



**FORUM GURU BESAR**  
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



# Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



## **SISTEM INFORMASI BERKELANJUTAN**

**Profesor Kridanto Surendro**

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung

Aula Barat ITB  
16 Maret 2024



Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

# **SISTEM INFORMASI BERKELANJUTAN**



Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

# **SISTEM INFORMASI BERKELANJUTAN**

**Prof. Kridanto Surendro**

16 Maret 2024  
Aula Barat ITB



Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin tertulis dan resmi dari penerbit

*Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung*

**SISTEM INFORMASI BERKELANJUTAN**

Penulis : Prof. Kridanto Surendro

Reviewer : Prof. Deddy Kurniadi

Editor Bahasa : Rina Lestari

Cetakan I : 2024

ISBN : 978-623-297-414-2

e-ISBN : 978-623-297-415-9 (PDF)



© Gedung STP ITB, Lantai 1,  
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132  
☎ +62 22 20469057  
🌐 www.itbpress.id  
✉ office@itbpress.id  
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92  
APPTI No. 005.062.1.10.2018

# PRAKATA

Alhamdulillah, dengan rasa syukur yang mendalam kepada Tuhan Yang Maha Esa penulis ingin mengungkapkan kebahagiaan atas selesainya buku ini. Sistem informasi bukan hanya sebuah instrumen untuk mengelola data, tetapi fondasi yang memungkinkan kita membuat keputusan yang bijak dan tindakan yang berkelanjutan. Namun, di tengah gemuruh kemajuan teknologi, kita juga dihadapkan pada tantangan besar dalam menjaga keberlangsungan hidup di planet ini. Isu-isu seperti perubahan iklim, kekurangan sumber daya, dan ketimpangan sosial semakin menguat, membuat keberlanjutan menjadi keharusan yang tak bisa ditawar lagi. Dalam konteks ini, konsep *Green in Information Systems* dan *Green by Information Systems* menemukan tempatnya yang krusial.

*Green in Information Systems* mengacu pada upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dari operasional sistem informasi. Ini termasuk pengelolaan energi di pusat data, manajemen limbah elektronik, dan strategi lain yang bertujuan untuk mengurangi jejak karbon teknologi informasi. Sementara itu, *Green by Information Systems* menyoroti bagaimana sistem informasi dapat menjadi alat yang kuat dalam mendukung keberlanjutan secara keseluruhan. Ini mencakup penggunaan teknologi informasi untuk mengelola rantai pasok yang berkelanjutan, mendukung pembangunan masyarakat yang inklusif, dan memfasilitasi kolaborasi global yang diperlukan untuk mencapai tujuan keberlanjutan.

Buku ini disusun dengan tujuan utama untuk memberikan pemahaman yang komprehensif tentang konsep, prinsip, dan aplikasi Sistem Informasi Berkelanjutan. Melalui buku ini, penulis mengajak semuanya untuk merenungkan secara mendalam peran sistem informasi dalam membangun masa depan yang lebih berkelanjutan. Penulis berharap buku ini dapat menjadi panduan yang berharga bagi siapa saja yang tertarik untuk memahami dan mengaplikasikan konsep-konsep ini dalam konteks nyata. Dengan memperkenalkan konsep dan praktik terkini, kami berharap buku ini dapat menjadi sumber inspirasi dan panduan yang berguna bagi mereka yang ingin mengintegrasikan prinsip keberlanjutan dalam pengelolaan sistem informasi mereka. Semoga buku ini dapat memberikan kontribusi yang

signifikan dalam mendorong adopsi praktik berkelanjutan dalam pengembangan dan pengelolaan sistem informasi di masa depan.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Deddy Kurniadi karena telah bersedia melakukan tinjauan, memberikan koreksi, masukan, dan saran yang sangat berarti terhadap karya ini. Selain itu, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak, termasuk rekan kerja, teman, dan keluarga yang telah memberikan dukungan dalam proses penyusunan dan penulisan buku ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, meskipun tidak semuanya disebutkan secara spesifik. Pada akhirnya, penulis mengakui bahwa masukan konstruktif dalam bentuk kritik dan saran sangat diharapkan.

