



Modul

2026

**PENYULUHAN TEKNOLOGI INFORMASI UNTUK MEMBENTUK
KAMPUNG HIJAU MELALUI PEMBERDAYAAN SANITASI
BERKELANJUTAN BAGI KADER POSYANDU MAWAR A RW 13
KELURAHAN SUKASARI
TANGERANG BANTEN**

oleh:

AJI SUDIBYO, M.KOM (0428058707)

LUTHFI INDRIYANI, M.KOM (0310039302)

ANDRONIAS SIREGAR, M.KOM (0320109201)

SOPYAN, SE, MM (0314057004)



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	2
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	4
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Pembelajaran	5
1.4 Manfaat Pembelajaran	5
 BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Konsep Dasar Lingkungan Hijau	6
2.2 Definisi Green Computing	6
2.3 Sejarah dan Perkembangan Green IT.....	8
2.4 Kerangka Kerja (Framework) Green IT (FIT Framework).....	10
 BAB III IMPLEMENTASI TI HIJAU DARI INFRASTRUKTUR HINGGA PERANGKAT LUNAK	
3.1 Green Hardware (Perangkat Keras)	11
3.2 Green Data Center.....	14
3.3 Virtualisasi dan Cloud Computing	14
3.4 Green Software dan Pengkodean Efisien	14
 BAB IV PERAN TI DALAM MONITORING DAN PENGENDALIAN LINGKUNGAN	
4.1 Internet of Things (IoT) Untuk Lingkungan	19
4.2 Smart Grid dan Manajemen Energi.....	19
4.3 Smart City dan Transportasi Cerdas	21
4.4 Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Lingkungan.....	22

BAB V TANTANGAN, STRATEGI, DAN STUDI KASUS

5.1 Tangtangan Adopsi Teknologi Hijau.....	25
5.2 Strategi Pengurangan Jejak Karbon Digital (E-Waste & Konsumsi Energi)	25
5.3 Studi Kasus: Implementasi Green IT di Perusahaan Multinasional.....	25
5.4 Studi Kasus: Smart City di Indonesia	26

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan	27
6.2 Saran.....	27

DAFTAR PUSTAKA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan Teknologi Informasi (TI) yang sangat pesat dalam dua dekade terakhir telah membawa perubahan besar bagi peradaban manusia. Namun, di balik kemudahan dan efisiensi yang ditawarkan, industri TI juga memberikan kontribusi signifikan terhadap kerusakan lingkungan. Menurut studi global, emisi karbon yang dihasilkan oleh industri TI setara dengan industri penerbangan. Konsumsi energi oleh pusat data (data center), limbah elektronik (e-waste), serta penggunaan bahan kimia berbahaya dalam perangkat keras menjadi isu kritis yang harus dihadapi.

Paradigma "Lingkungan Hijau" atau Green Environment muncul sebagai respons terhadap krisis iklim. Green Computing atau Green TI adalah pendekatan yang bertujuan memanfaatkan teknologi informasi secara bertanggung jawab terhadap lingkungan, mulai dari perancangan, produksi, penggunaan, hingga pembuangan. Pemanfaatan TI tidak hanya harus berfokus pada "menghijaukan" TI itu sendiri (misalnya mengurangi konsumsi listrik komputer), tetapi juga bagaimana TI dapat menjadi enabler (pemicu) penghijauan di sektor lain, seperti transportasi, manajemen energi, dan pertanian.

Modul ini disusun untuk membahas secara mendalam bagaimana pemanfaatan teknologi informasi dapat membentuk dan mendukung lingkungan yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam modul ini adalah:

1. Apa yang dimaksud dengan Green Computing dan apa urgensinya di era digital?
2. Bagaimana implementasi teknologi hijau pada infrastruktur TI (Hardware, Data Center, Software)?
3. Bagaimana peranan TI sebagai pemantau dan pengendali lingkungan (IoT, Smart Grid)?
4. Apa saja tantangan dan strategi dalam mewujudkan lingkungan hijau berbasis TI?

1.3 Tujuan Pembelajaran

Tujuan dari pembelajaran modul ini adalah:

1. Mahasiswa/peserta mampu menjelaskan konsep dasar Green Computing dan Sustainability.
2. Mahasiswa mampu mengidentifikasi aspek-aspek energi efisien dalam penggunaan perangkat TI.
3. Mahasiswa memahami penerapan IoT dan Smart System untuk manajemen lingkungan.
4. Mahasiswa mampu menganalisis studi kasus pemanfaatan TI untuk mengurangi emisi karbon.

1.4 Manfaat Pembelajaran

Manfaat yang diharapkan:

1. Menambah wawasan akademik mengenai hubungan antara teknologi dan lingkungan.
2. Menjadi dasar dalam merancang sistem informasi yang ramah lingkungan.
3. Mendorong kesadaran pribadi dalam penggunaan gadget dan teknologi sehari-hari.

BAB II

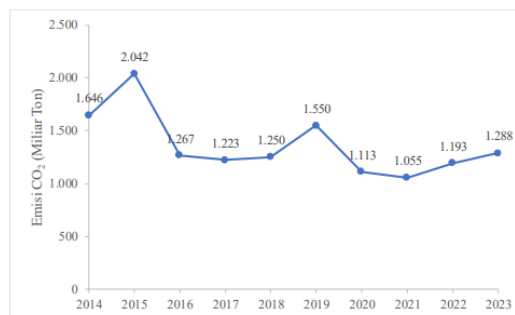
LANDASAN TEORI LINGKUNGAN HIJAU DAN TI

2.1 Konsep Dasar Lingkungan Hijau (Sustainability)

Keberlanjutan atau Sustainability didefinisikan sebagai kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan suatu sistem tertentu. Dalam konteks lingkungan, merujuk pada Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development) yang didefinisikan dalam Brundtland Report (1987) sebagai "pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka".

