TEKNIK ELEKTRO
DALAM PETA
GEOPOLITIK TEKNOLOGI GLOBAL

Eddy Lybrech Talakua
Erwin Dhaniswara
Mahessa Sangga Bhuana
Robby Kurniawan Budhi



UWIKA
PUSTAKA KARTIKA

TEKNIK ELEKTRO
DALAM
PETA GEOPOLITIK
TEKNOLOGI GLOBAL

Oleh:

Eddy Lybrech Talakua

Erwin Dhaniswara

Mahessa Sangga Bhuana

Robby Kurniawan Budhi

UWIKA
PUSTAKA
KARTIKA

TEKNIK ELEKTRO

DALAM

PETA GEOPOLITIK TEKNOLOGI GLOBAL

ISBN: 978-634-97433-0-3 (PDF)

Penulis:
Eddy Lybrech Talakua
Erwin Dhaniswara
Mahessa Sangga Bhuana
Robby Kurniawan Budhi

Layout: Taufik Fajril

Desain sampul: Dwi Gustara

Surabaya: Pustaka Kartika, 2026 ; 77 Halaman

Diterbitkan oleh
PUSTAKA KARTIKA
Alamat Redaksi:
Jl. Sutorejo Prima Utara II No.1, Kalisari, Kec. Mulyorejo, Surabaya, 60112
Gedung Universitas Widya Kartika Surabaya
E-mail: perpustakaan@widyakartika.ac.id
Telp. (031) 5922403

Anggota IKATAN PENERBIT INDONESIA (IKAPI)
No: 471/JTI/2026

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-Undang
Hak penerbitan pada Pustaka Kartika. Dilarang keras menerjemahkan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk atau cara apapun tanpa mendapatkan izin tertulis dari penulis dan penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala kasih, penyertaan, dan hikmat-Nya sehingga buku yang berjudul Teknik Elektro dalam Peta Geopolitik Teknologi Global ini dapat diselesaikan dengan baik.

Perkembangan dunia pada abad ke-21 menunjukkan bahwa kekuatan suatu bangsa tidak lagi semata-mata ditentukan oleh luas wilayah, jumlah penduduk, maupun kekuatan militer. Kemajuan teknologi, penguasaan informasi, keamanan siber, kecerdasan buatan, hingga kemampuan berinovasi telah menjadi faktor utama yang menentukan posisi suatu negara di kancah global. Saat ini, persaingan antarnegara telah memasuki era baru yang ditandai dengan perang teknologi, perebutan data, dan persaingan menguasai sumber daya strategis seperti energi dan komponen elektronik.

Buku ini disusun dengan tujuan memberikan wawasan yang luas dan mudah dipahami mengenai bagaimana teknologi memengaruhi dinamika dunia saat ini, serta bagaimana disiplin Teknik Elektro memainkan peran penting dalam mendukung kemandirian dan ketahanan bangsa. Materi yang disajikan tidak hanya membahas konsep dan teori, tetapi juga dilengkapi dengan berbagai contoh penerapan teknologi sehari-hari yang relevan dengan kebutuhan masyarakat dan pembangunan Indonesia.

Penulis berharap buku ini dapat menjadi salah satu referensi bacaan yang menyenangkan bagi siapa saja yang ingin memahami keterkaitan antara teknologi, energi, dan posisi strategis Indonesia di dunia.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi dalam proses penyusunan buku ini. Kiranya karya sederhana ini dapat memberikan kontribusi positif bagi dunia teknologi di Indonesia.

Surabaya, 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR iii
DAFTAR ISI iv

BAB 1 MENGAPA TEKNOLOGI MENJADI MEDAN PERTARUNGAN DUNIA
1.1 Geopolitik: Ketika Bumi dan Politik Berbicara.....1
1.2 Dua Sisi Mata Uang: Krisis Energi dan Perang Teknologi 2
1.3 Indonesia di Peta Dunia: Antara Peluang dan Tantangan.....4
1.4 Energi: Masalah Kita Bersama 5
1.5 Listrik, Chip, dan Internet: Kita Semua Bergantung 6
1.6 Amankan Indonesia: Ancaman Baru di Dunia Digital 7
1.7 Peluang di Balik Krisis 8
1.8 Mengapa Kita Harus Bisa Membuat Teknologi Sendiri.....10

BAB 2 TEKNOLOGI: SENJATA BARU PERADABAN MANUSIA
2.1 Kekuatan Tak Terlihat: Militer vs Teknologi 13
2.2 Berbagai Wajah Persaingan Teknologi.....14
2.3 AI: "Otak" yang Mengubah Segalanya.....15
2.4 Semikonduktor: Jantung Perangkat Digital Anda.....16
2.5 IoT: Dunia yang Semakin "Melihat" dan "Mendengar" 17
2.6 Keamanan Siber: Tameng di Era Digital.....18
2.7 Indonesia: Masih Banyak yang Harus Dikerjakan.....19

BAB 3 TEKNIK ELEKTRO DI BALIK KEMODERNAN 21
3.1 Teknik Elektro: Fondasi Teknologi Masa Kini 21
3.2 Listrik untuk Semua: Pembangkit, Jaringan, dan Rumah Kita.....22
3.3 Otak Kecil di Balik Perangkat Pintar.....23
3.4 Robot dan Mesin Cerdas: Masa Depan Industri 24
3.5 Menjaga Nyala Lampu Negeri: Peran Teknik Elektro dalam Energi .25
3.6 Membuat Teknologi Sendiri: Mimpi atau Kenyataan?.....26
3.7 Menjaga Jantung Infrastruktur dari Serangan.....26

BAB 4 IoT DAN AI: SAHABAT BARU KETAHANAN ENERGI KITA
4.1 Internet of Things: Saat Benda Bisa Bicara 29
4.2 Kecerdasan Buatan: Cara Baru Mesin "Berpikir" 30
4.3 Saat IoT dan AI Bersatu (AIoT) 31
4.4 Jaringan Listrik Cerdas: Siaga 24 Jam 31
4.5 Mengelola Energi Lebih Cerdas dengan AI 32
4.6 Mendeteksi Masalah Sebelum Terlambat 33
4.7 Rumah, Pabrik, dan Kota Cerdas 34
4.8 Masa Depan Energi: Mandiri dan Berkelanjutan 36

BAB 5 APA KATA PENELITIAN: STUDI KASUS DUNIA NYATA 41
5.1 Dari Mana Cerita-Cerita Ini Berasal 41
5.2 Memantau Energi dari Jarak Jauh 42
5.3 Sensor Pencium Gas: Menyelamatkan Nyawa 44
5.4 Jaringan Listrik yang Belajar dari Data 45
Masalah yang dipecahkan 45
Apa peran AI? 46
Apa hasilnya di lapangan? 46
Relevansi untuk Indonesia 46
5.5 Membandingkan Teknologi: Mana yang Terbaik? 47
5.6 Apa yang Berhasil dan Apa yang Masih Sulit 48
5.7 Tantangan di Lapangan dan Yang Belum Terjawab 49
5.8 Apa Artinya untuk Indonesia 50

BAB 6 MENUJU INDONESIA YANG MANDIRI SECARA TEKNOLOGI 53
6.1 Masih Bergantung pada Impor 53
6.2 Kesenjangan di Antara Kita 55
6.3 Riset Kita dan Keamanan Digital Kita 57
6.4 Kesempatan Emas: Digitalisasi dan Energi Hijau 59
6.5 Masa Depan Cerah dengan Teknologi Cerdas 60
6.6 Mahasiswa: Agen Perubahan atau Penonton? 61
6.7 Apa yang Harus Dikuasai 63
6.8 Kesimpulan: Menguasai Teknologi untuk Kedaulatan Bangsa 65

BAB 7 PENUTUP 67
7.1 Penutup: Dunia Telah Berubah, Indonesia Harus Bergerak 67
7.2 Refleksi Masa Depan Teknologi Indonesia 68
7.3 Pesan Penutup: Mari Bergerak Bersama.....71

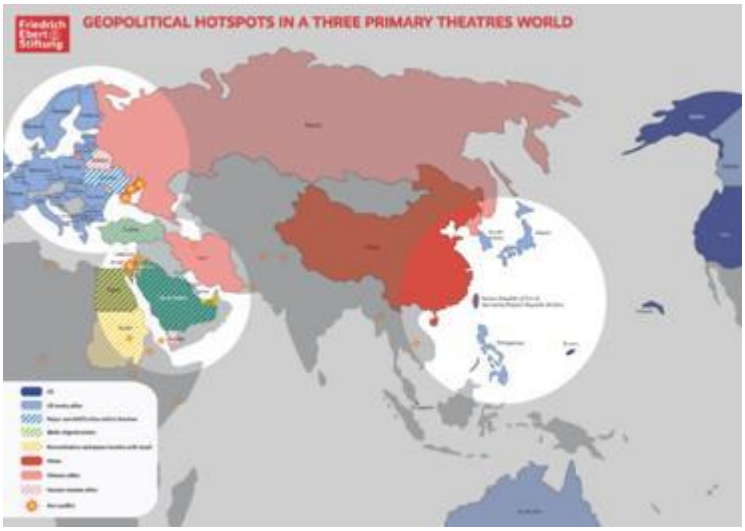
DAFTAR PUSTAKA 73

BAB 1
MENGAPA TEKNOLOGI MENJADI MEDAN PERTARUNGAN DUNIA

1.1 Geopolitik: Ketika Bumi dan Politik Berbicara

Pernahkah Anda bertanya-tanya mengapa beberapa negara begitu berpengaruh di dunia? Mengapa posisi suatu negara di peta bisa menentukan nasibnya? Inilah yang disebut geopolitik. Secara sederhana, geopolitik adalah studi tentang bagaimana kondisi fisik suatu wilayah—seperti letak, sumber daya alam, dan jalur perdagangan—memengaruhi kebijakan politik dan kekuatan negara itu di kancah internasional.

Bayangkan seperti ini: jika Anda memiliki rumah di pinggir jalan raya yang ramai, Anda memiliki kesempatan untuk membuka toko dan berdagang dengan orang yang lewat. Sebaliknya, jika rumah Anda berada di ujung gang sempit, Anda lebih terisolasi. Hal yang sama berlaku untuk negara. Negara yang terletak di jalur pelayaran internasional atau memiliki banyak sumber daya alam, secara otomatis memiliki posisi tawar yang lebih kuat.



Gambar 1.1 Peta dunia geopolitik

Para pemikir besar di masa lalu, seperti Alfred Thayer Mahan dan Halford Mackinder, telah merumuskan bahwa kekuatan laut dan kekuasaan

atas daratan Eurasia adalah kunci untuk menguasai dunia. Kini, di abad ke-21, peta kekuasaan itu telah berubah. Jika dulu perang terjadi untuk merebut tanah dan minyak, kini perang terjadi untuk merebut teknologi, data, dan ruang siber. Istilah seperti cyber geopolitics dan data sovereignty (kedaulatan data) menjadi kata kunci baru.

Bagi kita di Indonesia, pemahaman ini sangat penting. Letak Indonesia yang diapit dua samudra dan dua benua menjadikannya titik strategis. Namun, menjadi negara yang strategis tidak otomatis membuat kita kuat. Kita harus cerdas membaca peta persaingan ini agar tidak hanya menjadi objek, tetapi juga pemain di kancah global.

Tabel 1.1 Perubahan Permainan Kekuatan Dunia

Aspek	Dulu	Sekarang
Kekuatan	Militer	Teknologi & Ekonomi
Energi	Minyak Bumi	Energi Terbarukan
Persaingan	Wilayah	Data dan Kecerdasan Buatan
Senjata	Tank, Pesawat	Serangan Siber (Virus/Peretas)
Infrastruktur	Pelabuhan, Jalan	Pusat Data (Data Center)
Aset Berharga	Emas, Timah	Semikonduktor (Chip Komputer)

Intinya: memahami geopolitik bukan hanya untuk para diplomat, tetapi untuk kita semua. Di dunia yang saling terhubung ini, kemampuan suatu negara dalam mengelola sumber daya dan teknologinya menentukan apakah ia akan menjadi pemimpin atau hanya pengikut.

1.2 Dua Sisi Mata Uang: Krisis Energi dan Perang Teknologi

Saat ini, dunia sedang menghadapi dua persaingan besar yang saling berkaitan: perebutan energi dan perebutan teknologi. Hubungan antara Amerika Serikat dan Tiongkok adalah contoh paling jelas. Keduanya bukan

hanya bersaing di bidang militer, tetapi juga dalam perdagangan, teknologi chip, dan pengaruh di negara lain.



Gambar 1.2 Persaingan Dagang AS dan Tiongkok

Krisis energi terjadi karena sebagian besar dunia masih bergantung pada minyak dan gas. Ketika perang terjadi di Ukraina, misalnya, pasokan gas dari Rusia ke Eropa tersendat. Harga energi melonjak, dan masyarakat di seluruh dunia merasakan dampaknya, termasuk harga BBM dan listrik yang naik. Ini mengajarkan kita bahwa ketergantungan pada satu sumber energi adalah kelemahan besar.

Di sisi lain, terjadi perang teknologi. Teknologi yang paling diperebutkan saat ini adalah semikonduktor (chip). Chip adalah otak dari semua gawai: ponsel, mobil, laptop, bahkan pesawat. Negara yang bisa membuat chip tercanggih memiliki kekuatan besar. Amerika Serikat dan sekutunya berusaha membatasi Tiongkok untuk membuat chip sendiri—perlombaan menjadi siapa yang paling cepat dan mandiri.

Tidak hanya chip, perebutan data juga menjadi isu panas. Data adalah "minyak baru". Siapa yang memiliki data, dia bisa memahami perilaku kita, memprediksi pasar, atau bahkan memengaruhi opini publik. Inilah mengapa kita sering mendengar isu tentang media sosial yang digunakan untuk kampanye politik di negara lain.

Bagi Indonesia, kita berada di antara dua kekuatan besar ini. Kita harus pintar-pintar mengambil sikap. Kita tidak ingin terjebak dalam konflik yang

bukan kepentingan kita, tetapi kita juga harus memanfaatkan situasi ini untuk belajar dan membangun teknologi sendiri.

1.3 Indonesia di Peta Dunia: Antara Peluang dan Tantangan

Jika kita melihat peta, Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia. Lebih dari 17.000 pulau membentang dari Sabang sampai Merauke. Selat Malaka, yang berada di dekat kita, adalah salah satu jalur pelayaran tersibuk di dunia. Lebih dari 60% perdagangan global melintasi perairan kita. Ini adalah kartu truf yang luar biasa.



Gambar 1.3 Peta Jalur Pelayaran Selat Malaka

Selain letak strategis, Indonesia kaya akan sumber daya alam, terutama nikel. Nikel adalah bahan baku utama untuk baterai kendaraan listrik. Dunia sedang beralih ke kendaraan listrik, dan Indonesia memiliki cadangan nikel terbesar di dunia. Pemerintah pun melarang ekspor bijih nikel mentah dan mendorong hilirisasi (pengolahan di dalam negeri). Ini langkah berani yang membuat Indonesia bisa menjadi pemain utama dalam rantai pasok baterai global.

Namun, di balik peluang itu, ada tantangan besar. Kita masih sangat bergantung pada impor teknologi. Mulai dari mesin pabrik, komputer, hingga perangkat lunak, sebagian besar masih dari luar negeri. Di bidang energi, meskipun banyak panas bumi dan sinar matahari, kita masih mengandalkan batu bara dan minyak. Bonus demografi (jumlah penduduk usia produktif

yang besar) bisa menjadi anugerah jika kita punya pendidikan yang baik, atau menjadi beban jika lapangan kerja tidak tersedia.

Indonesia memiliki posisi strategis yang bisa menjadi "jembatan" antara negara maju dan negara berkembang. Dengan politik luar negeri yang bebas dan aktif, kita bisa mengambil peluang dari semua pihak, baik dari Amerika Serikat, Tiongkok, maupun Eropa.

1.4 Energi: Masalah Kita Bersama

Energi adalah darah kehidupan modern. Tanpa energi, pabrik berhenti, rumah gelap, dan transportasi lumpuh. Selama ini, tulang punggung energi kita adalah batu bara. Namun, batu bara adalah energi fosil yang tidak ramah lingkungan dan persediaannya suatu hari akan habis.