Bandung, 16 Februari 2024

Penulis

# SINOPSIS

Buku *Sistem Informasi Berkelanjutan* mengajak pembaca untuk menjelajahi perpaduan yang mendalam antara sistem informasi dengan prinsip-prinsip keberlanjutan yang semakin penting dalam era modern ini. Dimulai dengan pengantar tentang fungsi dan peran sistem informasi dalam organisasi, buku ini menyajikan fondasi yang kokoh bagi pembaca untuk memahami bagaimana teknologi informasi telah menjadi tulang punggung bagi banyak aspek kehidupan saat ini.

Selanjutnya pembaca akan diajak secara mendalam esensi keberlanjutan dan betapa pentingnya integrasi prinsip-prinsip ini dalam setiap aspek pengembangan dan pengelolaan sistem informasi. Konsep *Green by IS* dan *Green in IS* diperkenalkan dengan cermat, menyoroti peran sistem informasi dalam membantu organisasi untuk mengurangi dampak lingkungan dari operasi teknologi informasi, sekaligus memanfaatkan teknologi informasi untuk mengelola dan memonitor praktik-praktik keberlanjutan. Buku ini juga membahas konsep jejak karbon dan bagaimana teknologi informasi dan komunikasi berperan dalam memengaruhi jejak karbon organisasi secara keseluruhan. Dengan menggali lebih dalam, pembaca diperkenalkan pada beberapa contoh implementasi praktis dari konsep-konsep ini dalam kehidupan sehari-hari. Contoh tersebut tidak hanya memberikan inspirasi, tetapi juga memperlihatkan betapa pentingnya adopsi sistem informasi yang berkelanjutan untuk mencapai efisiensi, produktivitas, dan dampak lingkungan yang lebih baik dalam berbagai konteks. Dengan demikian, buku ini tidak hanya menjadi panduan praktis, tetapi juga menjadi sumber inspirasi bagi mereka yang tertarik untuk menyelaraskan teknologi informasi dengan keberlanjutan untuk masa depan yang lebih baik.



# DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
SINOPSIS .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Sistem Informasi.....	3
1.2 Tantangan Global Keberlanjutan .....	4
1.3 Teknologi Informasi untuk Keberlanjutan .....	7
1.4 Jejak Karbon.....	9
1.5 Jejak Karbon Peralatan TIK .....	12
2 INFORMATIKA ENERGI.....	15
2.1 Kerangka Kerja Informatika Energi.....	15
2.2 Penawaran dan Permintaan .....	17
2.3 Teknologi Sistem Energi .....	17
2.4 Sistem Informasi.....	18
2.5 Pemangku Kepentingan Utama .....	19
2.6 Tujuan Lingkungan .....	20
3 IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI BERKELANJUTAN.....	23
3.1 Emisi Karbon Aktivitas Pembelajaran .....	23
3.2 Emisi Karbon Peralatan TIK .....	29
3.3 Emisi Karbon PLTU .....	34
4 TATA KELOLA SISTEM INFORMASI BERKELANJUTAN .....	39
4.1 Governance & Management Framework for Green IT .....	39
4.2 UNEP Sustainable Framework.....	40
4.3 Green ICT Framework .....	42
4.4 Kerangka Kerja GITHEI .....	43
PENUTUP .....	47
UCAPAN TERIMA KASIH.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
CURRICULUM VITAE.....	57



# DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Emisi Gas Rumah Kaca (GHG Protocol, 2011) .....	11
<b>Gambar 2.1</b>	Kerangka kerja informatika energi (Watson, 2010) .....	16
<b>Gambar 3.1</b>	Rancangan solusi aplikasi .....	24
<b>Gambar 3.2</b>	Distribusi responden kuesioner .....	25
<b>Gambar 3.3</b>	Hasil perhitungan emisi gas karbon responden.....	27
<b>Gambar 3.4</b>	<i>Green Action</i> pada Aplikasi.....	28
<b>Gambar 3.5</b>	Siklus Hidup Peralatan Teknologi Informasi .....	30
<b>Gambar 3.6</b>	Jenis peralatan teknologi informasi .....	33
<b>Gambar 3.7</b>	Skema <i>Cap and Trade</i> (Solomon, 2022). .....	36
<b>Gambar 3.8</b>	Model Rancangan Solusi .....	37
<b>Gambar 4.1</b>	Perkembangan Kerangka Kerja <i>GMGIT</i> .....	40
<b>Gambar 4.2</b>	<i>Sustainable University Core Areas</i> .....	41
<b>Gambar 4.3</b>	<i>Kerangka Kerja Green ICT</i> untuk perguruan tinggi.....	43
<b>Gambar 4.4</b>	Kerangka Kerja Implementasi Teknologi Informasi Berkelanjutan .....	44



# DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Perbandingan Emisi Karbon per Program Studi .....	26
<b>Tabel 3.2</b>	Ringkasan Portofolio Peralatan TI ITB.....	33
<b>Tabel 3.3</b>	Estimasi Emisi Gas Karbon Peralatan Teknologi Informasi.....	34



# 1 PENDAHULUAN

Keistimewaan topik sistem informasi dalam konteks bisnis saat ini adalah adanya perkembangan yang terus-menerus dalam teknologi, penerapan teknologi oleh manajemen, dan dampaknya terhadap kesuksesan bisnis (Laudon, 2022). Perusahaan-perusahaan start-up baru mulai muncul dan berkembang di sektor industri konvensional dengan menerapkan teknologi terbaru dan model bisnis yang inovatif. Dinamika perubahan ini menimbulkan sejumlah tantangan bagi para manajer bisnis, yang harus membuat keputusan strategis tentang cara menyesuaikan perusahaan mereka dengan tren perkembangan yang sedang berlangsung. Pertimbangan utamanya mencakup manfaat dan biaya dari adopsi perkembangan baru dalam hal perangkat keras, perangkat lunak, dan praktik bisnis.

Thomas Friedman menulis buku yang menyatakan bahwa dunia saat ini menjadi datar, merujuk pada dampak internet dan komunikasi global yang telah memperluas peluang bagi masyarakat untuk berinteraksi dan mengurangi keunggulan ekonomi serta budaya negara-negara industri (Friedman, 2007). Kehadiran Internet telah secara signifikan mengurangi biaya operasional dan transaksi dalam skala global. Komunikasi antara pabrik di negara yang berbeda dengan pusat distribusinya dapat terjadi secara cepat. Pelanggan dapat dengan mudah berbelanja di pasar global, mendapatkan informasi tentang harga dan kualitas yang dapat diandalkan 24 jam sehari. Perusahaan yang beroperasi secara global mencapai efisiensi biaya yang besar dengan mencari pemasok berbiaya rendah dan mengelola fasilitas produksi di luar negeri. Perusahaan terus menerus berupaya meningkatkan efisiensi operasional mereka untuk mencapai profitabilitas yang lebih tinggi. Dalam upaya tersebut, sistem dan teknologi informasi menjadi salah satu alat utama yang tersedia bagi para manajer. Dengan bantuan teknologi informasi, manajer dapat mencapai tingkat efisiensi dan produktivitas yang lebih tinggi dalam operasi bisnis. Terutama ketika dipadukan dengan perubahan dalam praktik bisnis dan perilaku manajemen, sistem dan teknologi informasi menjadi kunci utama dalam mencapai tujuan.

