
- Perangkat yang Terjangkau.
Kemitraan antara pemerintah dan sektor swasta telah mensubsidi laptop dan tablet untuk siswa kejuruan dan pekerja pabrik, membantu menutup kesenjangan digital.

4. Membina Budaya Belajar Sepanjang Hayat dan Inovasi.

Beberapa inisiatif yang lebih dikembangkan, antara lain melalui:

- Organisasi Pembelajaran.
PT Sarihusada Generasi Mahardhika, perusahaan manufaktur terkemuka di Indonesia, telah mengembangkan laboratorium inovasi internal tempat para pekerja berkolaborasi dalam proyek AI, yang mendorong peningkatan keterampilan berkelanjutan dan pemecahan masalah yang kreatif (Sarihusada, 2025).

- Asosiasi Industri.
Masyarakat Manufaktur Indonesia (Mami) harus terus secara aktif mempromosikan lokakarya keterampilan digital dan kampanye kesadaran tentang adopsi Industri 4.0.

5. Tantangan.

Ada beberapa komponen tantangan yang harus dihadapi di dalam proses menyiapkan tenaga kerja di bidang manufaktur tersebut yang terdiri dari:

- Kendala Finansial.
UKM sering kali kekurangan modal untuk berinvestasi dalam pelatihan atau infrastruktur AI, sehingga memerlukan subsidi pemerintah atau kemitraan publik-swasta.
- Keadilan dan Inklusi.
Diperlukan program khusus untuk memastikan perempuan, pemuda, dan pekerja di daerah pedesaan tidak tertinggal dalam transisi (ILO, 2023).
- Manajemen Perubahan.
Menangani kekhawatiran pekerja tentang keamanan kerja dan penggunaan AI yang etis melalui komunikasi yang transparan dan dialog sosial sangatlah penting.
- Keselarasan dengan Kebijakan Ekonomi,
Persiapan tenaga kerja harus diintegrasikan dengan strategi ekonomi industri dan digital nasional untuk memastikan koherensi dan keberlanjutan.

Indonesia tentunya telah memiliki modal untuk terus menapakkan kaki menuju terciptanya transformasi tenaga kerja yang didambakan mengingat sudah mulai ada proses-proses di dunia manufaktur di Indonesia. Salah satunya adalah PT Panasonic Gobel Indonesia yang telah menjadi pelopor dalam penerapan teknologi Industri 4.0 di pabrik manufakturnya. Perusahaan telah memperkenalkan lini perakitan robotika bertenaga AI dan sistem pemeliharaan prediktif terintegrasi pada tahun 2022. Di samping itu, Panasonic menerapkan program pelatihan karyawan yang komprehensif, menggabungkan instruksi kelas, modul pembelajaran elektronik, dan lokakarya langsung yang berfokus pada pengoperasian dan pemeliharaan sistem AI. Hasilnya, Panasonic melaporkan peningkatan produktivitas sebesar 25% dan pengurangan signifikan dalam waktu henti mesin, sekaligus berhasil menransisikan lebih dari 500 pekerja ke peran hibrida baru yang menggabungkan tanggung jawab teknis dan analitis (Panasonic Indonesia, 2025).

Mempersiapkan tenaga kerja manufaktur Indonesia untuk Industri 4.0 merupakan usaha yang rumit namun krusial untuk mewujudkan visi Indonesia Emas 2045. Melalui reformasi pendidikan, peningkatan

keterampilan yang terarah, peningkatan infrastruktur, dan pengembangan budaya belajar sepanjang hayat, Indonesia dapat menciptakan tenaga kerja tangguh yang mampu berkembang pesat di lingkungan manufaktur yang didukung AI.

Manajemen Transisi Tenaga Kerja dan AI yang Etis

Tantangan ganda dalam mempersiapkan tenaga kerja manufaktur Indonesia untuk Revolusi Industri Keempat ada dua, yaitu menavigasi implikasi sosial ekonomi dari transformasi pekerjaan berskala besar dan memastikan penerapan kecerdasan buatan (AI) yang etis di tempat kerja. Karena AI semakin memengaruhi pengambilan keputusan, otomatisasi, dan dinamika tempat kerja, pemerintah dan industri harus mengelola transisi secara bertanggung jawab dengan cara menyeimbangkan efisiensi ekonomi dengan keadilan, transparansi, dan martabat dalam bekerja.