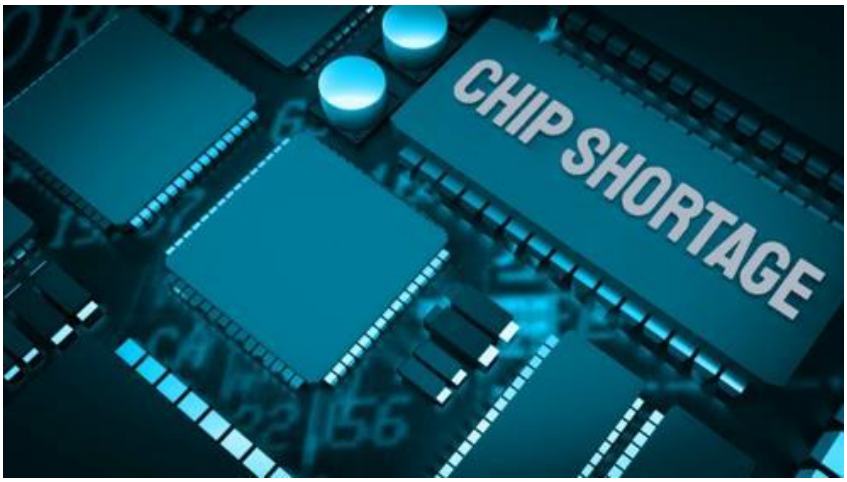
Gambar 1.4 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Indonesia

Kita memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar. Indonesia memiliki potensi panas bumi (geothermal) terbesar di dunia, sekitar 40% dari total dunia. Namun, pemanfaatannya baru sekitar 11%. Kenapa lama? Salah satu penyebabnya adalah proses perizinan yang panjang dan biaya investasi awal yang besar. Selain itu, jaringan listrik kita belum sepenuhnya merata. Pulau Jawa dan Bali mendapatkan listrik melimpah, sementara beberapa daerah di Papua atau NTT masih kekurangan pasokan.

Fluktuasi harga energi global juga sering membuat kita was-was. Ketika harga minyak dunia naik, subsidi BBM membengkak. Uang negara yang seharusnya untuk sekolah atau jalan, malah habis untuk subsidi BBM. Oleh karena itu, kita harus mempercepat transisi ke energi terbarukan. Dengan begitu, kita tidak hanya lebih mandiri, tetapi juga turut menyelamatkan lingkungan.

1.5 Listrik, Chip, dan Internet: Kita Semua Bergantung

Pernahkah Anda merasa kesal saat ponsel atau laptop tiba-tiba rusak? Belum lagi ketika harga komponen elektronik naik. Inilah yang terjadi ketika dunia mengalami "krisis chip" pada 2020–2021. Akibat pandemi dan perang dagang, produksi chip semikonduktor terganggu. Akibatnya, pabrik mobil terhenti, gawai langka, dan harganya melonjak.



Gambar 1.5 Dampak Krisis Chip Global

Indonesia merasakan dampaknya. Karena kita masih mengimpor sebagian besar komponen elektronik, kita tidak punya kendali atas pasokan dan harga. Ini membuat industri nasional kita, terutama yang berbasis elektronik, menjadi rentan.

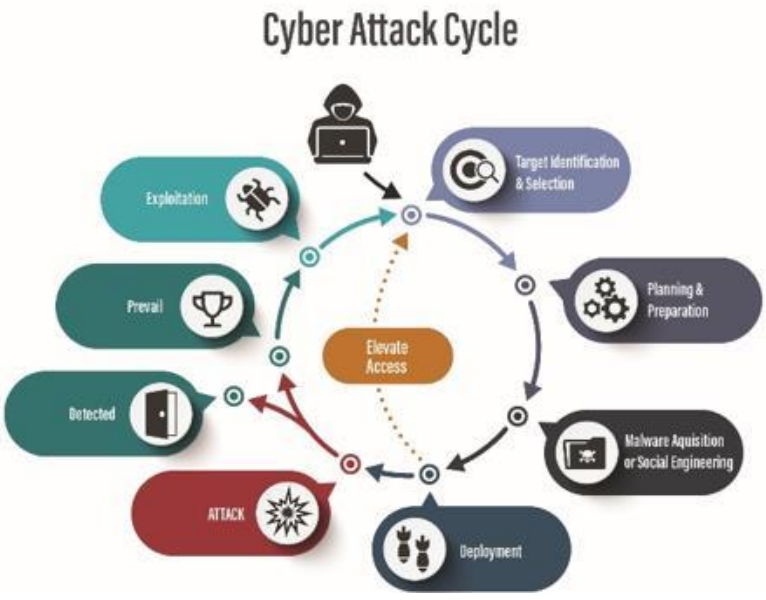
Kita juga tergantung pada infrastruktur digital asing. Sebagian besar data kita disimpan di server luar negeri. Ini seperti menyimpan uang di bank negara lain—kita tidak punya kendali penuh. Selain itu, persaingan teknologi 5G juga memengaruhi kita. Amerika Serikat memberikan tekanan pada negara-negara agar tidak menggunakan vendor jaringan tertentu. Indonesia berada di posisi yang sulit: harus memilih antara tekanan politik, biaya, dan kualitas jaringan.

Di sisi lain, ada harapan. Startup teknologi Indonesia seperti Gojek dan Tokopedia telah menjadi raksasa di Asia Tenggara. Ini menunjukkan bahwa kita bisa berinovasi. Namun, inovasi itu masih di permukaan (aplikasi). Kita harus bergerak lebih dalam ke teknologi dasar, seperti pembuatan chip atau server, agar kita benar-benar merdeka secara digital.

1.6 Amankan Indonesia: Ancaman Baru di Dunia Digital

Bayangkan jika seluruh jaringan listrik di Jakarta mati seketika. Ini bukan karena badai, melainkan karena serangan siber. Atau bayangkan jika data paspor dan KTP Anda dibobol peretas. Ini bukan lagi cerita fiksi ilmiah. Ini adalah ancaman nyata di era keamanan siber.

Indonesia adalah negara dengan pengguna internet terbesar ke-4 di dunia. Ini menjadikan kita sasaran empuk bagi peretas, baik yang iseng maupun yang disponsori negara lain. Pada Juni 2024, Pusat Data Nasional Sementara diserang ransomware (virus yang mengenkripsi data dan meminta tebusan). Layanan imigrasi di bandara dan berbagai layanan publik terganggu. Data penting tidak ada cadangannya. Ini adalah alarm keras bagi kita.



Gambar 1.6 Konsep Serangan Siber

Ancaman ini bukan hanya soal uang, tetapi juga kedaulatan. Jika sistem pertahanan atau pemerintahan kita bisa dimasuki pihak asing, maka keamanan nasional terancam. Kita juga harus waspada terhadap "perang informasi" atau hoaks yang bisa memecah belah masyarakat.

Dari sisi sosial-ekonomi, otomatisasi akibat AI juga mengancam lapangan kerja. Banyak pekerjaan rutin di pabrik atau administrasi akan digantikan oleh mesin dan robot. Jika kita tidak siap dengan keterampilan baru, kita bisa kehilangan pekerjaan. Di sisi lain, otomatisasi juga bisa meningkatkan produktivitas jika kita menguasainya.

Tabel 1.2 Dampak Geopolitik bagi Kehidupan Kita

Bidang	Dampak Positif (Peluang)	Dampak Negatif (Tantangan)
Energi	Investasi untuk pembangkit listrik tenaga surya/angin	Harga minyak naik, subsidi membengkak
Industri	Pengolahan nikel dalam negeri (hilirisasi)	Ketergantungan pada mesin dan chip impor
Teknologi	Belajar dari teknologi asing (transfer pengetahuan)	Dikenai embargo atau pembatasan akses
Sumber Daya Manusia	Kesempatan riset bersama luar negeri	Talenta terbaik bekerja di luar negeri (brain drain)
Ekonomi	Masuknya investasi asing	Inflasi akibat kenaikan harga global

1.7 Peluang di Balik Krisis

Setiap krisis selalu membawa peluang bagi yang siap. Krisis chip memberi kita pelajaran berharga: kita tidak boleh terlalu bergantung pada satu pihak. Ini mendorong kita untuk mulai membangun industri elektronik sendiri.

Peluang terbesar kita saat ini adalah nikel. Dengan kebijakan hilirisasi, kita tidak lagi menjual bijih mentah, tetapi mengolahnya menjadi bahan baku baterai. Ini meningkatkan nilai ekonomi dan menciptakan lapangan kerja.

Tren kendaraan listrik yang meledak di dunia adalah angin segar bagi ekonomi Indonesia.



Gambar 1.7 Pertambangan Nikel di Indonesia

Selain itu, populasi muda kita yang melek digital adalah aset berharga. Mereka adalah generasi yang tumbuh dengan ponsel dan media sosial. Mereka cepat beradaptasi dengan teknologi baru. Pemerintah dan industri harus memanfaatkan energi dan kreativitas ini untuk melahirkan inovasi-inovasi lokal.

Indonesia juga memiliki posisi netral yang baik di tengah persaingan AS–Tiongkok. Kita bisa menjadi "jembatan" atau "mitra" bagi semua pihak. Dengan strategi diplomasi yang cerdas, kita bisa mendapatkan transfer teknologi dari berbagai sumber.

Tabel 1.3 Potensi Besar Indonesia

Potensi	Mengapa Penting?
Nikel	Bahan baku utama baterai kendaraan listrik (EV), permintaan global meningkat.
Timah	Komponen penting untuk menyolder komponen elektronik.
Panas Bumi	Sumber energi bersih yang bisa dimanfaatkan 24 jam.
Pasar Digital	Populasi besar yang aktif belanja online dan menggunakan aplikasi.

1.8 Mengapa Kita Harus Bisa Membuat Teknologi Sendiri

Kemandirian teknologi bukanlah mimpi. Ini adalah kebutuhan. Jika kita hanya bisa memakai, kita akan selalu tertinggal. Kemandirian teknologi berarti kita memiliki SDM yang mampu mengembangkan, memodifikasi, dan memproduksi teknologi yang kita butuhkan.



Gambar 1.8 Riset dan Inovasi Teknologi

Saat ini, investasi riset Indonesia masih sangat rendah dibandingkan negara lain. Kita lebih banyak membeli daripada menciptakan. Ini harus diubah. Perguruan tinggi dan politeknik berperan penting di sini. Mereka adalah "inkubator" insinyur dan peneliti masa depan.

Kemandirian tidak berarti menutup diri. Kita tetap perlu bekerja sama dengan luar negeri. Namun, dalam setiap kerja sama, kita harus memastikan

ada transfer ilmu pengetahuan dan teknologi. Kita harus belajar dari negara-negara yang sudah berhasil, seperti Korea Selatan dan Tiongkok, yang dulu juga hanya pemakai, tetapi sekarang menjadi raksasa teknologi.

Pada akhirnya, menguasai teknologi adalah tentang martabat bangsa. Jika kita ingin disegani, kita harus bisa menciptakan sesuatu, bukan hanya mengonsumsi.

BAB 2
TEKNOLOGI: SENJATA BARU PERADABAN MANUSIA

2.1 Kekuatan Tak Terlihat: Militer vs Teknologi

Sejarah mencatat, negara kuat adalah negara dengan tentara besar dan persenjataan canggih. Namun, abad ke-21 menunjukkan bahwa kekuatan bisa datang dari hal yang tidak kasat mata: teknologi dan ekonomi digital.

Kita hidup di dunia di mana sebuah perusahaan teknologi bisa memiliki nilai lebih besar dari Produk Domestik Bruto (PDB) suatu negara. Platform seperti Google atau Facebook memiliki pengaruh global yang sangat besar, bahkan melampaui pengaruh beberapa negara. Mereka mengendalikan informasi dan data kita.

Konsep soft power yang diperkenalkan oleh Joseph Nye menjelaskan bahwa pengaruh bisa diperoleh melalui daya tarik budaya, nilai-nilai, dan kebijakan, bukan melalui paksaan. Teknologi yang membuat hidup lebih mudah, seperti ponsel pintar atau platform belanja daring, menjadi alat soft power yang ampuh.

Tabel 2.1 Perbedaan Kekuatan

Kekuatan Keras (Hard Power)	**Kekuatan Lunak (Soft Power)**	**Kekuatan Cerdas (Smart Power)**
Militer, Senjata Nuklir, Armada Perang	Budaya, Pendidikan, Diplomasi	Kecerdasan Buatan, Teknologi, Data



Gambar 2.1 Konsep Hard Power vs Soft Power

Untuk Indonesia, ini berarti kita harus mulai membangun "daya tarik" melalui inovasi dan produk teknologi lokal, bukan hanya mengandalkan sumber daya alam.

2.2 Berbagai Wajah Persaingan Teknologi

Persaingan teknologi terlihat dalam beberapa bentuk yang berbeda namun saling terkait.

1. Perang Dagang (Trade War)

Ini adalah pertarungan ekonomi melalui tarif dan sanksi. Amerika Serikat dan Tiongkok saling mengenakan pajak tinggi pada barang impor. Ini bukan hanya tentang produk, tetapi tentang siapa yang berhak memimpin ekonomi global.



Gambar 2.2 Ilustrasi Perang Dagang

2. Perang Teknologi (Tech War)

Fokusnya adalah pada penguasaan teknologi masa depan: AI, komputasi kuantum, dan chip. Negara yang menguasai teknologi ini akan menentukan standar dunia.

3. Perang Siber (Cyber Warfare)

Ini adalah perang di dunia maya. Serangan bisa menyabotase jaringan listrik, sistem perbankan, atau mencuri data rahasia. Virus seperti Stuxnet yang menyerang fasilitas nuklir Iran adalah contoh perang siber modern.

Tabel 2.2 Bentuk Persaingan Teknologi

Jenis	Sasaran	Contoh
Perang Dagang	Ekonomi	Tarif impor kendaraan listrik
Perang Teknologi	AI, Chip	Pembatasan ekspor chip ke Tiongkok
Perang Siber	Infrastruktur	Peretasan jaringan listrik
Perang Data	Informasi	Manipulasi media sosial, spionase

2.3 AI: "Otak" yang Mengubah Segalanya

Kecerdasan Buatan (AI) adalah teknologi yang membuat mesin bisa "berpikir" dan "belajar" seperti manusia. Mungkin Anda sudah mengenalnya dari asisten virtual seperti Siri atau Google Assistant, atau dari rekomendasi tontonan di layanan streaming favorit Anda.

AI bekerja dengan menganalisis data dalam jumlah besar untuk menemukan pola. Kemudian, pola itu digunakan untuk memprediksi atau membuat keputusan.



Gambar 2.3 Visualisasi Jaringan Saraf Tiruan dalam AI

AI adalah "pengganda kekuatan". Dalam militer, AI membantu menganalisis citra satelit atau mengendalikan drone. Dalam ekonomi, AI mempercepat produksi dan personalisasi layanan. Dalam kehidupan sehari-hari, AI membantu kita menemukan jalan terbaik menggunakan Google Maps.

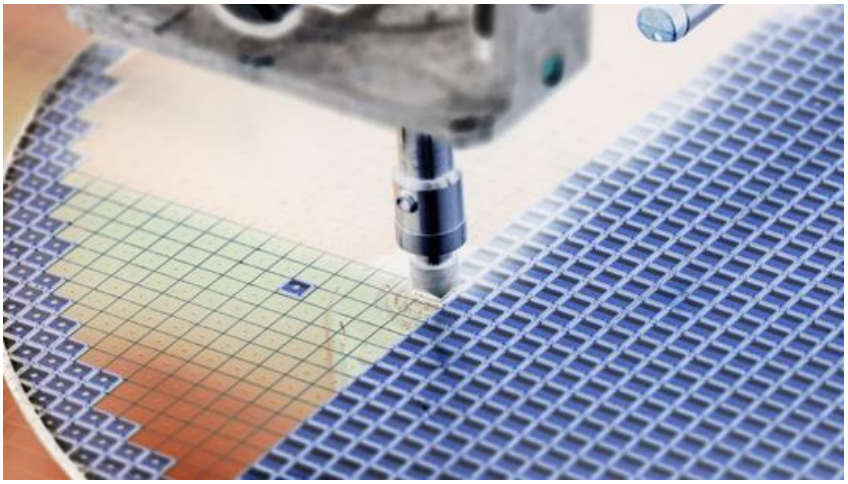
Tabel 2.3 Negara Pemimpin Teknologi

Teknologi	Negara Penguasa	Contoh Dampak
AI	Amerika Serikat	ChatGPT, mobil otonom
Chip	Taiwan, Korea Selatan	Semua perangkat elektronik
Komputasi Kuantum	Tiongkok, AS	Keamanan data (kriptografi)
Robotika	Jepang	Pabrik otomatis

Bagi Indonesia, penguasaan AI adalah kunci agar kita tidak hanya menjadi pasar. Kita punya banyak data unik (bahasa, budaya, iklim) yang bisa dimanfaatkan untuk mengembangkan AI khas Indonesia.