Dunia bisnis banyak berinvestasi dalam sistem dan teknologi informasi untuk mencapai tujuan utama perusahaan seperti keunggulan operasional; pengembangan produk, layanan, dan model bisnis baru; hubungan yang lebih

erat dengan pelanggan dan pemasok; meningkatkan proses pengambilan keputusan; mempertahankan keunggulan kompetitif; dan menjamin kelangsungan bisnis. Selain itu, saat ini dunia bisnis semakin ditekan oleh berbagai pihak seperti karyawan, pelanggan, pemerintah, dan investor untuk menunjukkan kepemimpinan dalam mencapai tujuan lingkungan, sosial, dan tata kelola (*Environmental, Social, and Governance - ESG*) yang lebih luas. Kriteria ESG menjadi elemen kunci dari strategi bisnis, dan sistem informasi memiliki peran penting dalam membantu perusahaan mencapai tujuan ESG mereka.

Aspek lingkungan mencakup hal-hal seperti penggunaan energi, jejak karbon, keberlanjutan, praktik daur ulang, polusi, dan konservasi sumber daya alam. Sementara kriteria sosial menitikberatkan pada apakah perusahaan bertindak sebagai warga korporat dan aktor sosial yang baik terhadap karyawan, pemasok, pelanggan, dan komunitasnya. Kriteria tata kelola terutama terkait dengan tindakan pimpinan perusahaan, gaji eksekutif, pengendalian internal, dan hak pemegang saham. ESG juga mencakup tindakan perusahaan terkait dengan keberagaman, kesetaraan, dan inklusi (*diversity, equity, and inclusion - DEI*).

Menunjukkan kepemimpinan pada bidang tersebut dapat meningkatkan nilai bisnis dengan memfasilitasi pertumbuhan, mengurangi biaya, meminimalkan masalah peraturan dan hukum, meningkatkan produktivitas karyawan, dan mengoptimalkan aset dan investasi. Banyak konsumen yang enggan mendukung perusahaan yang tidak memprioritaskan ESG dan investor semakin mempertimbangkan kinerja ESG dalam keputusan investasi mereka.

Sistem informasi memainkan peran kunci dalam memungkinkan perusahaan mencapai tujuan ESG. Sebagai contoh, sebuah perusahaan industri besar yang dibimbing oleh konsultan telah menetapkan keberlanjutan sebagai prioritas strategis. Salah satu langkah yang diambil untuk mencapai tujuan emisi bersih pada tahun 2050 oleh perusahaan industri tersebut adalah menerapkan sistem ERP berbasis *cloud* untuk seluruh rantai pasok yang membantu pemasok melacak, melaporkan, dan mengurangi dampak karbon mereka. Hal ini penting karena sebagian besar jejak karbon perusahaan berada pada rantai pasokan, bukan di dalam perusahaan itu sendiri.

## 1.1 Sistem Informasi

Sistem informasi didefinisikan secara teknis sebagai sekumpulan komponen yang saling terkait yang mengumpulkan (atau mengambil), memproses, menyimpan, dan mendistribusikan informasi untuk mendukung pengambilan keputusan, koordinasi, dan pengendalian dalam suatu organisasi (Laudon, 2022). Sistem informasi juga dapat membantu manajer dan pekerja menganalisis masalah, memvisualisasikan subjek yang kompleks, dan menciptakan produk baru. Informasi adalah data yang telah diolah menjadi suatu bentuk yang bermakna dan berguna bagi penerimanya. Sedangkan data adalah aliran fakta mentah yang mewakili peristiwa yang terjadi dalam organisasi atau lingkungan fisik sebelum diorganisasikan dan disusun menjadi bentuk yang dapat dipahami dan digunakan orang.