Tiga pilar utama keberlanjutan (Triple Bottom Line) menurut Elkington (1997):

1. People (Sosial): Keadilan dan kesejahteraan masyarakat.
2. Planet (Lingkungan): Pelestarian ekosistem dan keanekaragaman hayati.
3. Profit (Ekonomi): Pertumbuhan ekonomi yang etis.



Sumber : *Our World in Data*, 2024

Gambar 2.1 Data Emisi CO² Indonesia Tahun 2014-2023

2.2 Definisi Green Computing (TI Hijau)

Green Computing adalah studi dan praktik desain, manufaktur, penggunaan, dan pembuangan perangkat komputer, server, dan sistem terkait (seperti monitor, printer, perangkat penyimpanan, dan sistem komunikasi dan jaringan) secara efisien dan efektif dengan dampak minimal terhadap lingkungan (Murugesan, 2008).

Tujuannya meliputi:

- Mengurangi penggunaan bahan berbahaya.
- Maksimalisasi efisiensi energi selama masa pakai produk.
- Mempromosikan daur ulang limbah industri dan produk elektronik.

Dengan menerapkan Green IT, perusahaan dapat mengurangi emisi karbon, menghemat energi, dan mengurangi limbah elektronik. Teknologi ini juga memberikan kesempatan untuk mengembangkan solusi inovatif yang mendukung pertumbuhan berkelanjutan tanpa merusak lingkungan. Beberapa contoh praktik Green IT meliputi penggunaan server virtual untuk mengurangi jumlah server fisik yang dibutuhkan, daur ulang perangkat keras komputer, pengoptimalan pengaturan printer untuk mengurangi penggunaan kertas, dan menggunakan lampu hemat energi di pusat data.

Dengan mengadopsi Green IT, perusahaan dapat tidak hanya mengurangi biaya operasional jangka panjang tetapi juga berkontribusi pada pelestarian lingkungan untuk generasi mendatang. GreenTech dan Green IT adalah langkah positif menuju masa depan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Green IT adalah pendekatan dalam penggunaan teknologi informasi yang bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Konsep ini mencakup praktik seperti penggunaan energi efisien, daur ulang perangkat elektronik, dan pengembangan infrastruktur yang ramah lingkungan.

Salah satu manfaat utamanya adalah pengurangan emisi karbon. Dengan menggunakan perangkat keras yang lebih efisien secara energi dan mengoptimalkan pusat data, perusahaan dapat mengurangi jejak karbon mereka. Selain itu, juga dapat mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan, menghasilkan penghematan biaya jangka panjang.

Selain manfaat lingkungan, Green IT juga dapat meningkatkan citra perusahaan. Perusahaan yang peduli terhadap lingkungan cenderung lebih diminati oleh konsumen yang semakin sadar akan isu-isu lingkungan. Dengan menerapkan Green IT, perusahaan dapat menunjukkan komitmen mereka terhadap keberlanjutan. Dengan semakin banyak perusahaan yang beralih ke Green IT, harapan akan terciptanya dunia yang lebih berkelanjutan semakin besar. Green IT bukan hanya tentang teknologi, tetapi juga tentang perubahan perilaku dan kesadaran akan lingkungan.

2.3 Sejarah dan Perkembangan Green IT

Gerakan Green Computing dimulai secara serius pada tahun 1992 ketika U.S. Environmental Protection Agency (EPA) meluncurkan Energy Star, program pelabelan sukarela yang dirancang untuk mempromosikan efisiensi energi di monitor perangkat keras. Pada tahun 2006, kelompok lingkungan Greenpeace mulai menerbitkan Guide to Greener Electronics yang menilai produsen elektronik berdasarkan kebijakan lingkungan mereka.

Green IT mencerminkan praktik-praktik ramah lingkungan dalam industri teknologi. Peran Green IT semakin penting dalam menangani dampak lingkungan dari perkembangan teknologi. Dengan menerapkan konsep ini, perusahaan dapat mengurangi jejak karbon mereka dan menghemat sumber daya alam yang berharga.

Salah satu manfaat Green IT adalah penghematan energi. Dengan menggunakan teknologi yang lebih efisien, perusahaan dapat mengurangi konsumsi energi mereka, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan menurunkan biaya operasional. Selain itu, Green IT juga mendorong inovasi dalam pengembangan teknologi ramah lingkungan, seperti penggunaan energi terbarukan dan daur ulang komponen elektronik.

Dengan fokus pada Green IT, industri teknologi dapat mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Langkah-langkah sederhana seperti pengelolaan limbah elektronik yang baik dan investasi dalam perangkat hemat energi dapat membawa perubahan positif yang signifikan. Green IT bukan hanya tentang teknologi, tetapi juga tentang tanggung jawab sosial dan lingkungan perusahaan dalam menjalankan bisnis mereka.

Konsep Green IT atau Green Information Technology merupakan pendekatan strategis dalam penggunaan teknologi informasi yang bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, meningkatkan efisiensi energi, serta mendorong keberlanjutan operasional. Pendekatan ini mencakup keseluruhan siklus hidup teknologi informasi, mulai dari perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, pengelolaan pusat data, hingga pengelolaan limbah elektronik setelah masa pakainya berakhir.

Salah satu penerapan utama dari konsep ini adalah green data center, yaitu pengelolaan pusat data yang dirancang agar efisien dan ramah lingkungan. Penerapan dilakukan melalui penggunaan server hemat energi, sistem pendinginan dengan efisiensi tinggi, virtualisasi

server, serta pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin. Strategi ini bertujuan untuk mengurangi konsumsi daya listrik dan menekan emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas pengolahan data berskala besar.