2.4 Semikonduktor: Jantung Perangkat Digital Anda

Semikonduktor atau chip adalah komponen paling fundamental di era digital. Ia terbuat dari silikon (pasir) yang diproses dengan teknologi super canggih. Dalam sebuah chip seukuran kuku, ada miliaran transistor yang bekerja.



Gambar 2.4 Proses Fabrikasi Chip

Proses pembuatan chip sangat rumit dan membutuhkan mesin khusus. Hanya segelintir negara yang bisa melakukannya. Taiwan dan Korea Selatan adalah pemain utamanya. Ketegangan di Selat Taiwan (antara Taiwan dan Tiongkok) selalu menjadi kekhawatiran global karena jika pasokan chip dari Taiwan terhenti, dunia akan lumpuh.

Indonesia tidak memiliki pabrik chip canggih, tetapi kita punya bahan mentahnya (timah dan nikel). Ke depannya, kita bisa masuk ke industri desain chip atau pengemasan chip yang lebih mudah dijangkau.

Tabel 2.4 Peta Industri Semikonduktor Dunia

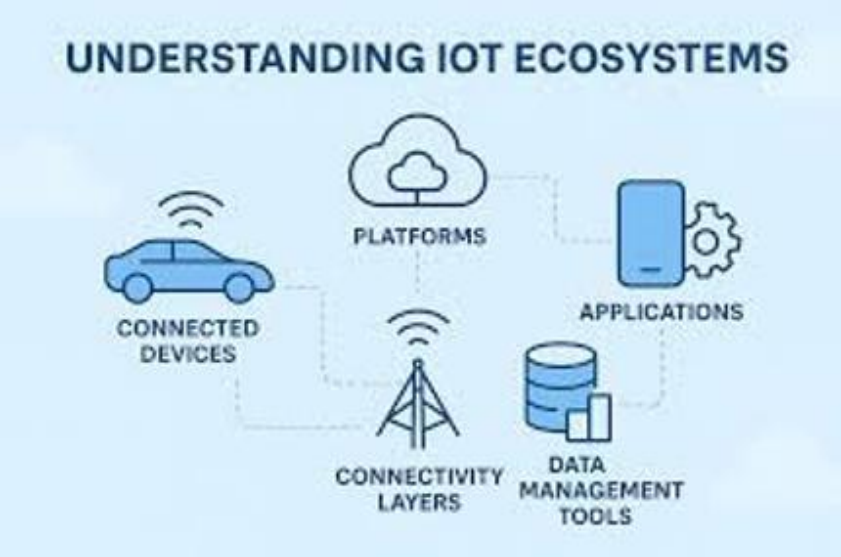
Negara	Spesialisasi
Taiwan	Fabrikasi (pembuatan) chip tercanggih
Korea Selatan	Produksi memori (RAM, SSD)
Amerika Serikat	Desain dan IP chip (Intel, AMD, Nvidia)
Jepang	Material dan peralatan manufaktur
Belanda	Mesin litografi (EUV) untuk membuat chip

2.5 IoT: Dunia yang Semakin "Melihat" dan "Mendengar"

Internet of Things (IoT) adalah konsep di mana benda-benda di sekitar kita (kulkas, lampu, mesin pabrik) terhubung ke internet dan bisa saling

berkomunikasi. Bayangkan kulkas yang bisa memesan susu sendiri saat stok habis, atau lampu jalan yang otomatis menyala saat gelap.

IoT adalah "mata dan telinga" dunia digital. Dengan sensor yang tertanam di mana-mana, kita bisa memantau kondisi lingkungan, lalu lintas, atau konsumsi energi secara langsung.



Gambar 2.5 Diagram Ekosistem IoT

Namun, IoT juga punya sisi gelap. Semakin banyak perangkat terhubung, semakin banyak celah keamanan. Sebuah kulkas yang "pintar" bisa menjadi pintu masuk peretas ke jaringan rumah kita.

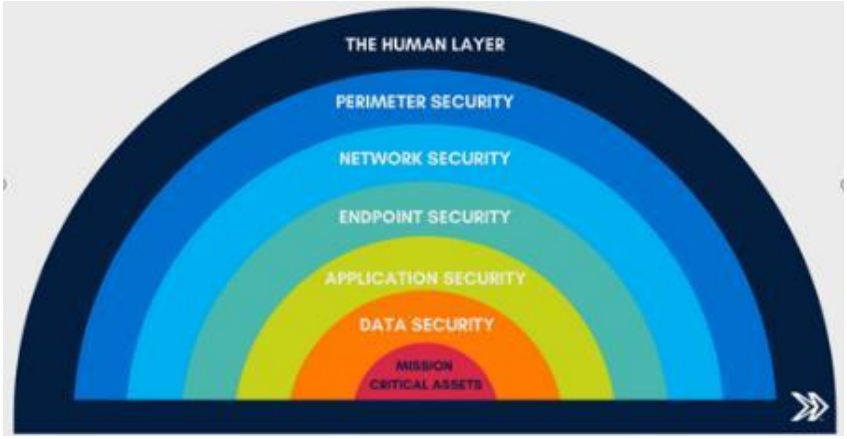
Tabel 2.5 Aplikasi AI di Berbagai Negara

Negara	Fokus AI
Amerika Serikat	Generatif (AI pembuat gambar/teks)
Tiongkok	Pengawasan publik (Smart City)
Jepang	Robot untuk perawatan lansia
Indonesia	Pendidikan dan layanan publik

2.6 Keamanan Siber: Tameng di Era Digital

Jika teknologi adalah pedang, keamanan siber adalah perisainya. Tanpa perlindungan, sistem kita bisa dengan mudah ditembus.

Keamanan siber adalah tanggung jawab bersama. Pemerintah harus melindungi data warga dan infrastruktur kritis. Perusahaan harus mengamankan data pelanggan. Kita sendiri harus lebih waspada terhadap surel atau tautan mencurigakan.



Gambar 2.6 Lapisan Keamanan Siber

Di Indonesia, jumlah serangan siber sangat besar. Ransomware (virus yang meminta tebusan) adalah ancaman terbesar. Banyak institusi yang belum siap, baik dari sisi teknologi maupun SDM.

2.7 Indonesia: Masih Banyak yang Harus Dikerjakan

Kita sudah melihat peta persaingan teknologi. Indonesia berada di titik yang sangat penting. Kita punya bahan baku, pasar besar, dan posisi strategis. Namun, kita masih tertinggal dalam hal inovasi dan kemandirian.



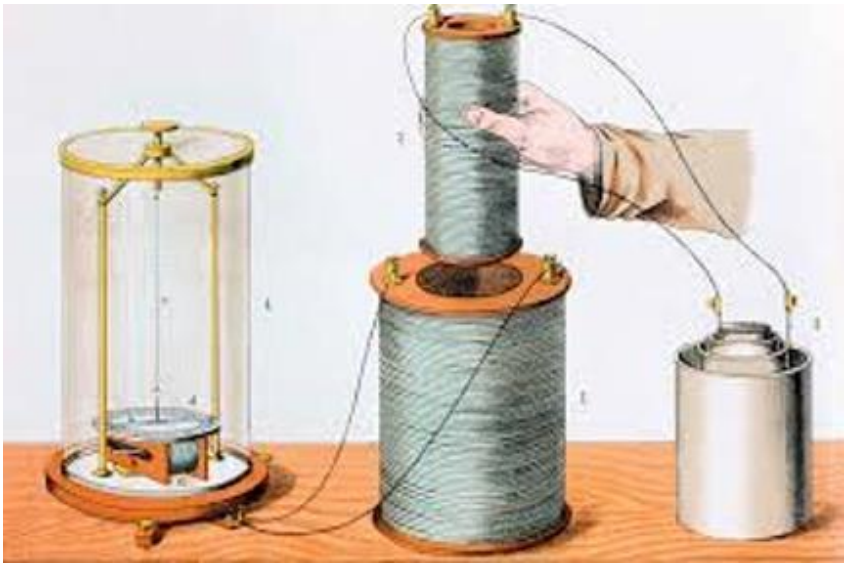
Gambar 2.7 Kawasan Industri Nikel Morowali

Kita harus mulai dari sekarang. Membangun kemandirian teknologi adalah proyek jangka panjang. Dibutuhkan investasi di pendidikan, riset, dan infrastruktur. Tidak ada jalan pintas. Namun, jika kita berhasil, Indonesia tidak hanya akan menjadi pasar, tetapi juga pemain utama.

BAB 3
TEKNIK ELEKTRO DI BALIK KEMODERNAN

3.1 Teknik Elektro: Fondasi Teknologi Masa Kini

Pernahkah Anda membayangkan dunia tanpa listrik? Tanpa listrik, tidak ada lampu, tidak ada ponsel, tidak ada internet. Semua yang kita anggap modern saat ini berdiri di atas fondasi Teknik Elektro.



Gambar 3.1 Michael Faraday dan Induksi Elektromagnetik

Penemuan dasar tentang listrik oleh ilmuwan seperti Faraday dan Maxwell telah mengubah peradaban. Kini, teknik elektro bukan hanya tentang kabel dan saklar, tetapi juga tentang sistem kompleks seperti pembangkit listrik, jaringan internet, dan robot pintar.

Teknik Elektro adalah jembatan antara dunia fisik (mesin) dan dunia digital (kode). Tanpa insinyur elektro, tidak ada chip, tidak ada IoT, dan tidak ada AI.

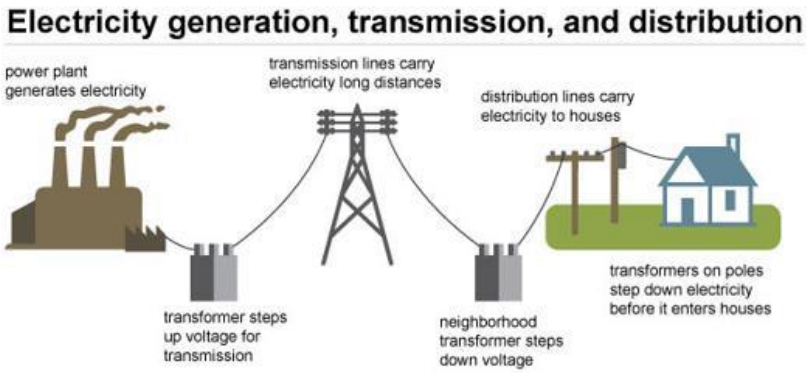
Tabel 3.1 Bidang Keahlian Teknik Elektro

Bidang	Contoh Aplikasi
Sistem Tenaga	Pembangkit listrik (PLN), transmisi
Elektronika	Perangkat HP, laptop, chip
Telekomunikasi	Jaringan 5G, satelit
Kontrol Industri	Robot pabrik, PLC
Komputer/Tertanam	Sistem pada mobil, smartwatch

3.2 Listrik untuk Semua: Pembangkit, Jaringan, dan Rumah Kita

Listrik adalah urat nadi kehidupan modern. Saat Anda menyalakan lampu atau mengisi daya ponsel, Anda berinteraksi dengan sistem teknik elektro yang kompleks.

Prosesnya dimulai dari pembangkit listrik (PLTU batu bara, PLTA air, PLTS surya). Energi listrik dikirim melalui jaringan transmisi tegangan tinggi ke gardu induk, kemudian didistribusikan ke rumah kita.



Gambar 3.2 Diagram Sistem Kelistrikan

Insinyur elektro bertanggung jawab agar sistem ini berjalan stabil. Mereka merancang generator, transformator, dan sistem proteksi agar tidak terjadi pemadaman.

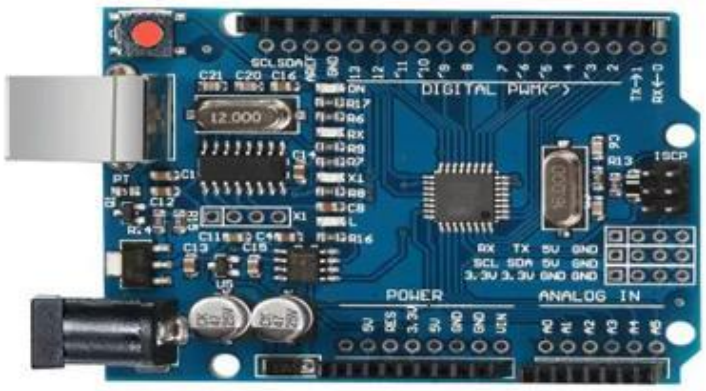
Tabel 3.2 Infrastruktur Kelistrikan

Infrastruktur	Fungsi
PLTU/PLTA/PLTS	Menghasilkan energi listrik
Gardu Induk	Menurunkan tegangan tinggi
Jaringan Transmisi	Mengalirkan listrik jarak jauh
Smart Grid	Memantau dan mengelola jaringan secara cerdas

3.3 Otak Kecil di Balik Perangkat Pintar

Pernahkah Anda bertanya-tanya bagaimana jam tangan bisa mengukur detak jantung, atau bagaimana mesin cuci bisa bekerja otomatis? Jawabannya adalah embedded system atau sistem tertanam.

Ini adalah komputer mini yang "tertanam" di dalam perangkat. Mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 adalah otak dari perangkat IoT. Mereka membaca sensor, memproses data, dan menggerakkan aktuator (seperti motor).



Gambar 3.3 Mikrokontroler ESP32 dan Arduino

Pembaca dapat mempelajari cara memprogram mikrokontroler ini. Kemampuan ini sangat penting karena hampir semua perangkat modern, dari mobil hingga pesawat, menggunakan embedded system.

Tabel 3.3 Perbandingan Mikrokontroler Populer

Board	Kecepatan	WiFi	Kegunaan
Arduino UNO	16 MHz	Tidak	Dasar belajar elektronika
ESP32	240 MHz	Ya	Proyek IoT (terhubung internet)
STM32	72 MHz	Tidak	Industri, kontrol motor

3.4 Robot dan Mesin Cerdas: Masa Depan Industri

Robot dan mesin otomatis telah mengubah dunia industri. Di pabrik, lengan robot bisa mengelas, mengecat, dan merakit mobil lebih cepat dan presisi daripada manusia.



Gambar 3.4 Robot Lengan di Pabrik

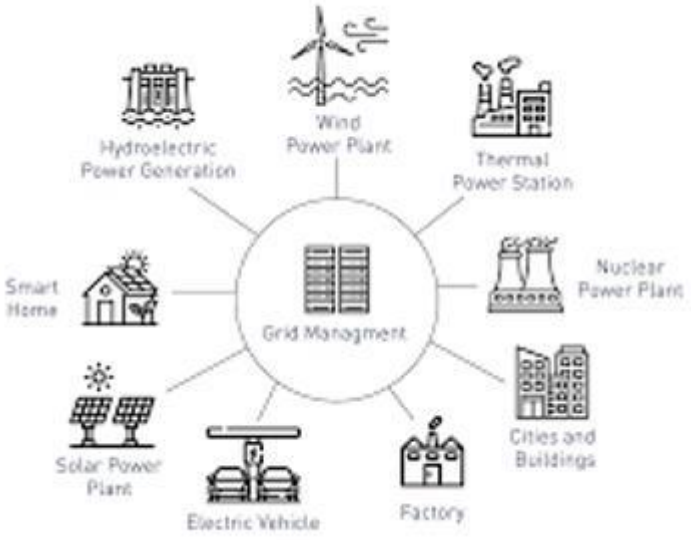
Di balik robot, ada teori kontrol (PID, kontrol adaptif) yang memungkinkan robot bergerak dengan akurat. Teknik elektro juga berperan dalam motor listrik dan sensor yang menjadi "otot" dan "indra" robot.

Tabel 3.4 Jenis Sensor

Sensor	Fungsi
DHT22	Mengukur suhu dan kelembapan
MQ-2	Mendeteksi kebocoran gas
Ultrasonik	Mengukur jarak (parkir mobil)
ACS712	Mengukur arus listrik

3.5 Menjaga Nyala Lampu Negeri: Peran Teknik Elektro dalam Energi

Kemandirian energi nasional adalah salah satu fokus utama pemerintah. Teknik Elektro adalah kunci untuk mewujudkannya. Insinyur elektro merancang smart grid (jaringan cerdas) yang bisa memantau dan mengatur aliran listrik secara otomatis.