Terdapat tiga aktivitas dalam sistem informasi untuk menghasilkan informasi yang dibutuhkan organisasi dalam mengambil keputusan, mengendalikan operasi, menganalisis masalah, dan menciptakan produk atau layanan baru. Kegiatan tersebut adalah *input*, pengolahan, dan *output*. *Input* adalah kegiatan untuk menangkap atau mengumpulkan data mentah dari dalam organisasi atau dari lingkungan eksternal. Pengolahan akan mengubah masukan mentah menjadi bentuk yang bermakna dengan mengklasifikasikan, mengatur, dan melakukan penghitungan terhadap data. *Output* adalah kegiatan mentransfer informasi yang diproses kepada orang-orang yang akan menggunakannya atau ke aktivitas yang akan menggunakannya. Sistem informasi juga memberikan umpan balik, yaitu keluaran yang dikembalikan ke anggota organisasi yang tepat untuk membantu mereka mengevaluasi atau memperbaiki tahap masukan.

Meskipun sistem informasi berbasis komputer menggunakan teknologi komputer untuk memproses data mentah menjadi informasi yang bermakna, terdapat perbedaan mendasar antara komputer dan program perangkat lunak dengan sistem informasi. Komputer dan program perangkat lunak adalah landasan teknis, alat, dan bahan utama bagi sistem informasi modern. Komputer menyediakan peralatan untuk menyimpan dan memproses informasi. Program komputer, atau perangkat lunak, adalah serangkaian instruksi pengoperasian yang mengarahkan dan mengendalikan pemrosesan komputer. Mengetahui cara kerja komputer dan program komputer adalah

penting dalam merancang solusi terhadap masalah organisasi, tetapi komputer dan program komputer hanyalah bagian dari sistem informasi.

Sebuah rumah adalah contoh analogi yang tepat dalam memahami sistem informasi. Rumah dibangun dengan menggunakan batu bata, semen, palu, paku, dan kayu akan tetapi hal-hal tersebut saja tidak dapat membentuk sebuah rumah. Arsitektur, desain, pengaturan, penataan lahan, dan semua keputusan yang mengarah pada penciptaan fitur bangunan adalah bagian dari rumah dan sangat penting untuk memecahkan masalah dalam membangun rumah. Komputer dan program komputer adalah batu bata, semen, palu, paku, dan kayu dari sistem informasi berbasis komputer, akan tetapi komputer dan program komputer saja tidak dapat menghasilkan informasi yang dibutuhkan oleh organisasi. Untuk memahami sistem informasi, kita harus memahami permasalahan yang dirancang untuk dipecahkan, elemen arsitektur dan desainnya, serta proses organisasi yang mengarah pada solusi tersebut.

## **1.2 Tantangan Global Keberlanjutan**

Manusia menghadapi tantangan global yang besar dan kompleks pada saat ini. Tantangan-tantangan ini bersifat kompleks dan sistemik, sulit untuk didefinisikan, dipahami, dan dipecahkan karena saling terkait dan adanya perspektif serta nilai-nilai yang bertentangan (Tavanti, 2023). Beberapa tantangan paling mendesak berhubungan dengan aktivitas manusia yang tidak berkelanjutan. Sejak Revolusi Industri pada akhir abad ke-18, aktivitas manusia telah memiliki dampak yang signifikan dan meluas terhadap sistem bumi, mengubah iklim, mengubah kimia daratan dan lautan, serta mengurangi keanekaragaman hayati. Perubahan lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas manusia diperkirakan memiliki dampak yang sangat luas dan berpotensi menimbulkan bencana bagi bumi dan penghuninya. Namun, tantangannya tidak hanya terbatas pada lingkungan hidup karena hal ini juga terkait dengan permasalahan sosial, ekonomi, serta perdamaian dan keamanan membuatnya semakin kompleks karena kurangnya kerja sama dan kemitraan antarnegara.