Selain itu, terdapat pula konsep green hardware, yaitu perancangan perangkat keras dengan memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan. Perangkat keras dikembangkan agar lebih hemat energi, mudah diperbaiki atau ditingkatkan, serta menggunakan bahan yang aman dan dapat didaur ulang. Pendekatan ini membantu memperpanjang umur perangkat dan mengurangi jumlah limbah elektronik (e-waste).

Dalam ranah perangkat lunak, green software berfokus pada pengembangan aplikasi yang efisien dalam penggunaan sumber daya komputasi. Optimalisasi kode program, algoritma yang hemat energi, serta pengelolaan sumber daya sistem dilakukan untuk meminimalkan konsumsi daya. Selain itu, pemanfaatan teknologi cloud computing juga mendukung prinsip ini, karena memungkinkan penggunaan sumber daya komputasi secara dinamis sesuai kebutuhan dan mengurangi ketergantungan terhadap infrastruktur fisik di lokasi kerja.

Aspek lain yang tidak terpisahkan dari Green IT adalah green computing, yaitu praktik penggunaan komputer dan sistem teknologi informasi secara efisien untuk meminimalkan dampak ekologisnya. Green computing mencakup desain perangkat hemat energi, penggunaan sumber daya secara optimal, penerapan sistem virtualisasi, serta pengelolaan energi yang terukur dalam aktivitas komputasi sehari-hari. Konsep ini juga menekankan tanggung jawab pengguna dalam mematikan perangkat ketika tidak digunakan, memilih peralatan dengan sertifikasi efisiensi energi, serta mendukung digitalisasi proses kerja untuk mengurangi konsumsi kertas dan sumber daya lainnya.

Selain aspek teknis, penerapan Green IT juga melibatkan Green ICT Strategies, yaitu serangkaian kebijakan dan langkah strategis yang diterapkan oleh organisasi untuk memastikan bahwa penggunaan teknologi informasi dan komunikasi selaras dengan prinsip keberlanjutan lingkungan. Strategi ini meliputi efisiensi energi di pusat data, manajemen limbah elektronik, kebijakan penggunaan perangkat hemat energi, serta pemanfaatan sistem digital yang mendukung operasional tanpa kertas (paperless system). Penerapan Green ICT Strategies membantu organisasi menurunkan jejak karbon, mengoptimalkan biaya operasional, serta meningkatkan citra sebagai entitas yang bertanggung jawab terhadap lingkungan.

Secara keseluruhan, Green IT, Green Computing, dan Green ICT Strategies merupakan tiga komponen yang saling berkaitan dalam upaya menciptakan teknologi yang efisien dan berkelanjutan. Ketiganya tidak hanya menekankan pada penghematan energi, tetapi juga menegaskan pentingnya tanggung jawab sosial dan ekologis dalam setiap tahap penggunaan teknologi informasi modern.

2.4 Kerangka Kerja (Framework) Green IT

Menurut Murugesan (2008), kerangka kerja Green IT mencakup empat jalur utama (Pathways):

1. Green Use: Menggunakan komputer dan perangkat lain secara hemat energi (misal: fitur sleep mode).
2. Green Disposal: Mendaur ulang atau membuang sampah elektronik dengan benar tanpa mencemari lingkungan.
3. Green Design: Mendesain perangkat keras dan perangkat lunak yang hemat energi dan ramah lingkungan.
4. Green Manufacturing: Proses manufaktur yang meminimalkan limbah dan emisi karbon.

Tabel 2.1 Perbandingan *Framework*

<i>Framework</i>	<i>Dimensi</i>	<i>Kelebihan</i>	<i>Kekurangan</i>
<i>Salles et al. (2022)</i>	Strategis, Taktis, Operasional	Komprehensif, menekankan kebijakan organisasi	Tidak spesifik untuk negara berkembang
<i>Cordero et al. (2022)</i>	Lingkungan, Teknologi, Manajemen	Fokus pada pengelolaan energi	Kurang mempertimbangkan kebijakan lokal
<i>Framework yang diusulkan</i>	Manajemen energi, e-waste, kebijakan, teknologi, edukasi	Disesuaikan dengan kondisi Indonesia, lebih praktis	Perlu validasi lebih lanjut di berbagai sektor

BAB III

IMPLEMENTASI TI HIJAU DARI INFRASTRUKTUR HINGGA PERANGKAT LUNAK

3.1 Green Hardware (Perangkat Keras)

Green Hardware (Perangkat Keras Hijau) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan perangkat keras komputer dan teknologi informasi yang dirancang, diproduksi, digunakan, dan dibuang dengan cara yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Konsep ini merupakan bagian penting dari Green Computing atau ICT Sustainability, yang bertujuan untuk mengurangi jejak karbon industri teknologi serta penggunaan sumber daya alam yang berlebihan.

Berikut adalah penjelasan rinci mengenai Green Hardware:

A. Aspek Utama Green Hardware

Green hardware tidak hanya tentang satu hal, tetapi mencakup seluruh siklus hidup produk, yaitu:

- **Efisiensi Energi (Penggunaan):** Ini adalah aspek yang paling terlihat. Perangkat harus menggunakan sedikit listrik saat beroperasi. Contohnya adalah laptop atau monitor yang memiliki sertifikasi hemat energi.
- **Desain dan Manufaktur (Produksi):** Proses pembuatannya harus meminimalkan penggunaan bahan kimia berbahaya, mengurangi limbah pabrik, dan menggunakan bahan yang dapat didaur ulang (recyclable).
- **Manajemen Akhir Hidup (Pembuangan):** Ketika perangkat sudah tidak terpakai (e-waste), komponennya harus mudah dipisahkan untuk didaur ulang dan tidak mencemari tanah dengan bahan beracun.