Gambar 3.5 Konsep Jaringan Listrik Cerdas

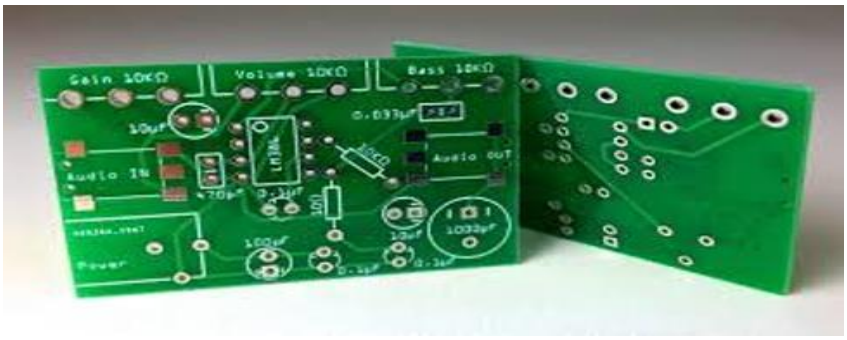
Mereka juga mengintegrasikan energi terbarukan ke dalam jaringan. Misalnya, panel surya di atap rumah bisa menyuplai kelebihan listrik ke PLN.

Tantangan terbesar adalah menyediakan listrik bagi wilayah terpencil. Di sinilah peran microgrid (jaringan listrik skala kecil) berbasis energi terbarukan sangat penting.

3.6 Membuat Teknologi Sendiri: Mimpi atau Kenyataan?

Kedaulatan teknologi adalah tentang bisa membuat sendiri. Teknik Elektro berperan dalam merancang dan memproduksi perangkat elektronik, mulai dari PCB (papan sirkuit) hingga perangkat komunikasi.

Saat ini, Indonesia masih banyak mengimpor. Namun, dengan penguatan pendidikan dan riset, kita bisa mulai membuat sendiri. Contohnya, pengembangan smart meter (meteran listrik pintar) lokal.



Gambar 3.6 Desain PCB (Papan Sirkuit Cetak)

Tabel 3.5 Kompetensi Insinyur Elektro

Kompetensi	Tingkat Prioritas
Embedded (Sistem Tertanam)	Tinggi
AI / Machine Learning	Tinggi
IoT	Tinggi
Kontrol Industri (PLC)	Tinggi
Robotika	Menengah

3.7 Menjaga Jantung Infrastruktur dari Serangan

Saat ini, infrastruktur seperti listrik dan air dikendalikan oleh komputer. Inilah yang disebut sistem cyber-physical. Sayangnya, sistem ini bisa menjadi target serangan siber.



Gambar 3.7 Konsep Sistem Cyber-Physical

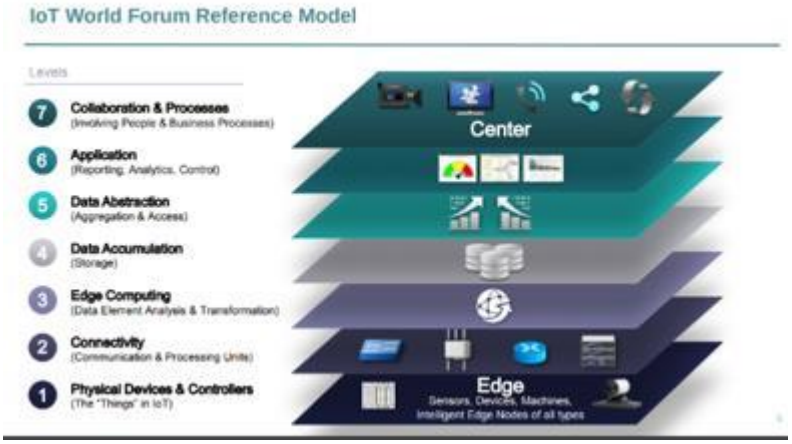
Insinyur elektro berperan melindungi sistem ini. Mereka merancang sistem proteksi, mengenkripsi komunikasi, dan membuat sistem cadangan (backup) agar jika terjadi serangan, layanan tetap berjalan.

Kasus serangan ransomware di Pusat Data Nasional adalah pelajaran berharga. Kita harus lebih serius dalam melindungi infrastruktur digital kita.

BAB 4
IoT DAN AI: SAHABAT BARU KETAHANAN ENERGI KITA

4.1 Internet of Things: Saat Benda Bisa Bicara

IoT membuat benda-benda menjadi "pintar" dan terhubung. Di rumah, kita bisa menyalakan AC dari kantor. Di pabrik, mesin bisa memberi tahu jika akan rusak. Di kebun, sensor bisa memberi tahu kapan tanaman perlu disiram.



Gambar 4.1 Arsitektur IoT (Lapisan Sensor, Jaringan, Aplikasi)

IoT terdiri dari sensor, jaringan, dan perangkat lunak. MQTT adalah salah satu protokol yang memungkinkan perangkat IoT saling "berbicara".

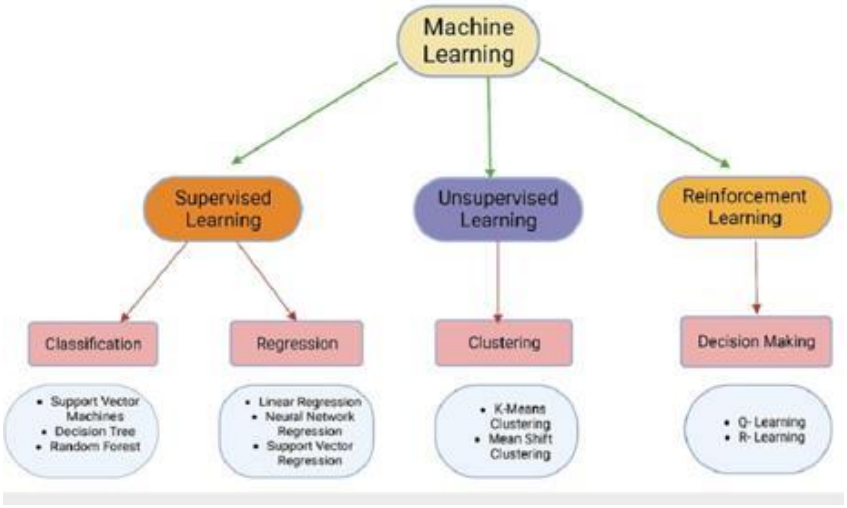
Tabel 4.1 Komponen IoT

Komponen	**Fungsi**
Sensor	Membaca data (suhu, arus)
ESP32/Arduino	Otak pemrosesan
WiFi/LoRa	Jaringan komunikasi
Cloud	Penyimpanan data
Dashboard	Menampilkan data ke pengguna

4.2 Kecerdasan Buatan: Cara Baru Mesin "Berpikir"

AI memungkinkan mesin belajar dari data. Ada tiga jenis utama pembelajaran mesin:

1. Supervised Learning: mesin belajar dari contoh berlabel. Contoh: AI diajari gambar kucing dan anjing, kemudian ia bisa membedakannya.
2. Unsupervised Learning: mesin mencari pola sendiri tanpa label.
3. Reinforcement Learning: mesin belajar dari coba-coba (seperti bermain gim).



Gambar 4.2 Jenis Pembelajaran Mesin

Dalam energi, AI digunakan untuk memprediksi konsumsi listrik, mendeteksi kebocoran, dan mengoptimalkan penggunaan baterai.

Tabel 4.2 Perbedaan AI, ML, DL

Istilah	Penjelasan
AI	Kecerdasan buatan secara umum
ML	Mesin belajar dari data
DL	ML dengan jaringan saraf tiruan berlapis

4.3 Saat IoT dan AI Bersatu (AIoT)

Ketika IoT bertemu AI, lahirlah AIoT. IoT adalah mata dan telinga (mengumpulkan data). AI adalah otak (menganalisis dan memutuskan).

Contoh: sensor di pabrik (IoT) mendeteksi getaran mesin. AI menganalisis getaran dan memprediksi bahwa mesin akan rusak dalam 2 minggu. Operator pun bisa melakukan perbaikan sebelum mesin benar-benar rusak. Ini disebut predictive maintenance.



Gambar 4.3 Konsep AIoT dan Edge Computing

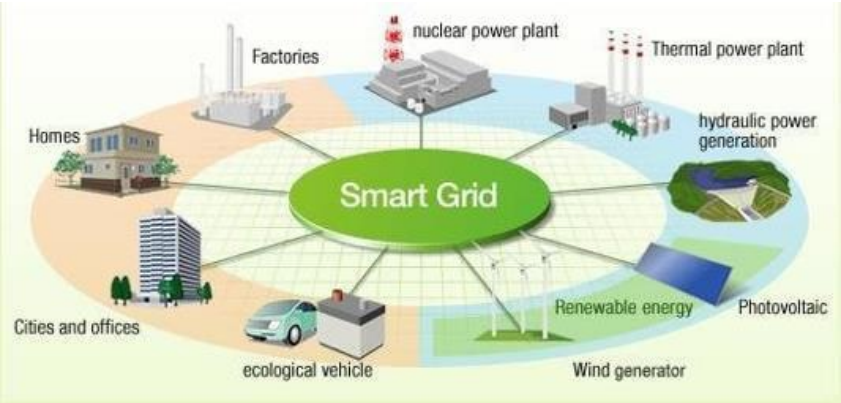
Tabel 4.3 Aplikasi AI

Bidang	Contoh AI
Energi	Memprediksi cuaca untuk PLTS
Industri	Deteksi kerusakan mesin
Rumah	Sistem keamanan cerdas
Transportasi	Mobil listrik otonom

4.4 Jaringan Listrik Cerdas: Siaga 24 Jam

Smart grid adalah jaringan listrik yang menggunakan teknologi komunikasi dan AI untuk mengelola listrik secara efisien. Jika terjadi

pemadaman, sistem bisa langsung mendeteksi dan mengisolasi sumber masalah.



Gambar 4.4 Arsitektur Smart Grid

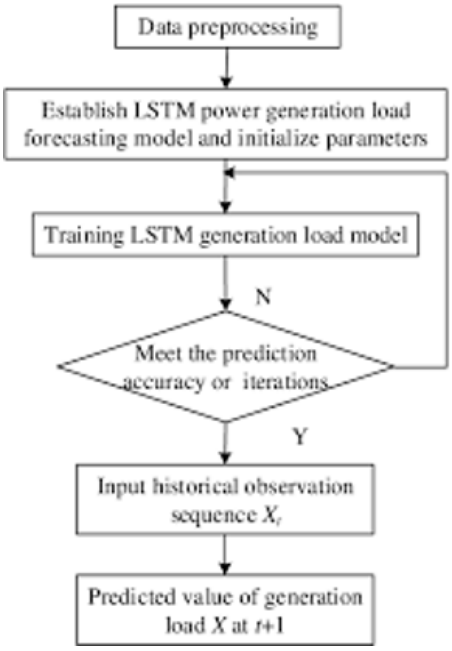
Smart grid juga memungkinkan konsumen untuk "menjual" listrik dari panel surya mereka ke PLN (konsep prosumer).

Tabel 4.4 Teknologi Smart Grid

Teknologi	Fungsi
Smart Meter	Mengukur konsumsi secara langsung
SCADA	Memantau dan mengontrol gardu
IoT	Mengumpulkan data beban

4.5 Mengelola Energi Lebih Cerdas dengan AI

AI membantu mengelola energi dengan cara memprediksi dan mengoptimalkan. Prediksi beban adalah kemampuan AI untuk memperkirakan berapa listrik yang akan dibutuhkan besok. Ini penting agar pembangkit tidak kekurangan atau kelebihan produksi.



Gambar 4.5 Diagram Alir Prediksi Beban Listrik

Optimasi pembangkit adalah menentukan pembangkit mana yang harus "dinyalakan" agar biaya paling murah dan ramah lingkungan.

Tabel 4.5 Energi Konvensional vs Cerdas

Konvensional	**Smart Energy**
Manual	Otomatis
Analog	Digital
Reaktif	Prediktif

4.6 Mendeteksi Masalah Sebelum Terlambat

AI dan sensor bisa mendeteksi hal-hal yang tidak terlihat oleh manusia. Misalnya, mendeteksi kebocoran gas sebelum terjadi ledakan.



Gambar 4.6 Sensor Gas MQ-2

Di bidang listrik, AI bisa mendeteksi pencurian listrik dengan membandingkan pola konsumsi normal dan yang mencurigakan.

4.7 Rumah, Pabrik, dan Kota Cerdas

Bayangkan sebuah hari di masa depan: saat Anda bangun tidur, tirai kamar terbuka secara otomatis mengikuti sinar matahari. Mesin kopi yang Anda pesan dari tempat tidur melalui ponsel sudah menyala, dan air hangat untuk mandi sudah siap di kamar mandi. Ini bukan lagi fiksi ilmiah. Ini adalah gambaran nyata dari sebuah rumah cerdas (smart home).

Konsep rumah cerdas memanfaatkan perangkat-perangkat yang saling terhubung melalui internet (IoT) untuk membuat hidup kita lebih nyaman, aman, dan hemat energi. Berikut beberapa contoh yang paling sering ditemui:

1. Pencahayaan dan Suhu Ruangan Otomatis: lampu yang menyala saat sensor mendeteksi adanya gerakan, atau AC yang menyesuaikan suhu ruangan berdasarkan cuaca di luar dan jumlah orang di dalam ruangan. Ini tidak hanya memberikan kenyamanan, tetapi juga menghemat tagihan listrik.
2. Keamanan Terintegrasi: kunci pintu yang bisa dibuka dari jarak jauh, bel pintu dengan kamera yang bisa Anda lihat dari ponsel di kantor, dan sensor kebocoran gas yang otomatis mematikan aliran gas dan mengirimkan peringatan ke ponsel Anda jika terdeteksi bahaya.
3. Peralatan Elektronik Cerdas: kulkas yang bisa memberi tahu Anda jika stok makanan menipis, atau mesin cuci yang bisa diprogram untuk bekerja di jam-jam tertentu saat tarif listrik sedang murah.

Di tingkat yang lebih besar, konsep ini diterapkan dalam industri cerdas (smart industry) atau yang sering kita dengar sebagai Industri 4.0. Di pabrik-pabrik modern, mesin-mesin tidak hanya bekerja sendiri, tetapi juga saling "berbicara" satu sama lain. Sebuah mesin dapat melaporkan ke pusat kendali jika ada komponen yang aus sehingga perawatan bisa dilakukan sebelum mesin benar-benar rusak. Proses produksi juga diatur secara otomatis oleh

robot yang bekerja dengan presisi tinggi, 24 jam sehari, tanpa kenal lelah. Hal ini meningkatkan produktivitas dan menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih konsisten.

Kemudian, jika kita menggabungkan semua elemen ini dalam satu kota, lahirlah sebuah kota cerdas (smart city). Kota cerdas adalah sebuah ekosistem digital besar yang mengintegrasikan data dari berbagai sektor kehidupan untuk dikelola secara terpusat dan efisien. Tujuan utamanya bukan sekadar teknologi, tetapi untuk meningkatkan kualitas hidup warganya. Beberapa contoh penerapan kota cerdas dalam kehidupan sehari-hari adalah:

- Manajemen Lalu Lintas: lampu lalu lintas yang pintar. Sensor di jalan mendeteksi kepadatan kendaraan dan secara otomatis mengatur durasi lampu hijau untuk mengurangi kemacetan di jam sibuk.

- Pengelolaan Sampah: tempat sampah yang dilengkapi sensor akan memberi tahu petugas kebersihan ketika sudah penuh, sehingga truk sampah tidak perlu berkeliling ke tempat yang sampahnya masih sedikit. Ini menghemat waktu dan biaya operasional.

- Layanan Publik yang Terintegrasi: warga bisa melaporkan masalah seperti jalan rusak atau lampu jalan mati hanya melalui satu aplikasi di ponsel, dan pemerintah kota bisa langsung menindaklanjutinya karena sistem sudah mencatat lokasi secara otomatis.

- Pengelolaan Energi Kota: jaringan listrik cerdas (smart grid) yang mengoptimalkan distribusi listrik ke seluruh kota, terutama saat beban puncak, serta mengintegrasikan sumber energi terbarukan seperti panel surya di gedung-gedung perkantoran dan perumahan.