Penyelesaian terhadap permasalahan global yang buruk memerlukan pola pikir kepemimpinan yang baru, pendekatan terintegrasi untuk mengelola lintas sektor, dan solusi inovatif dan berdampak untuk mengarahkan arah

saat ini serta masyarakat yang regeneratif dan tangguh (Hull, 2020). Solusi untuk permasalahan yang buruk juga memerlukan solusi yang terkoordinasi dan kebijakan yang tepat, serta membutuhkan kebijakan publik yang tepat untuk mendorong lebih banyak inovasi dan memberikan dampak yang signifikan (Head, 2022). Permasalahan terbesar dalam masyarakat global-lokal saat ini bervariasi tergantung pada lokasi geografis, konteks budaya, dan momen sejarah. Berikut adalah beberapa permasalahan paling mendesak yang harus ditangani secara luas, antara lain:

1. **Perubahan iklim:** Perubahan iklim merupakan salah satu ancaman terbesar yang dihadapi bumi, menyebabkan kenaikan suhu, kejadian cuaca yang lebih sering dan parah, serta dampak signifikan terhadap keanekaragaman hayati dan komunitas manusia. Aktivitas manusia seperti penggundulan hutan, pertanian, dan perubahan iklim, menyebabkan hilangnya spesies dan habitat, berkurangnya keanekaragaman hayati, dan kesehatan ekosistem secara keseluruhan (Thunberg, 2023). Sejak revolusi industri, aktivitas pembakaran bahan bakar fosil yang meluas telah meningkatkan jumlah gas rumah kaca (GRK) di atmosfer yang menyebabkan terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim.
2. **Kemiskinan dan ketimpangan:** Meskipun terjadi pertumbuhan ekonomi yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir, akan tetapi kemiskinan dan ketimpangan masih merupakan masalah yang luas dan terus-menerus terjadi, dengan miliaran orang kekurangan akses terhadap kebutuhan dasar seperti makanan, air, dan layanan kesehatan. Kemiskinan dan kesenjangan merupakan permasalahan kompleks yang berkaitan dengan banyak tantangan global lain, termasuk pembangunan ekonomi, kesehatan, pendidikan, dan lingkungan hidup. Kemiskinan dan ketimpangan dapat berdampak signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi dan stabilitas sosial politik. Kemiskinan mengakibatkan kurangnya akses terhadap kebutuhan dasar seperti makanan, tempat tinggal, dan layanan kesehatan, yang menyebabkan kesehatan yang buruk, kekurangan gizi, dan kematian dini. Ketimpangan akan melanggengkan kemiskinan dan mengakibatkan berkurangnya akses masyarakat marginal terhadap peluang dan sumber daya, sehingga melanggengkan siklus kemiskinan dan ketidak-beruntungan.
3. **Konflik dan kekerasan:** Konflik politik, ketegangan etnis, dan kekerasan terus mengganggu masyarakat dan melemahkan perdamaian serta

stabilitas di banyak belahan dunia. Konflik dan kekerasan merupakan permasalahan kompleks yang sering kali berakar pada kesenjangan ekonomi, politik, dan sosial. Konflik dapat menimbulkan trauma, yang dapat menimbulkan dampak psikologis dan sosial jangka panjang. Mengatasi akar penyebab konflik, ketidakadilan sosial, diskriminasi, dan akses sumber daya sangatlah penting untuk mengurangi konflik dan meningkatkan perdamaian dan stabilitas.