B. Ciri-ciri Green Hardware

Untuk dikategorikan sebagai "hijau", sebuah perangkat keras biasanya memiliki ciri-ciri berikut:

- **Konsumsi Daya Rendah:** Menggunakan prosesor atau komponen yang membutuhkan daya listrik lebih kecil namun tetap bertenaga.
- **Tanpa Bahan Berbahaya:** Bebas dari bahan-bahan beracun seperti timah (lead), merkuri, kadmium, dan bahan pemantang api (flame retardants) tertentu yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan.
- **Penggunaan Material Daur Ulang:** Casing atau komponen internal terbuat dari plastik atau logam daur ulang.
- **Umur Panjang (Durability):** Perangkat yang awet mengurangi frekuensi pembuangan barang elektronik.
- **Desain Modular:** Memudahkan penggantian komponen yang rusak (seperti baterai atau RAM) tanpa harus membuang seluruh perangkat.
- **Kemasan Ramah Lingkungan:** Menggunakan kardus tanpa plastik berlebih dan menggunakan tinta yang berbasis kedelai atau aman lingkungan.

C. Standarisasi dan Sertifikasi

Agar konsumen mudah mengenali produk Green Hardware, ada beberapa standar dan sertifikasi internasional:

- **Energy Star:** Sertifikasi dari pemerintah AS (diakui global) yang menandakan produk hemat energi.
- **EPEAT (Electronic Product Environmental Assessment Tool):** Sistem peringkat yang membantu pembeli mengevaluasi efek lingkungan dari produk elektronik.
- **RoHS (Restriction of Hazardous Substances):** Standar Uni Eropa yang membatasi penggunaan bahan-bahan berbahaya dalam perangkat elektronik.
- **TCO Certified:** Sertifikasi dari Swedia yang memastikan produk ramah lingkungan dan ergonomis bagi pengguna.

D. Contoh Green Hardware

- Solid State Drive (SSD): SSD lebih hemat energi daripada Hard Disk Drive (HDD) tradisional karena tidak memiliki piringan mekanis yang berputar.
- Thin Client: Komputer kecil yang bergantung pada server untuk pemrosesan. Konsumsi energinya sangat rendah (hanya sekitar 5-15 watt) dibandingkan PC desktop biasa (150-200 watt).
- Monitor LED: Menggunakan teknologi backlighting yang jauh lebih hemat energi dibanding monitor LCD tabung neon (CCFL) lama.
- Prosesor Efisiensi Tinggi: Chip modern (seperti Intel Core generasi baru, AMD Ryzen, atau chip ARM) yang memiliki fitur manajemen daya cerdas, menurunkan konsumsi energi saat komputer sedang tidak aktif.
- Solar Powered Keyboard/Mouse: Aksesori yang menggunakan tenaga surya sehingga tidak memerlukan baterai sekali pakai.

E. Manfaat Green Hardware

- Mengurangi Emisi Karbon: Penggunaan listrik yang lebih sedikit berarti pembangkit listrik bekerja lebih ringan, mengurangi emisi gas rumah kaca.
- Menghemat Biaya: Listrik yang hemat berarti tagihan utilitas bulanan yang lebih rendah bagi pengguna kantor maupun rumahan.
- Mengurangi Limbah Elektronik (E-waste): Dengan desain yang mudah didaur ulang dan umur yang panjang, penumpukan sampah elektronik di TPA bisa dikurangi.
- Kesehatan: Mengurangi paparan bahan kimia berbahaya bagi pekerja pabrik dan pengguna.

Perangkat keras adalah kontributor utama konsumsi energi. Implementasi Green Hardware meliputi:

- Reduced Power Consumption: Pengembangan prosesor yang membutuhkan daya lebih rendah (misalnya prosesor berarsitektur ARM yang efisien dibandingkan x86 untuk beban ringan).
- RoHS (Restriction of Hazardous Substances): Direktif Uni Eropa yang membatasi penggunaan bahan berbahaya seperti timah, merkuri, kadmium, dan hexavalent chromium dalam peralatan listrik dan elektronik.

- EPEAT (Electronic Product Environmental Assessment Tool): Sistem peringkat yang membantu pembeli mengevaluasi, membandingkan, dan memilih perangkat elektronik berdasarkan atribut lingkungannya.

3.2 Green Data Center

Pusat data adalah "jantung" dari industri TI modern, namun juga merupakan konsumen listrik raksasa. Strategi Green Data Center meliputi:

- Peningkatan PUE (Power Usage Effectiveness): Metrik standar untuk mengukur efisiensi energi pusat data. PUE sempurna adalah 1.0. Semakin rendah PUE, semakin efisien.
- Pendingin Udara Cerdas (Free Cooling): Menggunakan udara luar atau air dingin alami untuk mendinginkan server daripada mengandalkan AC berlistrik sepenuhnya.
- Containerized Data Centers: Menggunakan modul kontainer kapal yang sudah dipasang server untuk efisiensi pendinginan yang lebih tinggi.

3.3 Virtualisasi dan Cloud Computing

Virtualisasi memungkinkan satu server fisik menjalankan beberapa *virtual machine* (VM). Ini mengurangi jumlah server fisik yang dibutuhkan, sehingga mengurangi konsumsi listrik, kebutuhan pendingin, dan ruang fisik.

Cloud Computing: Model Public Cloud (seperti AWS, Google Cloud, Azure) seringkali lebih efisien secara karbon dibandingkan Private Data Center skala kecil karena efisiensi skala (economies of scale) dan penggunaan server yang terpusat.

3.4 Green Software dan Pengkodean Efisien

Green Software (atau Sustainable Software) adalah pendekatan dalam pengembangan perangkat lunak yang berfokus pada minimalisasi emisi karbon dan dampak lingkungan yang dihasilkan sepanjang siklus hidup perangkat lunak tersebut.