Indonesia sedang mengambil langkah besar dalam mewujudkan konsep kota cerdas melalui pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN). IKN dirancang dari awal sebagai kota cerdas yang ramah lingkungan, atau yang sering disebut sebagai forest city. Konsep ini bukan hanya tentang memasang

banyak sensor dan kamera, tetapi tentang membangun kota yang berkelanjutan. Di IKN, transportasi umum direncanakan akan menggunakan kendaraan listrik otonom (tanpa pengemudi), hampir seluruh bangunan akan menggunakan energi terbarukan dan didesain hemat energi, serta sistem pengelolaan air dan sampah yang canggih untuk meminimalkan dampak lingkungan. IKN menjadi laboratorium hidup bagi Indonesia untuk belajar dan menguji teknologi-teknologi canggih ini sebelum diterapkan di kota-kota besar lainnya di tanah air.

Dengan penerapan teknologi pada ketiga level ini—rumah, pabrik, dan kota—kita bisa melihat bagaimana disiplin Teknik Elektro berperan sangat penting. Mulai dari merancang sirkuit kecil di sensor, membangun jaringan komunikasi yang andal, hingga menciptakan algoritma kecerdasan buatan yang mengelola seluruh data kota, semuanya tidak lepas dari peran insinyur elektro. Ini adalah fondasi bagi kehidupan yang lebih modern, efisien, dan berkelanjutan di masa depan.



Gambar 4.7 Konsep Smart Home

4.8 Masa Depan Energi: Mandiri dan Berkelanjutan

Pernahkah Anda membayangkan sebuah desa terpencil di pedalaman Kalimantan atau kepulauan terluar NTT yang selama ini gelap gulita di malam hari, tiba-tiba bisa menikmati listrik? Atau, pernahkah Anda berpikir

bahwa suatu hari nanti, setiap rumah di Indonesia bisa menghasilkan listriknya sendiri tanpa harus bergantung sepenuhnya pada jaringan listrik nasional? Inilah gambaran masa depan energi yang sedang kita bangun: energi yang mandiri dan berkelanjutan.

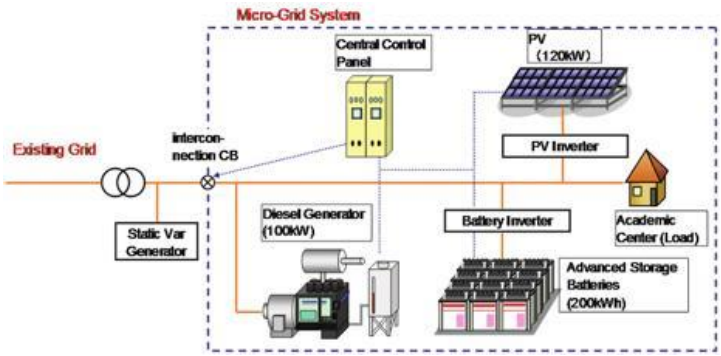
Untuk mewujudkannya, ada dua konsep utama yang menjadi kunci: microgrid dan energi terbarukan. Mari kita bahas satu per satu dengan cara yang sederhana.

Microgrid: Jaringan Listrik "Kecil" yang Tangguh

Bayangkan sebuah perahu nelayan. Jika perahu itu selalu terikat di dermaga, ia hanya bisa bergerak sejauh tali pengikatnya. Namun, jika perahu itu memiliki mesin dan dayung sendiri, ia bisa berlayar ke mana saja, bahkan saat badai sekalipun. Microgrid adalah "perahu" dari dunia kelistrikan.

Microgrid adalah sebuah sistem jaringan listrik berskala kecil yang bisa berdiri sendiri. Ia memiliki sumber pembangkit listrik sendiri (misalnya panel surya atau kincir angin), tempat penyimpanan energi sendiri (baterai), dan sistem pengatur sendiri. Kemampuan utama microgrid adalah islanding, atau beroperasi secara mandiri.

Apa artinya? Artinya, microgrid bisa "melepaskan" diri dari jaringan listrik utama (seperti jaringan PLN) dan tetap berjalan normal. Misalnya, jika terjadi pemadaman listrik besar-besaran di kota, sebuah rumah sakit yang dilengkapi microgrid tidak akan ikut padam. Lampu di ruang operasi tetap menyala, alat bantu napas pasien tetap berfungsi, dan pendingin vaksin tetap dingin.



Gambar 4.8 Skema Microgrid dengan Baterai

Mengapa microgrid sangat cocok untuk Indonesia?

1. Menjangkau Daerah Terpencil: Indonesia adalah negara kepulauan. Membangun jaringan kabel listrik dari Jawa ke Papua sangat mahal dan sulit. Microgrid menawarkan solusi yang lebih praktis. Kita bisa membangun pembangkit listrik tenaga surya atau mikrohidro (memanfaatkan aliran sungai kecil) di desa tersebut, dan desa itu pun bisa menikmati listrik tanpa harus menunggu jaringan nasional menjangkaunya.
2. Mengurangi Ketergantungan pada Bahan Bakar Fosil: banyak daerah terpencil saat ini masih mengandalkan genset berbahan bakar solar. Biaya operasionalnya mahal karena bahan bakar harus diangkut dengan kapal, dan polusinya mencemari lingkungan. Microgrid berbasis energi terbarukan (surya, angin, atau air) bisa menjadi pengganti yang lebih murah dan bersih.
3. Meningkatkan Ketahanan Energi Nasional: semakin banyak microgrid yang tersebar di seluruh Indonesia, semakin tangguh pula sistem energi nasional kita. Jika satu pembangkit listrik besar mengalami gangguan, daerah-daerah yang memiliki microgrid tidak akan ikut terdampak.

Energi Terbarukan: Sumber Daya yang Tak Pernah Habis

Jika microgrid adalah "perahunya", maka energi terbarukan adalah "layar dan dayungnya"—sumber tenaga yang selalu tersedia di alam. Berbeda dengan batu bara dan minyak bumi yang suatu hari akan habis, energi terbarukan berasal dari alam yang terus diperbarui.

• Tenaga Surya: matahari bersinar setiap hari. Panel surya dapat mengubah sinar matahari menjadi listrik. Potensi tenaga surya di Indonesia sangat besar karena kita berada di garis khatulistiwa.

• Tenaga Angin: di beberapa wilayah pesisir atau dataran tinggi, angin bertiup kencang. Kincir angin raksasa dapat mengubah hembusan angin menjadi energi listrik.

• Tenaga Air (Hidro): aliran sungai dan air terjun dapat memutar turbin untuk menghasilkan listrik. Indonesia memiliki banyak sungai yang cocok untuk pembangkit listrik mikrohidro.

• Panas Bumi (Geothermal): Indonesia terletak di "Cincin Api" Pasifik, yang berarti kita memiliki banyak gunung berapi. Panas dari dalam bumi ini dapat digunakan untuk menghasilkan uap yang memutar turbin listrik. Indonesia bahkan memiliki potensi panas bumi terbesar di dunia!

Hidrogen Hijau: "Bensin" Masa Depan yang Ramah Lingkungan

Selain microgrid dan energi terbarukan, ada satu lagi inovasi yang mulai banyak dibicarakan: hidrogen hijau. Apa itu?

Singkatnya, hidrogen hijau adalah gas hidrogen yang diproduksi menggunakan listrik dari energi terbarukan (seperti panel surya atau kincir angin). Prosesnya disebut elektrolisis, yaitu memecah molekul air (H_2O) menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) menggunakan aliran listrik.

Mengapa disebut "hijau"? Karena proses produksinya tidak menghasilkan emisi karbon sama sekali. Yang digunakan hanya air dan listrik bersih.

Hidrogen hijau ini sangat menarik karena beberapa alasan:

1. Bisa Disimpan dalam Jumlah Besar: berbeda dengan listrik yang harus segera digunakan, hidrogen bisa disimpan dalam tangki untuk waktu yang lama. Ini menjadi solusi untuk menyimpan energi dari matahari atau angin saat cuaca sedang tidak mendukung.

2. Bisa Digunakan sebagai Bahan Bakar: hidrogen bisa digunakan untuk menggerakkan kendaraan (seperti mobil atau bus) dengan emisi nol. Yang keluar dari knalpotnya hanyalah uap air.
3. Bisa Menggantikan Batu Bara di Industri Berat: industri seperti pabrik baja atau semen membutuhkan panas yang sangat tinggi yang biasanya dihasilkan dari pembakaran batu bara. Hidrogen hijau bisa menjadi pengganti yang bersih untuk keperluan ini.

Menuju Indonesia yang Mandiri Energi

Dengan menggabungkan ketiga konsep ini—microgrid, energi terbarukan, dan hidrogen hijau—Indonesia memiliki kesempatan emas untuk mencapai kemandirian energi. Ini berarti kita tidak perlu lagi khawatir jika harga minyak dunia naik, atau jika pasokan batu bara dari luar negeri terganggu. Kita bisa memanfaatkan kekayaan alam kita sendiri untuk memenuhi kebutuhan energi kita.

Menguasai teknologi ini bukan hanya mimpi, tetapi sebuah keniscayaan. Jika kita berhasil, Indonesia tidak hanya akan menjadi negara yang lebih makmur dan ramah lingkungan, tetapi juga menjadi pemain penting di pasar energi global di masa depan. Generasi muda, terutama yang berkecimpung di bidang teknik elektro, akan memegang peran yang sangat penting dalam mewujudkan masa depan energi yang cerah ini.

BAB 5
APA KATA PENELITIAN: STUDI KASUS DUNIA NYATA

Pernahkah Anda bertanya-tanya, "Apakah teknologi canggih seperti IoT dan AI benar-benar bekerja di dunia nyata, atau hanya teori di laboratorium?" Pertanyaan ini sangat wajar. Untuk menjawabnya, para peneliti di seluruh dunia melakukan berbagai uji coba. Mereka tidak hanya merancang teknologi di atas kertas, tetapi juga membangun prototipe, mengujinya di lapangan, dan mengukur hasilnya.

Bab ini akan mengajak Anda menyelami hasil-hasil uji coba tersebut. Kami akan menyajikannya dengan cara yang sederhana, seperti mengupas hasil investigasi: apa yang sudah terbukti berhasil, apa saja tantangan yang dihadapi, dan apa artinya bagi kita di Indonesia.

5.1 Dari Mana Cerita-Cerita Ini Berasal

Untuk menulis bab ini, para penulis tidak hanya membaca satu atau dua tulisan, melainkan menelusuri puluhan bahkan ratusan laporan dan hasil uji coba penerapan IoT dan AI di dunia energi dari berbagai negara.

Bayangkan Anda sedang menyusun puzzle raksasa yang terdiri dari ribuan keping. Setiap keping adalah satu cerita: ada yang menunjukkan cara kerja sensor, ada yang membahas algoritma AI, ada pula yang menceritakan hasil uji coba di lapangan. Tugas kami adalah mengumpulkan keping-keping itu, memilah mana yang benar-benar relevan, lalu menyusunnya menjadi satu gambaran yang utuh dan mudah dipahami.

Agar cerita yang kami sajikan bisa dipercaya, kami hanya memilih sumber dengan tiga pertimbangan sederhana:

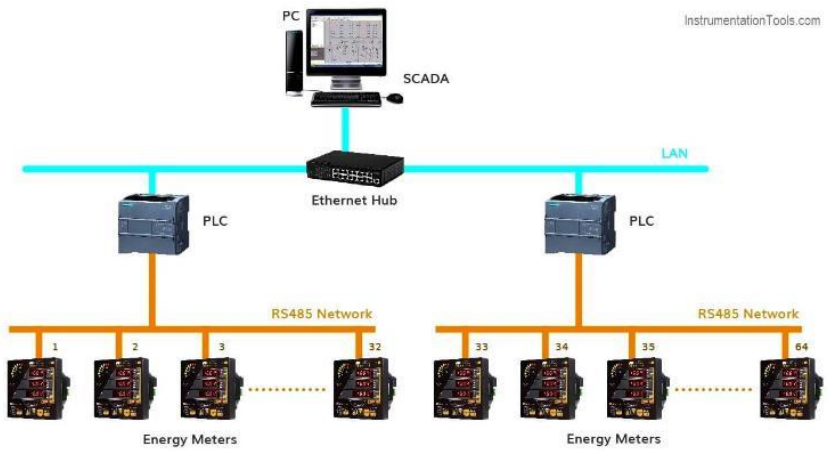
1. Kebaruan: kami mengutamakan laporan dari 5–7 tahun terakhir, karena teknologi IoT dan AI berkembang sangat cepat. Cerita dari sepuluh tahun lalu bisa jadi sudah ketinggalan zaman.

2. Kredibilitas: sumbernya berasal dari lembaga, publikasi, atau forum ilmiah yang sudah diperiksa oleh sesama ahli sebelum diterbitkan—ibarat memastikan "bahan makanan" yang kita beli sudah punya izin edar resmi.
3. Relevansi: cerita yang kami ambil menggambarkan penerapan nyata IoT dan/atau AI dalam sistem energi, kelistrikan, atau keselamatan, bukan sekadar gagasan di atas kertas.

Dengan cara ini, apa yang kami sajikan dalam bab ini bukan sekadar opini pribadi, melainkan rangkuman dari pengalaman nyata di berbagai belahan dunia.

5.2 Memantau Energi dari Jarak Jauh

Salah satu topik yang paling banyak dibahas adalah sistem pemantauan energi berbasis IoT. Konsepnya sederhana: pasang sensor di panel listrik rumah atau pabrik, hubungkan ke internet, lalu Anda bisa melihat berapa banyak listrik yang digunakan kapan saja, di mana saja, melalui ponsel atau komputer.



Gambar 5.2 Arsitektur Sistem Monitoring Energi

Bagaimana cara kerjanya?

Bayangkan sebuah timbangan badan digital yang bisa Anda lihat hasilnya di ponsel. Sensor arus (seperti timbangan) dipasang di kabel listrik utama. Ia terus-menerus "menimbang" berapa arus yang mengalir. Data ini dikirim

melalui jaringan (WiFi atau sinyal seluler) ke server di awan (cloud). Dari sana, Anda bisa melihat grafik konsumsi listrik harian, mingguan, atau bulanan melalui aplikasi di ponsel.

Apa hasilnya di lapangan?

Berbagai uji coba di banyak negara menunjukkan hasil yang konsisten: ketika orang bisa melihat konsumsi listrik mereka secara langsung, mereka menjadi lebih sadar. Sadar bahwa menyalakan AC sepanjang malam ternyata boros, atau bahwa setrika listrik yang dibiarkan menyala menghabiskan banyak energi. Akibatnya, terjadi penghematan energi rata-rata 15–20%. Ini adalah angka yang sangat signifikan.

Manfaat lain yang ditemukan:

- Deteksi Dini Kerusakan: jika tiba-tiba konsumsi listrik melonjak drastis tanpa sebab yang jelas, itu bisa menjadi indikasi ada peralatan yang rusak atau terjadi kebocoran arus.
- Identifikasi Peralatan "Boros": dengan analisis pola, sistem bisa memberi tahu peralatan mana yang paling banyak menyumbang tagihan listrik. Misalnya, "AC di ruang tamu menyumbang 40% dari tagihan Anda bulan ini."

Relevansi untuk Indonesia

Bayangkan jika setiap rumah di kompleks perumahan, setiap toko, dan setiap kantor pemerintahan menggunakan sistem ini. Kita bisa menghemat energi nasional secara masif, mengurangi subsidi listrik, dan bahkan membantu menurunkan emisi karbon. PLN juga bisa mendapatkan data yang lebih akurat untuk merencanakan pasokan listrik.

5.3 Sensor Pencium Gas: Menyelamatkan Nyawa

Topik lain yang sangat penting, terutama bagi keselamatan masyarakat, adalah sistem deteksi gas berbasis sensor dan AI.



Gambar 5.3 Sensor Gas MQ-9

Apa yang diteliti?

Peneliti mengembangkan sistem yang bisa "mencium" kebocoran gas. Sensor seperti MQ-2, MQ-4, atau MQ-9 diletakkan di ruangan. Sensor ini akan berubah resistansinya ketika terkena gas tertentu. Namun, masalahnya adalah sensor ini tidak spesifik—ia bisa merespons beberapa jenis gas sekaligus.

Di sinilah AI berperan. Dengan menggunakan algoritma seperti Support Vector Machine atau Jaringan Saraf Tiruan, sistem bisa dilatih untuk "membedakan" bau gas. Misalnya, sistem bisa belajar bahwa pola sinyal X berarti "gas LPG", pola Y berarti "karbon monoksida", dan pola Z berarti "asap kebakaran". Ini seperti melatih anjing pelacak untuk membedakan berbagai macam bau.

Apa hasilnya?