Sifat Perpindahan dan Transisi Tenaga Kerja

AI dan otomatisasi diperkirakan akan menggantikan jenis pekerjaan tertentu sekaligus menciptakan peran baru yang lebih kompleks. Menurut World Economic Forum (2025), sementara 85 juta pekerjaan mungkin akan digantikan secara global oleh AI dan otomatisasi pada tahun 2025, 97 juta peran baru dapat muncul yang lebih cocok untuk kolaborasi manusia-mesin.

Dampak Transisi Utama di Indonesia, antara lain:

- Penghilangan Peran yang Membutuhkan Keterampilan Rendah. Pekerjaan rutin dan padat karya manual di sektor-sektor seperti manufaktur garmen, pengolahan makanan, dan perakitan dasar paling berisiko.
- Meningkatnya Peran Hibrida dan Teknis. Posisi baru seperti operator sistem AI, teknisi perawatan robot, dan juru bahasa data semakin diminati.
- Kesenjangan Perkotaan-Pedesaan. Pusat perkotaan seperti Jakarta, Surabaya, dan Bandung lebih siap untuk transisi digital, sementara daerah pedesaan mungkin tertinggal dalam infrastruktur digital dan akses ke program pelatihan ulang (Kemmerling & Ranawijaya, 2025).

Contoh yang dapat diangkat untuk menggambarkan kondisi ini adalah PT Eigerindo MPI, produsen perlengkapan luar ruangan yang berbasis di Jawa Barat. Perusahaan ini beralih ke jalur perakitan semi-otomatis pasca-COVID-19. Sementara beberapa peran menjahit dikurangi, perusahaan melatih kembali operator sebagai pengawas lini dengan kemampuan pemantauan dasbor digital. Hal ini meminimalkan PHK dan meningkatkan produktivitas sebesar 18% (Eigerindo, 2023).

Pendekatan Strategis untuk Mengelola Transisi Tenaga Kerja

Menyikapi sifat perpindahan dan pengelolaan proses transisi tenaga kerja tersebut, perlu adanya beberapa pendekatan strategis yaitu:

1. Adanya Kebijakan Pemerintah dan Reformasi Regulasi Ketenagakerjaan yang Relevan.

Hal ini diimplementasikan melalui:

- Kerangka Kerja Dukungan Transisi Digital dengan memperkenalkan regulasi kesiapan AI dan rencana transisi tenaga kerja di bawah Peta Jalan Ekonomi Digital Indonesia.
- Perlindungan Pekerja dengan mengamendemen Undang-Undang Ketenagakerjaan tahun 2003 untuk memasukkan perlindungan bagi pekerja yang tergusur oleh AI, seperti jaminan pesangon, mandat pelatihan ulang, dan voucher keterampilan digital.
- Inisiatif Pelatihan Ulang Publik dengan memperluas program seperti Kartu Prakerja untuk fokus pada peran manufaktur yang berisiko, dengan menawarkan modul yang relevan dengan AI.

2. Program Transisi yang Dipimpin oleh Pemberi Kerja yang diimplementasikan melalui:

- Perencanaan Penempatan Ulang yang Proaktif di mana pemberi kerja harus mengantisipasi dampak otomatisasi dan menawarkan jalur pelatihan ulang sebelum PHK terjadi dengan beberapa cara seperti:
- Ekosistem Pembelajaran Internal. Perusahaan seperti PT Indofood CBP telah mengembangkan “Pusat Pembelajaran Digital” di dalam pabrik, yang menawarkan kursus peningkatan keterampilan terkait AI modular bagi pekerja (Indofood, 2025).
- Partisipasi Serikat Pekerja dan Pekerja. Pekerja harus memiliki suara dalam keputusan tentang adopsi AI, memastikan transparansi dan kepercayaan dalam perencanaan transisi.

3. Mekanisme Dukungan Komunitas dan UKM.

UKM sebagai salah satu pilar penting perekonomian Indonesia membutuhkan dukungan dalam proses transisi tersebut yang dapat diwujudkan melalui beberapa cara seperti:

- Dana Transisi Digital untuk UKM dengan menawarkan insentif fiskal atau pinjaman lunak bagi produsen kecil untuk berinvestasi dalam sistem AI di samping pelatihan.