Prinsip utamanya bukan hanya tentang mengurangi penggunaan kertas atau listrik di kantor, tetapi bagaimana kode yang kita tulis memengaruhi konsumsi energi di server (pusat data), jaringan, dan perangkat pengguna. Prinsip Utama Green Software:

- Carbon Efficiency: Mengurangi jumlah energi yang dikonsumsi untuk melakukan satu unit kerja.
- Hardware Efficiency: Memastikan perangkat keras digunakan seoptimal mungkin (tidak membuang sumber daya).
- Energy Proportionality: Memahami bahwa perangkat keras mengonsumsi energi bahkan saat tidak melakukan apa-apa, dan mencoba memaksimalkan penggunaan saat perangkat menyala.
- Measurement: Anda tidak bisa memperbaiki apa yang tidak Anda ukur. Green Software mendorong pengukuran jejak karbon dari aplikasi.

Pengkodean Efisien adalah praktik menulis kode program yang menggunakan sumber daya komputasi (seperti CPU, memori, dan penyimpanan) sehemat mungkin namun tetap mempertahankan performa dan fungsionalitas yang dibutuhkan.

Jika kode "boros", komputer harus bekerja lebih keras. Jika komputer bekerja lebih keras, ia membutuhkan lebih banyak listrik. Oleh karena itu, pengkodean efisien adalah jantung dari Green Software. Aspek Utama Pengkodean Efisien:

- Kompleksitas Algoritma: Memilih algoritma yang cepat (misalnya $O(\log n)$ daripada $O(n^2)$) agar prosesor tidak perlu melakukan perhitungan jutaan kali yang sia-sia.
- Manajemen Memori: Menghindari kebocoran memori (memory leaks) dan penggunaan variabel yang berlebihan.
- Optimasi I/O: Mengurangi frekuensi akses ke hard disk atau database, karena operasi ini sering kali yang paling memakan energi.

Bayangkan hubungan keduanya seperti mesin mobil:

- Pengkodean Efisien adalah teknik mengemudi yang halus dan desain mesin yang tidak boros bensin.
- Green Software adalah tujuan utamanya: mengurangi polusi udara dan menjaga lingkungan tetap bersih.

- Kode yang efisien secara otomatis akan mengurangi konsumsi energi, yang pada akhirnya mengurangi emisi karbon (terutama jika listrik tersebut berasal dari sumber fosil).

Berikut adalah cara-cara teknis untuk membuat kode yang efisien dan ramah lingkungan:

A. Optimasi Algoritma dan Struktur Data

Menggunakan struktur data yang tepat dapat mengurangi beban pemrosesan secara drastis.

Contoh: Gunakan HashMap untuk pencarian data yang cepat daripada melakukan perulangan (loop) pada sebuah List yang sangat panjang.

B. Mengurangi Ukuran Payload (Jaringan)

Mengirim data melalui internet membutuhkan energi di server, router, dan menara seluler.

Strategi: Kompresi data (misalnya menggunakan Gzip atau Brotli), menggunakan format data ringan (JSON lebih ringan dari XML, protobuf lebih ringan dari JSON), dan mengoptimalkan gambar.

C. Carbon Awareness (Kesadaran Karbon)

Ini adalah konsep unik dalam Green Software. Aplikasi didesain untuk "tahu" kapan listrik di suatu wilayah paling bersih (misalnya banyak angin/surya).

Strategi: Menjadwalkan tugas-tugas berat (seperti batch processing atau backup) pada malam hari atau saat intensitas karbon grid rendah, bukan pada jam sibuk saat pembangkit listrik batu bara bekerja penuh.

D. Menghindari "Polling" yang Konstan

Polling adalah saat aplikasi terus-menerus bertanya ke server, "Ada data baru belum? Ada belum?" setiap detik. Ini membuang CPU dan jaringan.

Strategi: Gunakan WebSockets atau Server-Sent Events (push notification) di mana server hanya mengirim data jika memang ada yang baru, sehingga klien tidak perlu "mengganggu" server terus-menerus.

E. Pemilihan Bahasa Pemrograman

Beberapa bahasa pemrograman lebih hemat energi daripada yang lain.

Fakta: Bahasa yang dikompilasi seperti Rust, C++, dan Go umumnya jauh lebih hemat energi daripada bahasa yang diinterpretasi (seperti Python atau Ruby) untuk tugas-tugas berat. Namun, jika efisiensi pengembangan (waktu developer) menjadi prioritas utama, bahasa seperti Python masih bisa digunakan dengan mengoptimalkan library-nya.

F. Arsitektur Serverless dan Auto-scaling

Strategi: Gunakan layanan serverless (seperti AWS Lambda atau Azure Functions). Server hanya menyala ketika ada permintaan (request) dan mati otomatis jika selesai. Ini jauh lebih hemat daripada menyewa server yang menyala 24 jam non-stop meskipun tidak ada pengunjung.

Selain menyelamatkan bumi, menerapkan Green Software dan Pengkodean Efisien memberikan manfaat bisnis langsung:

- **Menghemat Biaya (Cost Efficiency):** Kode yang efisien membutuhkan resource server yang lebih sedikit. Artinya, tagihan cloud (AWS/AWS/Google Cloud) menjadi lebih murah.
- **Performa Lebih Cepat:** Aplikasi yang ringan pasti akan berjalan lebih cepat dan responsif, meningkatkan pengalaman pengguna (UX).
- **Perangkat Lebih Awet:** Aplikasi yang tidak membebani CPU akan membuat baterai HP atau Laptop pengguna tidak cepat habis dan panas.
- **Keberlanjutan Bisnis:** Konsumen dan investor semakin memperhatikan ESG (Environmental, Social, and Governance). Perusahaan yang peduli lingkungan memiliki citra yang lebih baik.