Akurasi sistem ini sangat tinggi, mencapai di atas 95% dalam kondisi laboratorium. Yang lebih penting, sistem ini bisa memberikan peringatan dini jauh sebelum konsentrasi gas mencapai level berbahaya. Waktu peringatan dini ini sangat krusial—bisa memberikan kesempatan bagi penghuni untuk mengevakuasi diri atau mematikan sumber kebocoran.

Mengapa ini sangat penting untuk Indonesia?

Pemerintah Indonesia telah melakukan program konversi dari minyak tanah ke LPG (tabung gas) sejak tahun 2007. Saat ini, puluhan juta rumah tangga menggunakan tabung gas elpiji. Insiden kebocoran, kebakaran, dan ledakan akibat tabung gas masih sering terjadi, terutama di daerah padat penduduk. Dengan sistem deteksi gas yang terjangkau dan mudah dipasang, risiko ini bisa dikurangi secara signifikan. Bayangkan jika setiap rumah yang menggunakan tabung gas dilengkapi dengan sensor seperti ini. Nyawa-nyawa yang selama ini melayang akibat kebocoran gas bisa diselamatkan.

5.4 Jaringan Listrik yang Belajar dari Data

Pengembangan Smart Grid (jaringan listrik cerdas) adalah salah satu upaya yang paling kompleks, tetapi juga paling menjanjikan.



Gambar 5.4 Skema Smart Grid AI

Masalah yang dipecahkan

Jaringan listrik tradisional dirancang untuk aliran listrik satu arah: dari pembangkit ke konsumen. Namun, dengan semakin banyaknya panel surya di atap rumah, aliran listrik menjadi dua arah (kadang rumah malah mengirim listrik balik ke jaringan). Ini membuat pengelolaan jaringan menjadi rumit.

Selain itu, sumber energi terbarukan seperti surya dan angin sifatnya intermiten (tidak stabil). Tenaga surya hanya ada saat siang hari, dan tenaga angin hanya saat angin bertiup. Jika tiba-tiba mendung atau angin berhenti, pasokan listrik bisa turun drastis.

Apa peran AI?

AI berperan seperti "manajer jaringan" yang super cerdas dan cepat. Ia melakukan beberapa hal sekaligus:

1. Prediksi: AI menganalisis data cuaca, data historis, dan data langsung untuk memprediksi berapa banyak listrik yang akan dihasilkan panel surya besok, atau berapa banyak yang akan dikonsumsi oleh warga.
2. Optimasi: AI memutuskan pembangkit mana yang harus "dinyalakan" atau "dimatikan" agar biaya paling murah dan emisi paling rendah, sambil tetap memastikan pasokan listrik stabil.
3. Penyeimbangan: jika tiba-tiba terjadi lonjakan permintaan (misalnya semua orang menyalakan AC di saat yang sama), AI dengan cepat memerintahkan baterai penyimpanan untuk mengeluarkan cadangan energi atau meminta pabrik-pabrik besar untuk mengurangi konsumsi sementara (demand response).

Apa hasilnya di lapangan?

Berbagai uji coba menunjukkan bahwa integrasi AI dalam smart grid dapat meningkatkan efisiensi operasional hingga 20–30%, mengurangi biaya operasional, dan memungkinkan integrasi energi terbarukan hingga 50% lebih banyak dibandingkan jaringan konvensional.

Relevansi untuk Indonesia

Indonesia berkomitmen untuk meningkatkan bauran energi terbarukan. Untuk itu, kita membutuhkan smart grid yang canggih, terutama di Pulau Jawa dan Bali yang memiliki beban listrik terbesar. Pengalaman dari berbagai negara ini memberikan gambaran tentang bagaimana mencapainya.

5.5 Membandingkan Teknologi: Mana yang Terbaik?

Salah satu pertanyaan yang paling sering muncul adalah: teknologi komunikasi mana yang paling tepat untuk IoT? Ada beberapa pilihan utama, masing-masing dengan kelebihan yang berbeda.

Tabel 5.1 Perbandingan Teknologi Komunikasi untuk IoT

Teknologi	Jarak	Konsumsi Daya	Kecepatan Data	Cocok Untuk
WiFi	Pendek (hingga 100 m)	Tinggi	Sangat Tinggi	Rumah, kantor, streaming video
Bluetooth Low Energy	Sangat Pendek (< 50 m)	Sangat Rendah	Rendah	Perangkat wearable, sensor dekat
LoRaWAN	Sangat Jauh (hingga 15 km)	Sangat Rendah	Sangat Rendah	Sensor di lahan pertanian, kota cerdas
Zigbee	Pendek (hingga 100 m)	Rendah	Sedang	Otomasi rumah, lampu pintar
Seluler (4G/5G)	Jauh	Tinggi	Sangat Tinggi	Mobil, drone, aplikasi real-time

Pilihan tergantung pada kebutuhan:

- Jika Anda ingin memantau konsumsi listrik di rumah Anda, WiFi sudah cukup.
- Jika Anda ingin memasang sensor di sawah yang luasnya puluhan hektare dan tidak ada sinyal WiFi, LoRaWAN adalah pilihan yang tepat karena jaraknya jauh dan baterainya bisa bertahan bertahun-tahun.
- Jika Anda ingin mengirimkan video dari kamera keamanan, Anda membutuhkan WiFi atau 4G/5G.

Tabel 5.2 Teknologi Smart Energy

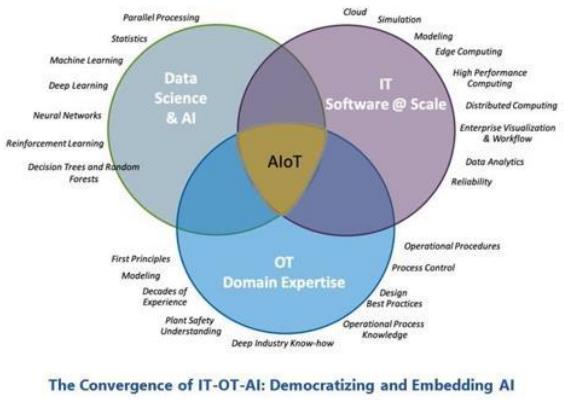
Teknologi	Keunggulan
Smart Meter	Menghemat biaya, deteksi dini
AI	Prediksi akurat
IoT	Monitoring tanpa perlu datang ke lokasi

5.6 Apa yang Berhasil dan Apa yang Masih Sulit

Dari semua cerita dan studi kasus yang kami telusuri, ada pola yang jelas tentang apa yang sudah berhasil dengan baik dan apa yang masih menjadi tantangan.

Yang berhasil dengan baik:

1. Monitoring Energi Real-Time: teknologi ini sudah matang dan banyak digunakan secara komersial. Banyak produk smart meter yang sudah dijual bebas.
2. Deteksi Dini Gas/Asap: sistem ini juga sudah terbukti efektif dan mulai banyak digunakan di rumah-rumah modern dan fasilitas industri.
3. Prediksi Beban Listrik: algoritma AI sudah mampu memprediksi konsumsi listrik dengan akurasi tinggi, membantu perencanaan pasokan.



Gambar 5.6 Konvergensi IoT dan AI

5.7 Tantangan di Lapangan dan Yang Belum Terjawab

Yang masih menjadi tantangan besar:

1. Keamanan Siber: semakin banyak perangkat yang terhubung, semakin besar pula celah keamanannya. Banyak perangkat IoT diketahui memiliki kelemahan keamanan dasar (misalnya kata sandi bawaan yang tidak pernah diubah). Ini bisa menjadi pintu masuk bagi peretas untuk menyerang jaringan yang lebih besar.
2. Biaya Implementasi: meskipun harga sensor dan mikrokontroler semakin murah, biaya untuk memasang sistem secara besar-besaran (misalnya di seluruh kota) masih sangat mahal. Belum lagi biaya untuk merawat dan memperbarui sistem.
3. Kurangnya Tenaga Ahli: mengembangkan, memasang, dan memelihara sistem AIoT membutuhkan keahlian khusus. Di Indonesia, jumlah insinyur yang menguasai bidang ini masih terbatas. Ini menjadi pekerjaan rumah bagi dunia pendidikan.

Salah satu hal paling penting yang muncul dari berbagai cerita di atas adalah adanya kesenjangan antara apa yang bekerja sempurna di laboratorium dan apa yang terjadi ketika teknologi itu benar-benar dipasang di lapangan.

Di laboratorium (kondisi ideal):

- Sensor bekerja dengan sempurna.
- Sinyal komunikasi stabil.
- Suhu dan kelembapan terkontrol.
- Perangkat mendapatkan daya yang stabil.

Di dunia nyata (lapangan):

- Sensor bisa rusak karena panas, debu, atau kelembapan.
- Sinyal bisa hilang karena jarak atau halangan bangunan.
- Data bisa "berisik" (tidak akurat) karena gangguan elektromagnetik.

- Baterai bisa habis.
- Kabel bisa putus karena digigit tikus atau terkena air.

Tabel 5.3 Dari Laboratorium ke Dunia Nyata

Yang Diuji di Laboratorium	**Kendalanya**	**Yang Perlu Disesuaikan**
Sistem monitoring berbasis IoT saja	Tidak menggunakan AI untuk analisis	Tambahkan AI agar bisa mendeteksi anomali dan memberi peringatan
Model AI yang dijalankan di cloud	Membutuhkan koneksi internet stabil; jika terputus, sistem mati	Kembangkan edge AI (AI yang berjalan langsung di perangkat) agar tetap bekerja saat offline
Pengujian di iklim sedang (Eropa/AS)	Tidak cocok untuk iklim tropis	Uji dan modifikasi perangkat agar tahan panas, lembap, dan debu khas Indonesia
Komponen yang digunakan mahal	Tidak terjangkau untuk pasar massal di Indonesia	Cari alternatif komponen yang lebih murah dengan performa yang "cukup"

5.8 Apa Artinya untuk Indonesia

Setelah menyelami berbagai cerita dan pengalaman global, kita sampai pada pertanyaan paling penting: apa artinya semua ini bagi kita, di Indonesia?

Pertama, kita tidak bisa sekadar "menyalin-tempel" teknologi dari luar negeri. Negara maju seperti Jerman, Jepang, atau Amerika Serikat memiliki kondisi yang sangat berbeda. Cuaca mereka dingin, infrastruktur internet mereka sudah mapan, dan listrik mereka stabil. Di Indonesia, kita menghadapi panas terik, hujan lebat, kelembapan tinggi, dan seringkali listrik yang padam atau sinyal internet yang tidak stabil.

Kedua, kita butuh solusi "ala Indonesia"—teknologi yang:

1. Murah: harga adalah faktor kunci di negara dengan daya beli yang beragam. Sensor dan perangkat harus terjangkau bagi masyarakat umum dan UMKM.
2. Tangguh: perangkat harus tahan terhadap suhu tinggi, debu, kelembapan, dan bahkan serangan serangga atau hewan pengerat.
3. Mudah Digunakan: antarmuka (tampilan) harus sederhana. Tidak semua orang mengerti grafik atau istilah teknis. Informasi harus disajikan dalam bahasa yang mudah dipahami.
4. Mudah Diperbaiki: jika rusak, komponen harus mudah diganti dan dijangkau. Tidak boleh tergantung pada suku cadang impor yang mahal dan sulit didapat.
5. Tidak Bergantung pada Internet Stabil: banyak daerah di Indonesia yang sinyal internetnya masih belum stabil. Sistem harus bisa beroperasi secara lokal (offline) dan mengirimkan data saat koneksi tersedia.



Gambar 5.8 Elektrifikasi Desa di Indonesia

Peluang besar bagi peneliti Indonesia

Bukannya melihat kondisi ini sebagai kelemahan, kita harus melihatnya sebagai peluang. Indonesia adalah laboratorium hidup yang sempurna untuk mengembangkan teknologi yang tepat guna. Teknologi yang berhasil di Indonesia, dengan segala tantangannya, akan sangat bernilai dan bahkan bisa diekspor ke negara-negara berkembang lainnya di Asia, Afrika, dan Amerika Latin yang memiliki kondisi serupa.

Kesimpulan

Pengalaman dari berbagai negara telah membuktikan bahwa IoT dan AI sangat efektif untuk monitoring energi, deteksi dini bahaya, dan pengelolaan jaringan listrik. Namun, tantangan terbesar bukanlah pada teknologinya itu sendiri, melainkan pada adaptasi terhadap kondisi lokal. Indonesia memiliki kesempatan emas untuk tidak hanya menjadi pengguna teknologi, tetapi juga pengembang solusi yang sesuai dengan kebutuhannya sendiri. Inilah yang disebut dengan kemandirian teknologi.

BAB 6
MENUJU INDONESIA YANG MANDIRI SECARA TEKNOLOGI

Bayangkan sebuah negara yang setiap hari harus membeli beras dari luar negeri untuk memberi makan rakyatnya. Jika suatu saat negara pengekspor beras mengalami gagal panen atau menaikkan harga secara sepihak, rakyat negara itu akan kelaparan. Begitu pula dengan teknologi. Jika suatu negara hanya bisa membeli dan menggunakan teknologi dari luar, ia akan selalu berada dalam posisi yang rentan.

Indonesia saat ini sedang berada di persimpangan jalan. Kita bisa terus menjadi "pasar" bagi produk-produk teknologi asing, atau kita bisa mulai bangkit menjadi "produsen" yang menciptakan teknologinya sendiri. Bab ini akan membahas secara jujur tantangan yang kita hadapi, peluang yang bisa kita raih, serta peran penting generasi muda—khususnya *engineer*—dalam mewujudkan kemandirian teknologi Indonesia.

6.1 Masih Bergantung pada Impor

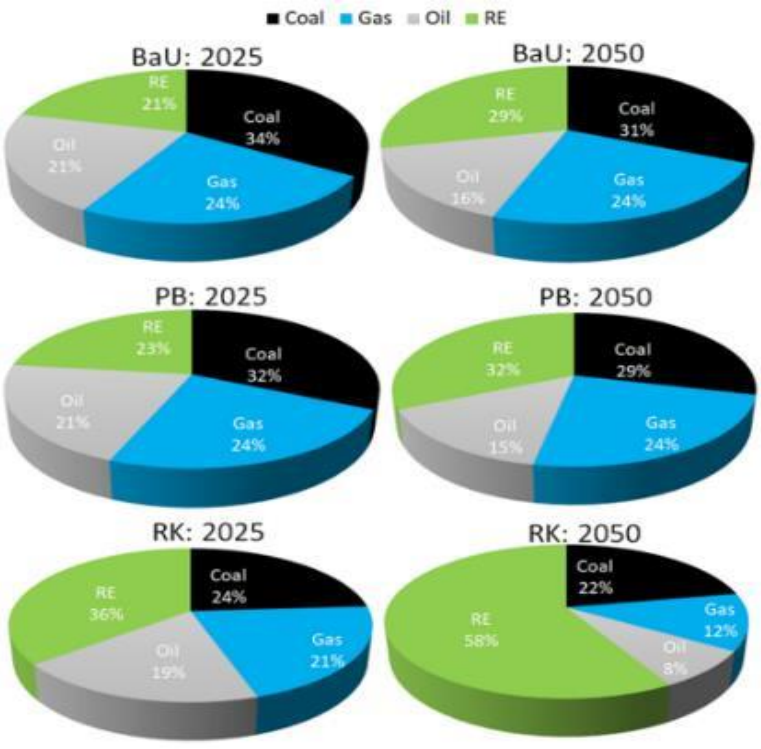
Pernahkah Anda memperhatikan ponsel yang Anda gunakan, laptop yang Anda pakai, atau bahkan mesin yang digunakan di pabrik-pabrik di sekitar Anda? Sebagian besar dari perangkat tersebut—mulai dari komponen terkecil seperti chip, hingga perangkat lunak yang menjalankannya—masih didatangkan dari luar negeri. Ini adalah realita pahit yang harus kita akui.

Apa saja yang masih kita impor?

1. Chip Semikonduktor: hampir semua perangkat elektronik, mulai dari ponsel pintar, mobil, hingga peralatan medis, membutuhkan chip. Indonesia belum memiliki industri fabrikasi chip sendiri. Kita sepenuhnya bergantung pada pasokan dari Taiwan, Korea Selatan, Tiongkok, dan Amerika Serikat. Ketika terjadi krisis chip global pada

2020–2021, industri otomotif dan elektronik di Indonesia ikut terpukul. Pabrik mobil terhenti, dan harga ponsel melonjak.