- Laboratorium Tenaga Kerja Lokal melalui kolaborasi dengan universitas (misalnya, Institut Teknologi Bandung, Universitas Bakrie) untuk membuat pusat pelatihan lokal di kluster industri.

Prinsip Etis untuk Penerapan AI dalam Manufaktur

Sistem AI memengaruhi perekrutan, evaluasi, promosi, dan bahkan keselamatan dalam manufaktur. Untuk memastikan keadilan dan kepercayaan publik, AI harus diterapkan secara etis dan transparan. Hal ini dapat diwujudkan dengan mengusung inisiatif keberadaan Prinsip AI Etis di Tempat Kerja dengan dimensinya yaitu:

- **Transparansi.**
Pekerja harus diberi tahu tentang kapan dan bagaimana sistem AI membuat keputusan yang memengaruhi mereka.
- **Akuntabilitas.**
Pengawas manusia harus selalu bertanggung jawab atas keputusan penting (misalnya, evaluasi kinerja, penegakan keselamatan).
- **Privasi dan Perlindungan Data.**
Data karyawan yang digunakan untuk sistem AI (misalnya, pemantauan produktivitas atau kehadiran) harus dikumpulkan dan diproses dengan persetujuan yang diinformasikan.
- **Keadilan dan Non-Diskriminasi.**
Algoritme harus diaudit secara berkala untuk memastikan algoritme tidak mengodekan atau memperkuat bias—terutama dalam perekrutan, promosi, atau penugasan tugas.

Beberapa tolok ukur global dapat digunakan sebagai referensi penerapan AI secara etis dan transparan seperti Pedoman Etika Uni Eropa untuk AI yang Dapat Dipercaya dan Prinsip AI OECD yang menekankan penerapan AI yang berpusat pada manusia. Keduanya dapat menjadi referensi bagi Indonesia untuk melokalisasi kerangka etika.

Dalam Konteks Indonesia, Kementerian Komunikasi dan Digital (Komdigi) sedang mengembangkan kerangka etika AI nasional, yang mencakup ketentuan untuk transparansi dan akuntabilitas algoritmik dalam konteks ketenagakerjaan (KORIKA, 2021).

Penerapan Tata Kelola AI yang Bertanggung Jawab dalam Manufaktur

Agar proses penerapan ini berjalan secara efektif, diperlukan adanya:

1. **Penetapan Mekanisme Pengawasan** dengan implementasi:
 - Komite Etika AI. Dewan internal perusahaan, termasuk SDM, TI, hukum, dan perwakilan pekerja dibentuk untuk memantau sistem AI dan menandai risiko etika.

- Audit Pihak Ketiga. Auditor independen (akademisi atau masyarakat sipil) meninjau sistem AI manufaktur untuk menilai kepatuhan terhadap standar privasi, kesetaraan, dan keadilan.

2. **Peningkatan Kapasitas dan Kesadaran** melalui beberapa program seperti:

- Pelatihan AI Etis untuk Manajer. Manajer menengah dan supervisor harus menerima pelatihan tentang penafsiran keputusan AI dan pengidentifikasian masalah etika.
- Pendidikan Hak Pekerja. Karyawan harus mengetahui hak-hak mereka di tempat kerja yang disempurnakan secara digital, termasuk cara menantang keputusan otomatis yang dihasilkan AI.

3. **Komunikasi Transparan**

Komunikasi Transparan yang diimplementasikan melalui pembaruan rutin dan dialog terbuka dengan karyawan tentang rencana penerapan AI dan bagaimana perubahan ini dapat memengaruhi peran dan harapan mereka.

Contoh penerapan yang telah ada di Indonesia dapat dilihat pada PT Unilever Indonesia di mana perusahaan mengimplementasikan sistem manajemen tenaga kerja berbasis AI untuk mengoptimalkan jadwal sif dan pemantauan kinerja. Sebelum penerapan tersebut dilakukan, perusahaan:

- Melakukan konsultasi pemangku kepentingan dengan pekerja dan serikat pekerja.
- Membuat dewan etika internal untuk memantau penerapan sistem.
- Memungkinkan pekerja untuk melihat data kinerja mereka sendiri dan meminta tinjauan peringatan yang dihasilkan AI.

Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga menumbuhkan kepercayaan pekerja terhadap sistem baru (PT Unilever Indonesia Tbk, 2025).