Konsep Green Software Engineering berfokus pada membuat perangkat lunak yang mengonsumsi lebih sedikit sumber daya komputasi. Algoritma yang tidak efisien memaksa CPU bekerja lebih keras, membuang energi dan memproduksi panas lebih banyak.

- Code Optimization: Menulis kode yang bersih dan ringan.
- Energy-aware Algorithms: Algoritma yang dapat memprediksi beban kerja dan menyesuaikan penggunaan energi secara dinamis (misalnya pada baterai smartphone).

BAB IV

PERAN TI DALAM MONITORING DAN PENGENDALIAN LINGKUNGAN

Selain "menghijaukan" dirinya sendiri, TI digunakan sebagai alat untuk memantau dan mengelola sumber daya alam.

4.1 Internet of Things (IoT) untuk Lingkungan

IoT adalah jaringan perangkat yang terhubung dan dapat saling berkomunikasi untuk mengumpulkan dan berbagi data. Dalam konteks lingkungan, IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time dari berbagai sumber, seperti kualitas udara, kondisi air, dan kesehatan tanah. Dengan jaringan sensor yang terintegrasi, data ini dapat dianalisis untuk memahami kondisi lingkungan secara menyeluruh.

Penerapan IoT dalam bidang lingkungan tidak hanya berfokus pada pemantauan tetapi juga pada upaya konservasi. Teknologi ini dapat digunakan untuk memantau habitat alami dan spesies yang terancam punah, serta mengoptimalkan pengelolaan sumber daya alam. Dengan memanfaatkan data yang akurat, kita dapat mengambil langkah-langkah yang lebih baik dalam pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

IoT menghubungkan sensor fisik ke internet untuk pengumpulan data real-time. Penerapannya:

- Smart Agriculture: Sensor kelembaban tanah memicu sistem irigasi hanya saat tanah kering, menghemat air hingga 30-50%.
- Kualitas Udara: Sensor partikel tersebar di kota besar untuk memantau polusi (PM2.5) dan memberikan peringatan dini kepada warga.
- Monitoring Kehutanan: Sensor asap dan suhu untuk mencegah kebakaran hutan.

4.2 Smart Grid dan Manajemen Energi

Smart grid adalah jaringan listrik cerdas yang mengintegrasikan teknologi digital untuk memungkinkan komunikasi dua arah antara penyedia listrik dan konsumen. Integrasi smart grid dan sistem penyimpanan energi kini menjadi kunci utama dalam mempercepat transisi energi hijau secara global. Lebih dari itu, Smart grid menghadirkan sistem kelistrikan yang

responsif melalui komunikasi dua arah dan teknologi digital cerdas. Sebagai tambahan, Penelitian menunjukkan bahwa smart grid meningkatkan efisiensi, fleksibilitas, dan keandalan jaringan listrik modern (Biswas et al., 2025; Energies, 2021). Akan tetapi, Integrasi energi terbarukan seperti surya dan angin tetap menghadirkan tantangan variabilitas produksi yang signifikan.

Oleh karena itu, Sistem penyimpanan energi berperan penting dalam menjaga stabilitas tegangan dan frekuensi jaringan. Sebagai ilustrasi, Baterai menyerap kelebihan daya saat produksi energi terbarukan meningkat, kemudian operator menyalurkan energi tersimpan saat permintaan listrik mencapai puncak beban. Selain itu, studi terbaru menegaskan bahwa kombinasi smart grid dan Battery Energy Storage Systems meningkatkan stabilitas serta efisiensi distribusi daya (Energies, 2021). Strategi ini akhirnya memperkuat fondasi transisi energi hijau berbasis energi terbarukan, sistem manajemen energi, dan penyimpanan energi.

Selanjutnya, kecerdasan buatan memperkuat performa smart grid melalui analitik data dan machine learning. Misalnya, algoritma cerdas memprediksi permintaan listrik serta mengoptimalkan aliran daya secara real time. Tidak hanya itu, sistem manajemen energi memanfaatkan Advanced Metering Infrastructure untuk memantau konsumsi listrik secara presisi. Akibatnya, integrasi AI meningkatkan akurasi prediksi beban dan mempercepat respons terhadap gangguan jaringan (Biswas et al., 2025; Technologies, 2024). Demikian pula, integrasi Distributed Energy Resources juga memperkuat ketahanan sistem distribusi listrik modern.

- Smart Grid adalah jaringan listrik yang menggunakan TI untuk mengintegrasikan tindakan semua pengguna yang terhubung kepadanya—generator, konsumen, dan mereka yang keduanya—untuk memberikan listrik yang berkelanjutan, ekonomis, dan andal.
- Smart Metering: Pelanggan dapat melihat penggunaan listrik secara real-time dan memilih waktu penggunaan energi saat tarif lebih murah (off-peak).
- Integrasi Energi Terbarukan: Smart Grid menyeimbangkan pasokan energi yang tidak stabil (seperti angin dan matahari) dengan permintaan yang bervariasi.

4.3 Smart City dan Transportasi Cerdas

Smart City adalah sebuah konsep pengembangan kota yang mengintegrasikan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) serta Internet of Things (IoT) ke dalam berbagai aspek kehidupan perkotaan. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas hidup warga, efisiensi operasional kota, keberlanjutan lingkungan, dan pertumbuhan ekonomi.

Inti dari Smart City adalah data. Kota mengumpulkan data dari berbagai sensor (seperti kamera pengawas, sensor polusi, sensor kemacetan, dan smart meter), lalu data tersebut dianalisis untuk pengambilan keputusan yang lebih baik.