2. Mesin Industri: pabrik-pabrik di Indonesia, baik itu pabrik tekstil, makanan, atau otomotif, masih mengandalkan mesin-mesin impor dari Jerman, Jepang, atau Tiongkok. Jika mesin rusak, kita seringkali harus memanggil teknisi dari luar negeri atau mengimpor suku cadang yang mahal.
3. Perangkat Lunak (Software): sistem operasi komputer, aplikasi perkantoran, hingga perangkat lunak desain dan simulasi yang digunakan oleh insinyur kita, sebagian besar adalah produk asing. Kita membayar lisensi setiap tahun, yang berarti uang kita mengalir keluar negeri secara terus-menerus.
4. Bahan Baku Energi: meskipun Indonesia kaya akan batu bara, kita masih mengimpor minyak mentah dan gas untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Ini membuat kita rentan terhadap fluktuasi harga minyak dunia.



Gambar 6.1 Target Bauran Energi Indonesia

Mengapa ini berbahaya? Ketergantungan ini membuat Indonesia seperti "pasien" yang selalu bergantung pada obat dari luar. Jika pasokan terganggu karena perang, bencana alam, atau kebijakan politik negara lain, kita akan kesulitan. Selain itu, nilai tambah dari industri teknologi sebagian besar dinikmati oleh negara-negara produsen, sementara kita hanya mendapat bagian kecil sebagai pasar.

Apa solusinya? Kita harus mulai membangun industri sendiri. Pemerintah sudah mulai bergerak dengan kebijakan hilirisasi—misalnya, mengolah nikel menjadi baterai di dalam negeri, bukan mengekspor bijih mentah. Langkah ini harus diperluas ke sektor lain, seperti elektronika, perangkat lunak, dan energi terbarukan.

6.2 Kesenjangan di Antara Kita

Bayangkan dua anak sekolah di Indonesia: satu di Jakarta, satu di pedalaman Papua. Anak di Jakarta sudah terbiasa dengan internet cepat, bisa mengakses video pembelajaran, dan bertemu dengan guru-guru berkualitas. Anak di Papua mungkin masih harus berjalan berjam-jam untuk mendapatkan sinyal, dan sekolahnya tidak memiliki komputer. Inilah yang disebut kesenjangan digital.



Gambar 6.2 Peta Kesenjangan Digital Indonesia

Apa dampaknya?

1. Pendidikan Tertinggal: anak-anak di daerah terpencil tidak bisa mengakses materi pelajaran yang sama dengan anak-anak di kota.

Mereka tidak bisa mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

2. Ekonomi Terhambat: UMKM di desa tidak bisa memasarkan produknya secara daring. Petani tidak bisa mengakses informasi cuaca atau harga pasar terkini.
3. Pelayanan Publik Buruk: puskesmas di daerah terpencil kesulitan mengakses sistem rujukan daring atau konsultasi jarak jauh dengan dokter spesialis.

Tabel 6.1 Tantangan dan Solusi

Tantangan	**Contoh Nyata**	**Solusi**
Ketergantungan Impor	Chip, mesin, software dari luar negeri	Bangun industri lokal (hilirisasi), dorong produksi dalam negeri, beri insentif bagi perusahaan yang menggunakan produk lokal
Kualitas SDM Kurang	Kurangnya insinyur dan teknisi yang menguasai AI, IoT, dan keamanan siber	Perkuat pendidikan STEM (Sains, Teknologi, Teknik, Matematika) dari SD hingga perguruan tinggi; perbanyak pelatihan vokasi
Infrastruktur Terbatas	Internet lambat di luar Jawa	Bangun menara BTS, manfaatkan satelit, dan kembangkan teknologi LoRa untuk konektivitas jarak jauh dan hemat daya
Anggaran Riset Minim	Dana riset Indonesia masih di bawah 1% PDB	Tingkatkan anggaran riset nasional, beri insentif pajak bagi perusahaan yang melakukan riset
Keamanan Siber Lemah	Serangan ransomware di Pusat Data Nasional (2024)	Perkuat regulasi, bangun pusat respons siber nasional, latih aparatur dan masyarakat

Apa yang bisa dilakukan? Pemerintah telah meluncurkan program seperti Palapa Ring untuk menghubungkan serat optik di seluruh Indonesia. Namun, ini masih belum cukup. Kita juga perlu memanfaatkan teknologi alternatif seperti satelit untuk daerah yang sangat terpencil, serta teknologi LoRa untuk sensor-sensor IoT yang hemat daya dan berjarak jauh.

6.3 Riset Kita dan Keamanan Digital Kita

Lemahnya Hilirisasi Riset

Salah satu masalah terbesar di Indonesia adalah hasil riset di perguruan tinggi seringkali berhenti di jurnal ilmiah dan tidak pernah menjadi produk nyata. Ibaratnya, kita punya banyak bibit unggul, tetapi tidak pernah menanamnya di ladang.

Mengapa ini terjadi?

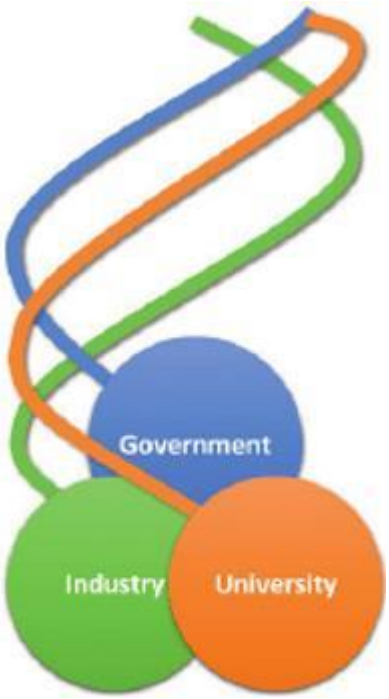
1. Kurangnya Pendanaan: dana untuk mengubah prototipe menjadi produk jadi sangat terbatas.
2. Kurangnya Kolaborasi: dunia akademisi dan dunia industri seringkali berjalan sendiri-sendiri. Peneliti tidak tahu apa yang dibutuhkan industri, dan industri tidak tahu apa yang diteliti di kampus.
3. Kekayaan Intelektual: proses paten dan perlindungan hak cipta di Indonesia masih panjang dan rumit.

Solusi: Model Triple Helix

Solusi yang paling banyak didiskusikan adalah memperkuat kolaborasi antara tiga pilar: pemerintah, perguruan tinggi, dan industri. Ini disebut model Triple Helix.

- Pemerintah berperan sebagai pembuat kebijakan dan penyedia pendanaan.
- Perguruan Tinggi berperan sebagai penghasil riset dan SDM berkualitas.

- Industri berperan sebagai pengguna riset dan penyedia kebutuhan pasar.



Gambar 6.3 Model Triple Helix

Jika ketiganya bersinergi, siklus inovasi akan berjalan: riset menghasilkan temuan, temuan dikembangkan menjadi produk, produk dijual di pasar, dan keuntungannya kembali digunakan untuk riset baru.

Keamanan Digital Kita

Di era digital, keamanan siber adalah bagian dari pertahanan nasional. Serangan siber bukan hanya mengganggu layanan, tetapi bisa melumpuhkan negara. Kasus serangan ransomware di Pusat Data Nasional pada Juni 2024 adalah contoh nyata. Layanan imigrasi di bandara terganggu, data kependudukan terancam, dan kepercayaan publik terhadap pemerintah menurun.

Apa yang harus diperkuat?

1. Regulasi: UU Perlindungan Data Pribadi (UU PDP) sudah ada, tetapi implementasinya masih lemah.

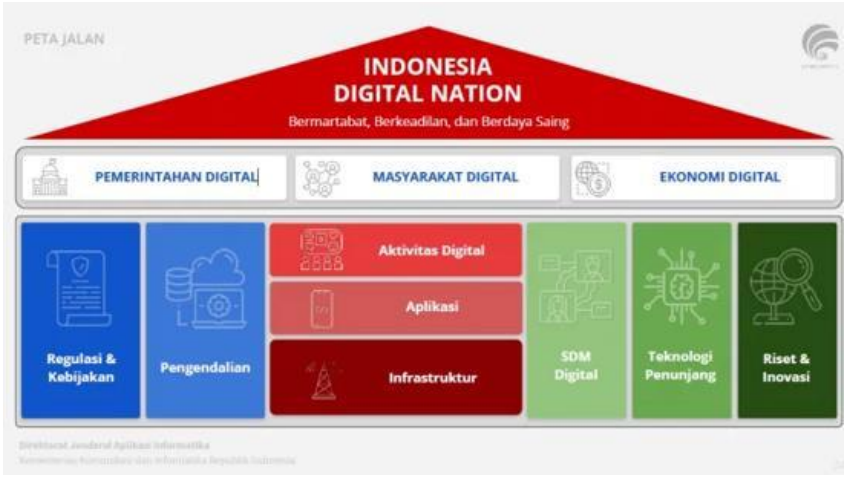
2. SDM: kita kekurangan puluhan ribu ahli keamanan siber.
3. Infrastruktur: Pusat Data Nasional harus memiliki sistem cadangan yang aman dan terenkripsi.

6.4 Kesempatan Emas: Digitalisasi dan Energi Hijau

Di tengah tantangan, ada kabar baik: Indonesia sedang berada di momen yang tepat untuk melompat maju. Dua gelombang besar sedang terjadi: digitalisasi dan transisi energi hijau.

Digitalisasi: Ekonomi Kita Bergerak ke Dunia Digital

Kita sudah merasakan dampaknya: belanja daring, transportasi daring, pembayaran digital, dan lain-lain. Ekonomi digital Indonesia adalah yang terbesar di Asia Tenggara. Ini adalah peluang besar bagi startup teknologi, pengembang aplikasi, dan insinyur yang bisa menciptakan solusi digital.



Gambar 6.4 Transformasi Digital Indonesia

Namun, digitalisasi tidak boleh hanya berhenti di aplikasi permukaan. Kita harus masuk ke lapisan yang lebih dalam: menciptakan platform sendiri, membangun pusat data sendiri, dan mengembangkan AI sendiri. Inilah yang disebut kedaulatan digital.

Transisi Energi Hijau: Dunia Beralih ke Energi Bersih

Dunia sedang meninggalkan bahan bakar fosil dan beralih ke energi terbarukan: surya, angin, air, dan panas bumi. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang luar biasa besar:

- Panas Bumi: potensi terbesar di dunia (sekitar 24 GW).
- Tenaga Surya: potensi hingga 3.200 GW (karena kita di garis khatulistiwa).
- Tenaga Air: puluhan ribu sungai yang bisa dimanfaatkan.
- Tenaga Angin: di beberapa wilayah pesisir dan dataran tinggi.

Jika kita bisa memanfaatkan potensi ini, Indonesia tidak hanya akan mandiri energi, tetapi bisa menjadi eksportir energi bersih ke negara-negara tetangga. Bayangkan, kita tidak perlu lagi mengimpor minyak, tetapi justru menjual listrik hijau ke Singapura atau Malaysia!

6.5 Masa Depan Cerah dengan Teknologi Cerdas

Jika kita berhasil memanfaatkan peluang digitalisasi dan energi hijau, masa depan Indonesia akan sangat cerah. Kita akan memasuki era di mana AIoT (gabungan AI dan IoT), ekosistem energi cerdas, dan kota pintar menjadi kenyataan sehari-hari.

AIoT: Mata, Telinga, dan Otak Teknologi

Seperti yang sudah dibahas di bab sebelumnya, AIoT menggabungkan kemampuan sensor untuk merasakan dunia (IoT) dengan kemampuan AI untuk menganalisis dan memutuskan. Di masa depan, semua perangkat akan terhubung dan "pintar".

Ekosistem Energi Cerdas

Ini adalah sistem di mana pembangkit listrik, jaringan listrik, baterai penyimpanan, dan konsumen (rumah tangga, pabrik, kendaraan listrik) saling terhubung dan berkomunikasi. AI akan mengatur semuanya secara otomatis

untuk memastikan listrik tersedia kapan dibutuhkan, dengan biaya paling murah, dan ramah lingkungan.



Gambar 6.5 Konsep Kota Cerdas Masa Depan

6.6 Mahasiswa: Agen Perubahan atau Penonton?

Kota Pintar (Smart City)

Kota di masa depan tidak hanya memiliki gedung tinggi dan jalan lebar, tetapi juga "cerdas". Lalu lintas diatur otomatis, sampah dikelola dengan sensor, dan layanan publik bisa diakses dari ponsel. Indonesia sedang membangun Ibu Kota Nusantara (IKN) sebagai percontohan kota cerdas pertama di Indonesia.

Semua ini membutuhkan insinyur elektro yang andal. Mereka adalah arsitek di balik semua sistem ini—yang merancang sensor, menulis kode AI, dan membangun jaringan komunikasi.



Gambar 6.6 Ilustrasi Temuan baru dan Proyek Inovasi

Apa yang bisa dilakukan sekarang?

1. Belajar dengan Serius: kuasai dasar-dasar teknik elektro, pemrograman, dan AI. Jangan hanya sekadar lulus, tetapi benar-benar paham.
2. Ikut Proyek dan Kompetisi: banyak kompetisi robotika, IoT, dan AI yang bisa diikuti. Ini adalah ajang untuk mengasah kemampuan dan menunjukkan karya.
3. Magang di Industri: jangan hanya di kampus. Lihat bagaimana teknologi bekerja di dunia nyata. Belajar dari para praktisi.
4. Menciptakan Startup: jika punya ide, wujudkan! Banyak startup teknologi lahir dari kampus.
5. Menjadi Relawan Pengajar: sebarkan ilmu kepada adik-adik di sekolah atau masyarakat umum. Semakin banyak orang yang paham teknologi, semakin kuat bangsa kita.

Pesan untuk pembaca: jangan hanya menjadi penonton yang pasif. Jangan hanya menjadi pengguna teknologi. Jadilah pembuat, pencipta, dan inovator. Karena masa depan Indonesia ada di tangan kalian.

6.7 Apa yang Harus Dikuasai

Untuk bisa berperan sebagai agen perubahan maka perlu menguasai seperangkat keterampilan. Ini bukan hanya kemampuan teknis (hard skills), tetapi juga kemampuan sosial dan manajerial (soft skills).

Hard Skills (Kemampuan Teknis) yang Harus Dikuasai

1. Pemrograman: Zaman sekarang tidak bisa hanya mengandalkan perhitungan manual. Mereka harus bisa menulis kode. Bahasa pemrograman yang paling penting adalah Python (untuk AI dan analisis data) dan C/C++ (untuk pemrograman mikrokontroler dan sistem tertanam).
2. Mikrokontroler dan Embedded System: kemampuan menggunakan board seperti ESP32, Arduino, dan STM32 adalah wajib. Pemahaman terhadap data dari sensor, memprosesnya, dan menggerakkan aktuator (motor, relai, lampu).
3. Sensor dan Aktuator: pahami berbagai jenis sensor—suhu, arus, gas, jarak, dan lain-lain. Pahami juga bagaimana cara mengendalikan motor, katup, dan perangkat lainnya.
4. Kecerdasan Buatan (AI) dan Machine Learning: ini adalah keterampilan yang sangat dicari. Pembaca perlu paham bagaimana melatih model AI, melakukan prediksi, dan mendeteksi anomali.
5. Jaringan Komunikasi: pahami protokol komunikasi seperti WiFi, Bluetooth, LoRa, MQTT, dan TCP/IP.
6. Sistem Tenaga Listrik: pahami dasar-dasar pembangkit, transmisi, distribusi, dan smart grid.



Gambar 6.7 Keterampilan Insinyur Elektro

Soft Skills (Kemampuan Pendukung) yang Tak Kalah Penting

1. Kerja Tim: proyek teknologi jarang dikerjakan sendirian. Peneliti harus bisa bekerja sama, berkomunikasi, dan saling mendukung dalam tim.
2. Manajemen Proyek: paham cara merencanakan, menjadwalkan, dan mengelola sumber daya untuk menyelesaikan proyek tepat waktu dan sesuai anggaran.
3. Pemikiran Kritis: tidak mudah percaya pada informasi; mampu menganalisis masalah, mencari akar penyebab, dan menemukan solusi kreatif.
4. Komunikasi: mampu menjelaskan ide-ide teknis kepada orang non-teknis dengan bahasa yang sederhana dan jelas.
5. Kemampuan Belajar Mandiri: teknologi berubah sangat cepat. Peneliti harus terbiasa belajar hal-hal baru secara mandiri, tidak hanya menunggu dosen mengajar.

6.8 Kesimpulan: Menguasai Teknologi untuk Kedaulatan Bangsa

Di abad ke-20, kedaulatan suatu bangsa ditentukan oleh kekuatan militernya dan luas wilayahnya. Di abad ke-21, definisi itu telah berubah. Kedaulatan di era modern adalah kedaulatan teknologi.