Rekomendasi untuk Kebijakan dan Praktik

Dengan melihat uraian sebelumnya, dirasa perlu adanya beberapa program diadakan untuk menjamin pelaksanaan penerapan AI yang etis, seperti:

1. Piagam Etika Ketenagakerjaan AI Nasional yaitu adanya kerangka etika multi-pemangku kepentingan yang terpadu yang memandu penggunaan AI dalam konteks ketenagakerjaan.

2. Asuransi Pelatihan Ulang Pekerja yaitu pengembangan skema asuransi penggantian AI, yang menghubungkan pesangon dengan dana pelatihan ulang yang ditargetkan.
3. Portal Transparansi Publik dengan mewajibkan perusahaan besar untuk menerbitkan detail tentang sistem AI yang digunakan dalam manajemen karyawan.
4. Ombudsman AI Lokal dengan membentuk pengawas regional untuk menangani keluhan yang terkait dengan AI di tempat kerja.

Untuk memastikan transisi yang adil dan inklusif menuju manufaktur berbasis AI di bawah Indonesia Emas 2045, perubahan tenaga kerja harus dipandu oleh pandangan ke depan yang strategis dan tanggung jawab etis. Mengelola transisi berarti tidak hanya melatih kembali pekerja yang kehilangan pekerjaan tetapi juga memberdayakan mereka melalui transparansi, pilihan, dan martabat. Dengan mengadopsi kerangka kerja yang etis, mendorong dialog pekerja, dan berinvestasi dalam AI yang bertanggung jawab, Indonesia dapat menjadi pemimpin regional dalam transformasi industri yang manusiawi.

Konvergensi AI, OR, dan Industri

Untuk mewujudkan visi Indonesia Emas 2045, yaitu menjadi negara yang berdaulat, maju, adil, dan makmur, diperlukan perencanaan nasional yang terkoordinasi yang menghubungkan inovasi teknologi dengan pengembangan tenaga kerja. Kecerdasan Buatan (AI), Riset Operasional (OR), dan Rekayasa Manufaktur (ME) merupakan tiga domain yang saling terkait dan dapat meningkatkan produktivitas, daya saing industri, dan pemerataan sosial Indonesia. Namun, keberhasilannya bergantung pada strategi terpadu yang cermat yang menggabungkan penerapan teknologi dengan investasi sumber daya manusia yang komprehensif.

Bagian ini menguraikan peta jalan tingkat nasional untuk menyinergikan AI, OR, ME, dan penyiapan tenaga kerja di bawah kerangka kerja pembangunan bersama untuk pertumbuhan inklusif jangka panjang.

Dasar Pemikiran Strategis untuk Integrasi

Ada beberapa dasar yang menjadi alasan kuat bagi pemikiran strategis untuk memadukan semua aspek dalam persiapan AI, OR, ME dan manusia Indonesia menyongsong Indonesia Emas 2045, yaitu:

1. Konvergensi Interdisipliner.

Masing-masing komponen menawarkan peluang positif bagi pengembangan tenaga kerja Indonesia tersebut.

- AI menyediakan kemampuan kognitif (misalnya, pengenalan pola, pemodelan prediktif).

- Riset Operasional menawarkan alat analitis untuk pengoptimalan, simulasi, dan sistem pendukung keputusan.
- Rekayasa Manufaktur menerjemahkan alat-alat ini ke dalam sistem fisik, otomasi industri, dan pabrik pintar.

Domain-domain ini semakin bergantung pada data bersama, algoritme kolaboratif, dan antarmuka hibrida manusia-AI. Integrasi mereka meningkatkan ketangkasan, ketahanan, dan efisiensi di seluruh industri.

2. Prioritas Pembangunan Indonesia.

Sinergi ini mendukung tujuan nasional seperti:

- Menggandakan produktivitas manufaktur pada tahun 2045.
- Mengurangi pengangguran kaum muda melalui penciptaan lapangan kerja teknis.
- Membuat UKM kompetitif secara global melalui digitalisasi.
- Memastikan penerapan teknologi yang inklusif dan etis di seluruh wilayah.