Pilar Utama Smart City:

Seringkali konsep ini diringkas menjadi 6 atau 8 pilar, antara lain:

1. Smart Economy (Ekonomi Cerdas): Inovasi bisnis, e-commerce, dan produktivitas kerja.
2. Smart Mobility (Mobilitas Cerdas): Transportasi terintegrasi dan aksesibel.
3. Smart Environment (Lingkungan Cerdas): Pengelolaan sampah, pemantauan kualitas udara, dan energi terbarukan.
4. Smart People (Masyarakat Cerdas): Pendidikan, literasi digital, dan partisipasi warga.
5. Smart Living (Kehidupan Cerdas): Kesehatan, perumahan yang aman, dan kualitas hidup.
6. Smart Governance (Tata Kelola Cerdas): Pemerintahan yang transparan, e-voting, dan pelayanan publik berbasis digital.

Transportasi adalah penyumbang besar emisi gas rumah kaca. TI berperan melalui:

- Traffic Management System: Sistem lampu lalu lintas adaptif menggunakan AI untuk mengurai kemacetan, mengurangi waktu idling mesin kendaraan.
- Intelligent Transport Systems (ITS): Aplikasi transportasi publik terintegrasi, sistem car-sharing, dan rute optimal bagi pengemudi.

4.4 Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Lingkungan

Sistem Informasi Geografis (SIG) atau Geographic Information System (GIS) adalah sebuah sistem teknologi komputer yang dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan data yang memiliki referensi geografis (lokasi di bumi).

Dalam konteks Lingkungan, SIG berfungsi sebagai "otak" yang memproses data lokasi menjadi informasi yang berguna untuk pengelolaan, pemantauan, dan perlindungan alam.

Berikut adalah penjelasan mendalam mengenai penerapan dan fungsi SIG dalam bidang Lingkungan:

1. Konsep Dasar SIG di Bidang Lingkungan

SIG menggabungkan dua elemen utama:

- Data Spasial (Posisi): Informasi tentang di mana sesuatu berada (misalnya: koordinat hutan, jalur sungai, lokasi pabrik).
- Data Atribut (Informasi): Informasi tentang apa yang ada di sana (misalnya: jenis kayu di hutan, tingkat pH air, jumlah emisi gas pabrik).

Dengan menumpuk (layering) berbagai data ini, kita bisa melihat hubungan antar fenomena lingkungan yang tampak tidak berhubungan sekilas.

2. Penerapan Utama SIG untuk Lingkungan

Berikut adalah area paling krusial di mana SIG digunakan:

A. Manajemen Sumber Daya Alam

Kehutanan: SIG digunakan untuk memetakan tutupan hutan, mendeteksi deforestasi (pembalakan liar), dan memantau kebakaran hutan secara real-time menggunakan citra satelit.

Hidrologi (Sumber Daya Air): Memetakan daerah aliran sungai (DAS), menentukan daerah tangkapan air, dan memantau perubahan volume waduk atau danau.

Pertanian: Analisis kesuburan tanah berdasarkan data kimia tanah dan topografi untuk presisi penggunaan pupuk.

B. Mitigasi Bencana Alam

Bencana sangat erat kaitannya dengan lokasi geografis.

Banjir: SIG dapat membuat simulasi pemodelan banjir dengan menggabungkan data topografi (ketinggian tanah), curah hujan, dan jenis tanah. Hasilnya adalah peta rawan banjir.

Tanah Longsor: Menganalisis kemiringan lereng, struktur tanah, dan vegetasi untuk memprediksi daerah zona merah longsor.

Letusan Gunung Berapi: Memodelkan arah sebaran lahar dan awan panas untuk evakuasi penduduk.

C. Pencemaran Lingkungan

Pemantauan Kualitas Udara & Air: SIG memetakan titik-titik pemantauan polusi untuk melihat sebaran polutan dari sumbernya (misal: asap pabrik) ke area pemukiman.

Pengelolaan Limbah: Menentukan lokasi terbaik untuk Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah dengan mempertimbangkan jarak dari pemukiman, arah air tanah, dan angin agar tidak mencemari lingkungan.

D. Konservasi Keanekaragaman Hayati (Biodiversitas)

Memantau habitat satwa liar dan migrasi hewan.

Menentukan prioritas kawasan yang harus dilindungi (kawasan konservasi) berdasarkan keanekaragaman spesies dan tingkat ancamannya.

E. Analisis Dampak Lingkungan (AMDAL)

Sebelum sebuah proyek besar (jalan tol, pabrik, bandara) dibangun, wajib dilakukan AMDAL. SIG digunakan untuk memvisualisasikan bagaimana proyek tersebut akan memengaruhi lingkungan sekitar, seperti mengubah pola drainase atau memotong habitat hewan.

3. Sumber Data SIG Lingkungan

Data untuk SIG lingkungan berasal dari berbagai teknologi:

Citra Satelit: Seperti Landsat atau Sentinel, untuk memantau vegetasi dan perubahan lahan global.

Fotografi Udara (Drone/Pesawat): Untuk detail spasial yang lebih tinggi dan akurat di area kecil.

GPS (Global Positioning System): Untuk pengambilan koordinat titik lokasi yang presisi di lapangan.

Sensor IoT: Sensor yang ditanam di hutan atau sungai yang mengirim data lingkungan secara otomatis ke peta digital.

4. Mengapa SIG Sangat Penting bagi Lingkungan?

Visualisasi yang Lebih Mudah: Peta jauh lebih mudah dipahami oleh pengambil keputusan (pemerintah/masyarakat) dibandingkan tumpukan tabel data angka.

Deteksi Perubahan: SIG memungkinkan kita membandingkan kondisi lingkungan "Dulu vs Sekarang" (misal: luasan hutan tahun 2000 vs 2024) untuk melihat kerusakan atau pemulihan.

Pengambilan Keputusan yang Tepat: Membantu menentukan lokasi proyek yang paling aman dan minim dampak lingkungan.

Efisiensi Biaya dan Waktu: Tidak perlu survei fisik ke seluruh area yang luas, cukup menggunakan analisis SIG terlebih dahulu untuk memfokuskan survei lapangan.