Sejarah telah membuktikan: negara-negara yang menguasai teknologi seperti Amerika Serikat, Jerman, Jepang, Korea Selatan, dan kini Tiongkok adalah negara-negara yang disegani dan memiliki pengaruh besar di dunia. Mereka tidak hanya kaya, tetapi juga mampu menentukan arah peradaban manusia.

Sebaliknya, negara-negara yang hanya menjadi pasar bagi teknologi asing akan terus berada dalam posisi yang lemah. Mereka akan terus bergantung pada negara lain untuk mesin, obat-obatan, chip, bahkan makanan. Mereka akan selalu menjadi "peminjam" di peradaban sendiri.

Indonesia memiliki pilihan:

1. Terus menjadi pasar: kita akan terus mengimpor teknologi, terus mengalirkan uang ke luar negeri, dan terus menjadi negara yang kurang disegani. Generasi muda kita akan menjadi "pemakai" yang pasif.
2. Bangkit menjadi produsen: kita akan mulai mengembangkan teknologi sendiri. Kita akan memproduksi chip sendiri, membuat perangkat lunak sendiri, dan menjadi pemain penting di dunia. Generasi muda kita akan menjadi "pencipta" yang aktif dan disegani.

Ini bukan mimpi. Ini adalah pilihan nyata yang harus kita ambil.

Semuanya dimulai dari dunia pendidikan, dari metode belajar dengan penuh dedikasi, dan dari para peneliti yang belajar dengan sungguh-sungguh. Semuanya dimulai dari kebijakan pemerintah yang mendukung riset dan industri lokal. Dan semuanya dimulai dari kesadaran kita semua bahwa

menguasai teknologi adalah harga mati untuk menjadi bangsa yang merdeka dan bermartabat.

BAB 7
PENUTUP

Setelah menyelami perjalanan panjang dari geopolitik global, persaingan teknologi, peran strategis Teknik Elektro, hingga peluang dan tantangan Indonesia, kini tiba saatnya kita menarik benang merah dari semua pembahasan. Bab penutup ini bukan sekadar rangkuman, tetapi sebuah refleksi mendalam tentang di mana posisi kita saat ini dan ke mana arah yang harus kita tuju.

7.1 Penutup: Dunia Telah Berubah, Indonesia Harus Bergerak

Perubahan tatanan dunia pada abad ke-21 terjadi dengan kecepatan yang belum pernah kita saksikan sebelumnya. Jika pada abad ke-20 kekuatan sebuah bangsa diukur dari jumlah tentara, luas wilayah, dan cadangan minyaknya, maka hari ini ukuran itu telah bergeser secara fundamental.

Kekuatan kini diukur dari:

1. Penguasaan Teknologi: negara yang menguasai kecerdasan buatan, semikonduktor, dan komputasi kuantum memiliki pengaruh yang jauh melampaui ukuran geografisnya.
2. Kemampuan Mengelola Data: data adalah "minyak baru" abad ke-21. Negara yang memiliki data dan kemampuan menganalisisnya memiliki keunggulan kompetitif yang luar biasa.
3. Ketahanan Energi: negara yang mampu memenuhi kebutuhan energinya sendiri tidak akan mudah diintervensi oleh kekuatan asing.
4. Inovasi Berkelanjutan: kemampuan untuk terus menciptakan hal-hal baru, bukan hanya mengadopsi dari luar, adalah kunci untuk tetap relevan.

Apa artinya bagi Indonesia? Indonesia saat ini sedang berdiri di atas fondasi yang kuat, tetapi juga menghadapi tantangan yang tidak ringan. Kita memiliki:

- Kekayaan alam yang melimpah, terutama nikel, timah, dan potensi energi terbarukan.
- Bonus demografi dengan populasi usia produktif yang besar.
- Posisi geografis yang sangat strategis di jalur perdagangan dunia.

Namun, semua potensi itu akan sia-sia jika kita tidak memiliki:

- SDM yang kompeten untuk mengelola dan mengembangkan teknologi.
- Infrastruktur digital yang merata dan andal.
- Ekosistem riset dan inovasi yang mampu mengubah ide menjadi produk nyata.

Pesan utama dari buku ini: perjalanan Indonesia menuju kemandirian teknologi bukanlah proyek yang bisa selesai dalam satu atau dua periode pemerintahan. Ini adalah proyek peradaban yang membutuhkan komitmen dari seluruh elemen bangsa—pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat. Namun, perjalanan harus dimulai. Dan dimulai dari sekarang.

Teknologi telah mengubah peta kekuatan dunia. Indonesia harus siap.

7.2 Refleksi Masa Depan Teknologi Indonesia

Mari kita tutup mata sejenak dan bayangkan Indonesia pada tahun 2045, saat genap berusia 100 tahun. Apa yang kita lihat?

Skenario Optimis: Indonesia Emas 2045

1. Kemandirian Energi: Indonesia telah berhasil mengubah sumber daya alamnya menjadi kekuatan energi. Pembangkit listrik berbasis panas bumi, tenaga surya, dan tenaga air telah menggantikan batu bara. Desa-desa terpencil menikmati listrik dari microgrid berbasis energi

terbarukan. Indonesia tidak hanya mandiri energi, tetapi menjadi eksportir energi bersih ke Asia Tenggara.

2. Kedaulatan Teknologi: industri semikonduktor nasional telah tumbuh. Meskipun belum memproduksi chip tercanggih, Indonesia telah menguasai desain chip, pengemasan, dan embedded system. Startup-startup teknologi Indonesia tidak hanya melayani pasar domestik, tetapi telah menjadi pemain regional.
3. Pendidikan Berkualitas: kurikulum STEM telah diperkuat sejak pendidikan dasar. Setiap anak di Indonesia, dari Sabang sampai Merauke, memiliki akses ke pendidikan teknologi yang berkualitas. Kolaborasi antara kampus dan industri menjadi hal yang lumrah.
4. Infrastruktur Digital Merata: internet berkecepatan tinggi telah menjangkau seluruh desa. Pusat data nasional dan cloud computing Indonesia telah menjadi tulang punggung ekonomi digital. Keamanan siber nasional tangguh dan teruji.
5. Kota Cerdas Berkelanjutan: Ibu Kota Nusantara (IKN) telah menjadi model kota cerdas dunia. Kota-kota besar lainnya di Indonesia mengikuti jejak yang sama. Transportasi publik berbasis listrik, pengelolaan sampah cerdas, dan layanan publik digital menjadi standar.

Apa syarat untuk mencapai itu semua?

1. Investasi Besar dalam Pendidikan: tidak cukup hanya membangun gedung sekolah. Kita harus meningkatkan kualitas guru, memperbarui kurikulum, dan menyediakan fasilitas laboratorium yang memadai. Pendidikan vokasi dan politeknik harus diperkuat untuk menghasilkan teknisi yang terampil.
2. Pendanaan Riset yang Serius: negara-negara maju mengalokasikan 2–3% dari PDB mereka untuk riset dan pengembangan (R&D). Indonesia masih di bawah 1%. Ini harus diubah. Dana riset harus

dialokasikan secara kompetitif dan hasilnya harus bisa dihilirisasi menjadi produk.

3. Kolaborasi Triple Helix yang Kuat: pemerintah, perguruan tinggi, dan industri harus duduk bersama dan bekerja sama. Kebijakan harus mendukung, riset harus relevan dengan kebutuhan industri, dan industri harus siap mengadopsi inovasi dari kampus.
4. Kesadaran dan Partisipasi Publik: masyarakat harus paham bahwa kemandirian teknologi adalah kepentingan bersama. Dukungan terhadap produk lokal, kesediaan untuk belajar hal-hal baru, dan kepedulian terhadap keamanan digital adalah bagian dari perjuangan bersama.



Gambar 7.1 Ilustrasi Indonesia Emas 2045

Peringatan: jika kita gagal berinvestasi pada pendidikan, riset, dan infrastruktur, Indonesia akan terus menjadi "pasar" bagi produk-produk asing. Kita akan terus mengimpor teknologi, terus mengalirkan uang ke luar negeri, dan terus menjadi negara yang kurang disegani. Bonus demografi yang seharusnya menjadi anugerah, akan menjadi bencana jika angkatan kerja tidak memiliki keterampilan yang dibutuhkan.

7.3 Pesan Penutup: Mari Bergerak Bersama

Buku ini telah membawa kita menyelami dunia yang kompleks: geopolitik global yang saling terkait, persaingan teknologi yang semakin sengit, dan peran strategis Teknik Elektro sebagai fondasi peradaban modern. Kita telah melihat bagaimana IoT dan AI dapat mengubah cara kita mengelola energi, meningkatkan keselamatan, dan membangun masa depan yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

Namun, buku ini hanyalah awal. Pengetahuan tanpa tindakan adalah sia-sia, dan kata-kata tanpa perbuatan adalah hampa. Perjalanan Indonesia menuju kemandirian teknologi adalah perjalanan bersama—pengambil kebijakan yang berani memihak pada riset dan inovasi, akademisi yang membawa hasil risetnya keluar dari rak jurnal menuju kehidupan nyata, pelaku industri yang berani berinvestasi dan mempercayai talenta lokal, penelitian, pembelajaran dan keinginan untuk bermimpi besar, hingga masyarakat luas yang terus mau mendukung karya anak bangsa. Setiap peran ini saling melengkapi, dan tidak ada peran yang terlalu kecil untuk berkontribusi.

Perjalanan seribu mil dimulai dengan satu langkah. Kemandirian teknologi Indonesia adalah perjalanan panjang yang membutuhkan kesabaran, ketekunan, dan kerja keras. Tidak ada jalan pintas. Namun, setiap langkah kecil—setiap anak yang diajarkan coding, setiap dosen yang melakukan riset terapan, setiap perusahaan yang mengadopsi teknologi lokal, dan setiap kebijakan yang mendukung inovasi—adalah batu bata yang membangun pondasi masa depan.

Mari kita bangun bersama. Untuk anak cucu kita. Untuk kejayaan bangsa. Untuk Indonesia yang berdaulat, maju, dan disegani di dunia.

Merdeka dalam teknologi. Berdaulat dalam inovasi. Indonesia Emas 2045.

DAFTAR PUSTAKA

Ainvest. (2025). Global semiconductor industry analysis.

Ainvest. (2025, 20 November). Geopolitical risks reshaping global chip supply chains: How U.S.–China tech decoupling and espionage concerns impact semiconductor investment and R&D strategies. https://www.ainvest.com/

Advancements in Smart Grids. (2025). Advancements in smart grids: Harnessing AI, IoT, and 5G integration for sustainable energy management [Makalah konferensi]. IEEE Xplore. https://ieeexplore.ieee.org/document/10881213/

Badan Siber dan Sandi Negara. (2024). Laporan Insiden Siber Nasional Tahun 2024.

Badan Siber dan Sandi Negara. (2024, 25 Juni). BSSN identifikasi Pusat Data Nasional Sementara diserang ransomware. https://www.bssn.go.id/

Balamurugan, S., Narayanan, K., Raghu, N., Arjun Kumar, & Trupti. (2025). Role of artificial intelligence in smart grid – A mini review. Frontiers in Artificial Intelligence, 8, 1551661. https://doi.org/10.3389/frai.2025.1551661

Berca Hardayaperkasa. (2024, 3 Juli). Kronologi serangan ransomware pada Pusat Data Nasional Sementara (PDNS). https://www.berca.co.id/

Flint, C. (2016). Introduction to geopolitics (3rd ed.). Routledge.

Geopolitical Monitor. (2026, 29 Januari). East Asia semiconductors will decide the next US–China arms race. https://www.geopoliticalmonitor.com/

Introducing AI-Driven IoT Energy Management Framework. (2025). Introducing AI-driven IoT energy management framework [Preprint]. arXiv. https://arxiv.org/abs/2512.00321

IT Proxsis Group. (2025, 3 Juli). Tren ancaman siber di Indonesia meningkat? Berikut fakta yang harus diketahui. https://it.proxsisgroup.com/

Jurnal Mahasiswa. (2024). Studi kasus serangan ransomware Brain Cipher pada Pusat Data Nasional Sementara. https://ojs.jurnalmahasiswa.com/

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024). Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024a). Buka IIGCE 2024, Presiden Jokowi minta percepatan perizinan panas bumi. https://www.esdm.go.id/

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024b). Panas bumi jadi andalan capaian bauran EBT hingga akhir 2024. https://www.esdm.go.id/

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2025). Rencana Strategis Sektor Energi Nasional.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2025). Kinerja sektor ESDM 2024: Lampaui target, penuhi kebutuhan domestik, dan tingkatkan ketahanan energi (Siaran Pers No. 008.Pers/04/SJI/2025). https://www.esdm.go.id/

Kementerian Luar Negeri Republik Indonesia. (2023). Politik luar negeri Indonesia bebas aktif dalam dinamika global. https://kemlu.go.id/

Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2020). Making Indonesia 4.0: Strategi nasional menuju industri 4.0. https://kemenperin.go.id/

KIME FEB UNNES. (2024, Mei). Optimalkan energi terbarukan: Kunci Indonesia lepas dari ketergantungan impor minyak menuju Indonesia Emas 2045. https://sites.unnes.ac.id/kimefe/

Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2017). Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach (2nd ed.). MIT Press.

Mackinder, H. J. (1904). The geographical pivot of history. The Geographical Journal, 23(4), 421–437.

McKinsey Global Institute. (2018). Notes from the AI frontier: Modeling the impact of AI on the world economy. McKinsey & Company.

Miller, C. (2022). Chip war: The fight for the world's most critical technology. Scribner.

Nye, J. S. (2004). Soft power: The means to success in world politics. PublicAffairs.

Ogata, K. (2010). Modern control engineering (5th ed.). Prentice Hall.

Omdia. (2025, September). The great decoupling: How geopolitics is reshaping semiconductor supply chains. https://omdia.tech.informa.com/

Oxford Journal. (2025, 22 September). Global trade governance and the U.S.–China strategic rivalry: Tariffs, currency competition and semiconductors. https://www.oxjournal.org/

PT PLN (Persero). (2024). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025–2034. PT PLN (Persero).

Rappaport, T. S. (2024). Wireless communications: Principles and practice (3rd ed.). Cambridge University Press.

Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.). Pearson.

Sarma, M. S. (2024). Introduction to electrical engineering. Oxford University Press.

Schwab, K. (2016). The fourth industrial revolution. World Economic Forum.

Shakdwipee, A., & Xu, L. (2024). Semiconductor competition between the United States and China.

Shakdwipee, M., & Xu, W. (2024, 8 Januari). US–China tech rivalry: The geopolitics of semiconductors. Manohar Parrikar Institute for Defence Studies and Analyses (MP-IDSA). https://idsa.in/

Sheehan, M. (2022, 27 Oktober). Biden's unprecedented semiconductor bet. Carnegie Endowment for International Peace.

Silicon Semiconductor. (2024). The geopolitics of the semiconductor industry: Navigating a global power struggle. https://siliconsemiconductor.net/

Spykman, N. J. (1944). The geography of the peace. Harcourt, Brace and Company.

Tabassum, S., Vijay Babu, A. R., & Dheer, D. K. (2024). A comprehensive exploration of IoT-enabled smart grid systems: Power quality issues, solutions, and challenges. Science and Technology for Energy Transition (STET). https://www.stet-review.org/

Tuathail, G. Ó. (1996). Critical geopolitics: The politics of writing global space. University of Minnesota Press.

UNESCO. (2021). UNESCO science report: The race against time for smarter development. UNESCO Publishing.

World Economic Forum. (2024). The future of jobs report.

World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences. (2025). Edge computing and AI in smart infrastructure.

World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences. (2025). Advances in AI-powered energy management systems for renewable-integrated smart grids. World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences, 15(2), 2300–2325.

Zhou, Y., et al. (2024). AI, IoT, and big data-enabled EMS for renewable microgrids: Improving reliability and reducing costs. Journal of Energy Storage, 58, 103225. https://doi.org/10.1016/j.est.2024.103225

Zuboff, S. (2019). The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power. PublicAffairs.

TEKNIK ELEKTRO
DALAM PETA
GEOPOLITIK TEKNOLOGI GLOBAL



UWIKA
PUSTAKA KARTIKA

Penerbit Pustaka Kartika
Jl. Sutorejo Prima Utara II/1, Surabaya 60113
Telp. (031) - 5922403 / 5926359
Email: perpustakaan@widyakartika.ac.id

ISBN 978-634-97433-0-3 (PDF)
9 786349 743303