Pilar Strategi Nasional Terpadu

Strategi ini dapat disusun berdasarkan lima pilar yang saling memperkuat:

• **Pilar 1: Infrastruktur AI, OR, dan ME Nasional.**

Hal ini dilakukan dengan mendirikan Pusat Keunggulan AI, OR, dan ME di Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi. Pusat-pusat ini akan berlokasi dalam kemitraan dengan lembaga-lembaga seperti Institut Teknologi Bandung (ITB), Universitas Gadjah Mada (UGM), dan Universitas Indonesia (UI) dan juga melalui institusi pendidikan yang erat hubungannya dengan pihak industri yang bergerak di seluruh negeri seperti Universitas Bakrie. Di samping itu juga, pembuatan *Sandbox AI+OR* untuk Inovasi Manufaktur menjadi elemen penting pilar 1 ini. Mirip dengan *Catapult Centres* di Inggris, *sandbox* ini akan memungkinkan kemitraan publik-swasta untuk membuat prototipe sistem manufaktur pintar yang mendukung AI/OR. Elemen lain adalah dengan membangun Platform AI dan OR *Open-Source* yakni dengan mengembangkan kumpulan data dan alat pemodelan yang didanai pemerintah untuk digunakan oleh perusahaan rintisan, pendidikan, dan UKM. Upaya-upaya ini semua dapat mengacu kepada Pusat Dukungan Manufaktur AI Korea Selatan (2020) yang telah menyediakan konsultasi AI dan laboratorium percontohan untuk lebih dari 1.000 UKM per tahun. Indonesia dapat meniru model ini.

- **Pilar 2: Pengembangan Sumber Daya Manusia untuk Industri Masa Depan.**

Pilar ini dibentuk dengan mereformasi Kurikulum Pendidikan Kejuruan dan Pendidikan Tinggi yang memperkenalkan gelar dan sertifikasi interdisipliner yang menggabungkan kompetensi AI, OR, dan ME. Reformasi kurikulum ini juga ditujukan untuk meningkatkan Program Pelatihan Ulang Nasional dengan pembentukan:

- o Kamp pelatihan AI untuk insinyur dan teknisi.
- o Mikro-kredensial dalam analisis OR untuk manajer UKM.
- o Etika AI dan pemikiran sistem untuk pembuat kebijakan.
- o Pengembangan Register Nasional Pekerja Digital Bersertifikat, yang serupa dengan kerangka kerja *SkillsFuture* Singapura.

Penyusunan elemen ini dapat mengacu kepada Misi Skill India yang mengintegrasikan modul pelatihan AI dan IoT ke dalam jalur teknik dan kejuruan tradisional untuk memenuhi tujuan Industri 4.0.

- **Pilar 3: Ekosistem Industri-Akademisi-Pemerintah.**

Penciptaan ekosistem ini dilakukan dengan membentuk Konsorsium Inovasi Nasional, yang didanai melalui usaha patungan publik-swasta, untuk mengoordinasikan:

- o Proyek R&D bersama pada model AI-OR untuk logistik dan efisiensi energi.
- o Laboratorium manufaktur cerdas waktu nyata yang melibatkan UKM lokal.
- o Program magang yang tertanam dalam alur kerja industri nyata.

Di samping itu, pembuatan Peta Jalan Sektoral (misalnya, otomotif, elektronik, tekstil) yang menentukan bagaimana AI dan OR akan mengubah fungsi dan pekerjaan ME tertentu akan menjadi elemen penting bagi pilar ini. *Platform* Industrie 4.0 Jerman yang mendukung kolaborasi tripartit semacam ini di antara lebih dari 350 pemangku kepentingan dapat dijadikan referensi pembangunan pilar ini.

- **Pilar 4: Penerapan Teknologi yang Etis dan Adil**

Pembangunan pilar ini dicapai dengan mengembangkan Kerangka Kerja Nasional untuk Penerapan AI yang Etis di Industri—mencakup transparansi, non diskriminasi, privasi, dan hak pekerja, memastikan Akses Inklusif dengan menyubsidi adopsi AI dan OR di wilayah terbelakang; menerapkan laboratorium pembelajaran seluler dan pusat pelatihan virtual dan meluncurkan Kantor Ombudsman AI Nasional yang diberdayakan untuk menerima, menyelidiki, dan memediasi keluhan terkait AI di tempat kerja.

Arahan Kanada tentang Pengambilan Keputusan Otomatis menegakkan transparansi dan akuntabilitas algoritmik dalam sistem pemerintah dapat diadaptasi Indonesia untuk konteks industri.