Geographic Information System (GIS) digunakan untuk memetakan dan menganalisis data spasial lingkungan. Pemanfaatannya:

- Pemantauan deforestasi melalui citra satelit.
- Perencanaan tata kota untuk menjaga daerah resapan air.
- Analisis risiko bencana alam berbasis lokasi.

BAB V

TANTANGAN, STRATEGI, DAN STUDI KASUS

5.1 Tantangan Adopsi Teknologi Hijau

Meskipun manfaatnya jelas, implementasi Green TI menghadapi hambatan:

1. **Biaya Awal Tinggi:** Investasi untuk perangkat hemat energi dan infrastruktur data center baru seringkali mahal di awal (CAPEX).
2. **Obsolesensi Teknologi:** Teknologi berkembang cepat, membuat perangkat "lama" (padahal masih berfungsi) menjadi sampah elektronik karena tidak mendukung software terbaru.
3. **Kurangnya Kesadaran:** Banyak organisasi memandang Green TI sebagai biaya, bukan investasi jangka panjang.

5.2 Strategi Pengurangan Jejak Karbon Digital

Strategi yang bisa diadopsi perorangan maupun korporasi:

1. **Extended Producer Responsibility (EPR):** Kebijakan di mana produsen bertanggung jawab penuh atas siklus hidup produk, terutama pengambilan kembali dan daur ulang.
2. **Procurement Policy:** Instansi hanya membeli perangkat elektronik yang bersertifikat Energy Star atau EPEAT Gold.
3. **Paperless Office:** Mengurangi penggunaan kertas melalui sistem digitalisasi dokumen yang terintegrasi.

5.3 Studi Kasus: Google Data Center

Google menerapkan inovasi AI-based cooling di pusat datanya. Sistem AI mereka mengontrol pengaturan pendinginan (kipas, katup air, suhu) secara otomatis. Sistem ini

belajar dari data historis dan dapat menyesuaikan kondisi lingkungan yang berubah, menghemat energi pendinginan hingga 40% dan meningkatkan efisiensi PUE.

5.4 Studi Kasus: Smart City Jakarta (Jakarta Smart City)

Pemerintah Provinsi DKI Jakarta meluncurkan konsep Smart City yang memanfaatkan Command Center. Integrasi data dari CCTV, pompa air, dan sensor banjir memungkinkan penanganan banjir dan kemacetan lebih cepat. Penggunaan aplikasi Jaki (Jakarta Kini) memudahkan pelaporan warga terkait tumpukan sampah atau pohon tumbang, sehingga penanganannya lebih cepat dan lingkungan tetap terjaga.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Teknologi Informasi merupakan pedang bermata dua bagi lingkungan. Di satu sisi, konsumsi energinya tinggi dan menghasilkan limbah B3. Namun di sisi lain, TI adalah kunci utama untuk memecahkan masalah lingkungan melalui efisiensi dan monitoring cerdas. Green Computing bukanlah pilihan lagi, melainkan keharusan. Implementasi Green Hardware, Green Data Center, Cloud Computing, IoT, dan Smart System adalah langkah konkret menuju masa depan yang berkelanjutan.

6.2 Saran

Organisasi maupun individu perlu mulai mengadopsi prinsip Green IT secara bertahap. Dimulai dari kebiasaan sederhana mematikan perangkat saat tidak digunakan, hingga investasi pada teknologi hijau. Pembuat kebijakan juga perlu mendorong regulasi yang mendorong produsen elektronik untuk bertanggung jawab atas daur ulang produk mereka.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bih, E. H., & Kaur, H. (2010). *Green IT in Practice: How One Company Is Approaching Green IT*. Case Study. ITU.
2. Elliot, B. (2007). *Environmentally Sustainable ICT*. Australian Computer Society.
3. Hilty, L. M. (2008). *Information Technology and Sustainability: Essays on the Relationship Between Information Technology and Sustainable Development*. Books on Demand.
4. Murugesan, S. (2008). *Harnessing Green IT: Principles and Practices*. IT Professional.
5. Velte, A. T., Velte, T. J., & Elsenpeter, R. (2008). *Green IT: Reduce Your Information System's Environmental Impact While Adding to the Bottom Line*. McGraw-Hill.
6. Ahmad, S. S., & Shafie, A. (2010). "Green ICT Awareness and Practices among University Students". *Journal of Environmental Science and Technology*, 3(2), 69-78.
7. Badii, A., & Balachandran, M. (2010). "Green ICT: A Holistic Approach to Reducing the Environmental Impact of ICT". *International Journal of Green Computing*, 1(1), 1-11.
8. Gholami, R., Sulaiman, A. B., Ramayah, T., & Molla, A. (2013). "Senior managers' perception on green information systems adoption in environmental protection: From the perspective of institutional theory". *Information & Management*, 50(4), 166-176.
9. Harmon, R. R., & Auseklis, N. (2009). "Sustainable IT Services: Assessing the Impact of Green Computing Practices". *Proceedings of the 2009 International Conference on Systems Engineering*.
10. Jenkins, T. A., & Webster, J. (2020). "The role of digital technology in environmental sustainability: A systematic review". *Journal of Cleaner Production*, 258, 120719.
11. Molla, A., Cooper, V., & Corbett, J. (2009). "Green IT: A Framework and Research Agenda". *Australasian Journal of Information Systems*, 15(2).

12. Priyadarshi, R. (2010). "Green Computing: A New Horizon of Energy Efficiency and E-Waste Minimization". **International Journal of Computer Applications**, 9(5), 1-6.
13. Ryoo, J., & Choi, J. (2014). "Green Information Technology for Sustainable Development". **KSII Transactions on Internet and Information Systems**, 8(3).