- **Pilar 5: Wawasan, Pemantauan, dan Tata Kelola Strategis.**

Pilar ini dibangun dengan membentuk Komisi Presiden tentang Integrasi AI, OR, dan ME di bawah Bappenas (Badan Perencanaan Pembangunan Nasional), dengan kewenangan untuk:

- o Memantau kesiapan nasional AI+ME+OR.
- o Meramalkan perubahan pasar tenaga kerja menggunakan simulasi berbasis OR.
- o Memberikan saran tentang prioritas investasi dan reformasi pendidikan.

Di samping itu, pembuatan Observatorium Data Nasional untuk mengevaluasi dampak integrasi AI/OR terhadap ketenagakerjaan, kesetaraan, dan produktivitas—memanfaatkan data dari BPJS Ketenagakerjaan, serikat pekerja, dan platform swasta akan menjadikan pilar ini lebih kokoh.

Pendorong Keberhasilan Utama

Untuk menerapkan strategi terpadu ini dengan sukses, Indonesia harus:

- Mengamankan pendanaan jangka panjang dari sektor publik (misalnya, dana kekayaan negara) dan swasta.
- Memastikan koordinasi kelembagaan di seluruh Kementerian Perindustrian, Kementerian Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi, Bappenas, Kementerian Komunikasi dan Digital, serta pemerintah daerah.
- Meningkatkan kesadaran warga tentang bagaimana integrasi AI, OR, dan ME menguntungkan pekerjaan, layanan, dan ekonomi nasional.
- Melacak kemajuan menggunakan metrik yang jelas seperti penciptaan lapangan kerja, inklusi regional, penerimaan pelatihan, pertumbuhan produktivitas, dan kepatuhan etika.

Kesimpulan

Strategi terpadu nasional yang menyelaraskan AI, Riset Operasional, Rekayasa Manufaktur, dan pengembangan manusia akan memberdayakan Indonesia untuk melompat ke masa depan industri yang kompetitif secara global. Pendekatan semacam itu tidak hanya mempercepat kemampuan teknologi tetapi juga memastikan bahwa setiap orang Indonesia—mulai dari pekerja pabrik hingga insinyur, dari penduduk kota hingga pengusaha pedesaan—memiliki kepentingan dalam kemakmuran Indonesia Emas 2045.


Langkah berikutnya yang disarankan adalah dengan melakukan beberapa program, antara lain:

- Pengembangan Buku Putih dengan menugaskan Bappenas dan BRIN untuk menyusun kerangka kebijakan terperinci.
- Implementasi Proyek Percontohan dengan meluncurkan 3 proyek percontohan regional pada tahun 2026.
- Pembentukan Forum Multi-Pemangku Kepentingan dengan menggelar KTT AI-OR-ME Indonesia tahunan untuk menyelaraskan prioritas akademisi, bisnis, dan pemerintah.

Daftar Pustaka

- Agrawal, A., Gans, J., & Goldfarb, A. (2018). *Prediction Machines: The Simple Economics of Artificial Intelligence*. Harvard Business School Publishing.
- APTIKNAS. (2025). *AI Innovation Conference 2025 Sukses Digelar, Dorong Inovasi AI Lintas Industri - APTIKNAS (Asosiasi Pengusaha TIK Nasional)*. <https://www.aptiknas.id/2025/05/ai-innovation-conference-2025-sukses.html>
- Arias, O., Fukuzawa, D., Trung Le, D., & Mattoo, A. (2025). *Future Jobs: Robots, Artificial Intelligence, and Digital Platforms in East Asia and Pacific*.
- Artificial Intelligence Center Indonesia. (2025). *Etika dalam Pembelajaran Kecerdasan Artifisial*. <https://aici-umg.com/article/etika-dalam-kecerdasan-artifisial/>
- Astra. (2025). *Laporan Tahunan 2024*.
- Bessen, J. (2018). *AI and Jobs: The Role of Demand*.
- Doshi-Velez, F., & Kim, B. (2017). *Towards A Rigorous Science of Interpretable Machine Learning*. <https://arxiv.org/pdf/1702.08608>
- Eigerindo. (2023). *Laporan Berkelanjutan*.
- Garudafood. (2025). *Laporan Tahunan 2024 Garudafood*.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. The MIT Press.
- Indofood. (2025). *AnnualReport_2024*.
- Indonesia AI. (2025). *Indonesia AI - AI for Everyone, AI for Indonesia*. <https://aiforindonesia.com/>
- ITB. (2024). *Dosen ITB Sampaikan Integrasi AI dalam Pendidikan di ITB di AIIS 2024 - Institut Teknologi Bandung*. <https://itb.ac.id/berita/dosen-itb-sampaikan-integrasi-ai-dalam-pendidikan-di-itb-di-aiis-2024/61194>
- Jobin, A., Lenca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence* 1:9, 1(9), 389–399. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2>
- J&T Express. (2024). *J&T express annual report*.
- Kagermann, H. (2015). Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0. *Management of Permanent Change*, 23–45. https://doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6_2
- Kelleher, J. D., & Tierney, B. (2018). *Data Science*. The MIT Press.
- Kementerian Komunikasi dan Digital. (2025). *Infrastruktur Digital*. <https://www.komdigi.go.id/transformasi-digital/infrastruktur-digital>
- Kemmerling, A., & Ranawijaya, V. (2025). *The future of work in Indonesia Key actors' socio-economic and policy perspectives on work transformations in public and private sectors*.
- KORIKA. (2021). *Pedoman-Etika-v1.00*.
- Master Plan Smart City Surabaya (2023).
- Panasonic Indonesia. (2025). *Sustainability*. <https://www.panasonic.com/id/corporate/sustainability.html>
- Pertamina. (2025). *Laporan Tahunan Pertamina 2024*.
- Petropoulos, F., Laporte, G., Aktas, E., Alumur, S. A., Archetti, C., Ayhan, H., Battarra, M., Bennell, J. A., Bourjolly, J. M., Boylan, J. E., Breton, M., Canca, D., Charlin, L., Chen, B., Cicek, C. T., Cox, L. A., Currie, C. S. M., Demeulemeester, E., Ding, L., ... Zhao, X. (2024). Operational Research: methods and applications. *Journal of the Operational Research Society*, 75(3), 423–617. <https://doi.org/10.1080/01605682.2023.2253852>

- Prakerja. (2024). *Kartu Prakerja*. <https://www.prakerja.go.id/>
- PT Telkom, T. (2025). *Laporan Tahunan PT Telkom Tbk 2024*.
- PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia. (2025). *Sustainability Report 2024*.
- PT Unilever Indonesia Tbk. (2025). *Annual Report 2024: Investing in the Future*.
- Pusat Industri Digital Indonesia. (2025). *Pidi 4.0*. <https://pidi4.kemenperin.go.id/berita>
- Ruangguru. (2025). *Ruangguru*. <https://www.ruangguru.com/>
- Sarihusada. (2025). *Sarihusada - Nutrisi Untuk Bangsa*. <https://www.sarihusada.co.id/>
- Semen Indonesia. (2025). *Laporan Keberlanjutan 2024*.
- UGM. (2023). *Risiko, Etika, dan Dunia Digital: Tiga Hal yang Tak Terpisahkan - Universitas Gadjah Mada*. <https://feb.ugm.ac.id/id/berita/4143-risiko-etika-dan-dunia-digital-tiga-hal-yang-tak-terpisahkan>
- UNDP Indonesia. (2024). *Indonesia Digital Ecosystem Assessment 2024*.
- UNESCO. (2025). *Technical and Vocational Education and Training (TVET) | UNESCO*. <https://www.unesco.org/en/fieldoffice/beirut/tvet>
- Unit Pengelola Jakarta Smart City. (2025). *Jakarta Smart City: Executive Summary*.
- United Nations Development Programme. (2024). *Bridging the Digital Divide: Skill Our Future Platforms to Empower Indonesian Youth*. <https://www.undp.org/indonesia/press-releases/bridging-digital-divide-skill-our-future-platforms-empower-indonesian-youth>
- World Economic Forum. (2024). *What does Industry 4.0 mean for workers?* <https://www.weforum.org/stories/2024/01/industry-4-fourth-industrial-revolution-workers/>
- World Economic Forum. (2025). *The Future of Jobs 2025*. www.weforum.org



Strategi terpadu nasional yang menyelaraskan AI, Riset Operasional, Rekayasa Manufaktur, dan pengembangan manusia akan memberdayakan Indonesia untuk melompat ke masa depan industri yang kompetitif secara global.