4. **Degradasi lingkungan:** Pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang pesat serta praktik pembangunan yang tidak berkelanjutan telah menyebabkan degradasi lingkungan yang meluas termasuk penggundulan hutan, hilangnya habitat, dan polusi (Rawson, 2021). Dalam rangka mengatasi tantangan ini diperlukan upaya untuk mendorong urbanisasi berkelanjutan, meningkatkan akses terhadap sumber daya dan layanan, mengurangi kesenjangan dan kemiskinan, serta berinvestasi pada infrastruktur dan layanan yang berketahanan dan mampu beradaptasi terhadap perubahan populasi dan kebutuhan. Upaya ini akan membantu mengurangi dampak negatif dari pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang cepat serta mendorong kota dan komunitas yang lebih berkelanjutan dan adil.
5. **Keamanan Siber:** Keamanan siber merupakan masalah yang buruk karena sifat teknologi yang terus berkembang, keterhubungan jaringan global, dan kebutuhan untuk menyeimbangkan keamanan dengan privasi dan inovasi. Serangan siber dapat menimbulkan ancaman terhadap infrastruktur penting seperti jaringan listrik, pasokan air, dan sistem keuangan. Hal ini dapat mengakibatkan gangguan yang meluas dan mempunyai konsekuensi serius bagi individu, komunitas, dan seluruh negara. Serangan siber dapat menimbulkan dampak ekonomi yang signifikan dengan membahayakan informasi sensitif, mengganggu operasi bisnis, dan menyebabkan kerugian finansial bagi individu dan organisasi. Ancaman keamanan siber juga dapat berdampak pada privasi dan keamanan pribadi dengan mengorbankan hal-hal sensitif informasi, seperti data keuangan dan pribadi, dan menempatkan individu pada risiko pencurian identitas dan bentuk penipuan lainnya.

Keberlanjutan dapat membantu memecahkan permasalahan global dengan mengatasi akar penyebabnya seperti kemiskinan, kesenjangan, dan degradasi lingkungan, bukan hanya mengatasi gejalanya saja. Selain itu,

keberlanjutan juga dapat membantu melakukan pendekatan terhadap permasalahan dari perspektif sistem, dengan mempertimbangkan keterkaitan sistem sosial, ekonomi, dan lingkungan. Dengan mengidentifikasi dan mengatasi penyebab-penyebab yang saling terkait pada masalah, solusi yang lebih komprehensif dapat dikembangkan. Keberlanjutan berfokus pada penciptaan solusi yang tidak hanya efektif dalam jangka pendek, tetapi juga memiliki manfaat dan dampak jangka panjang. Kondisi ini membantu memastikan bahwa solusi terhadap masalah bersifat berkelanjutan dan memiliki dampak yang bertahan lama. Selain itu, keberlanjutan dapat menjadi kunci mengatasi permasalahan kompleks tersebut dengan mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan, termasuk pertumbuhan ekonomi, inklusi sosial, dan perlindungan lingkungan. Selain itu, dengan berfokus pada solusi sistemik dan mendorong kolaborasi, keberlanjutan dapat membantu mendorong perubahan yang bertahan lama dan komprehensif dalam mengatasi tantangan global yang kompleks.

Keberlanjutan merupakan tantangan dan peluang karena akan melibatkan pencarian cara untuk memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Mengatasi tantangan keberlanjutan memerlukan upaya kolektif dan solusi inovatif serta memberikan peluang untuk menciptakan masa depan yang lebih adil, setara, dan sejahtera bagi semua. Kegagalan mengatasi tantangan keberlanjutan dapat mengakibatkan konsekuensi yang sangat buruk bagi kesejahteraan manusia dan planet bumi.

### **1.3 Teknologi Informasi untuk Keberlanjutan**

*Green IT* (sering disebut dengan istilah teknologi informasi hijau atau teknologi informasi ramah lingkungan) merupakan sebuah konsep hemat energi yang diterapkan dalam ranah teknologi informasi. *Green IT* merupakan sebuah studi atau praktik dalam menggunakan peralatan teknologi informasi dan komunikasi supaya digunakan secara efektif dan efisien sehingga dapat memberikan dampak terhadap lingkungan seminimal mungkin dan tetap menjaga keberlangsungan lingkungan (Murugesan, 2008). Praktik *green IT* berarti mengupayakan penggunaan perangkat teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang memberikan dampak dan manfaat positif bagi lingkungan, dan meminimalkan dampak negatif yang muncul (Worthington,

2017). Sumber yang sama juga menyebutkan bahwa efisiensi energi adalah fokus utama praktik *green IT*. Energi dimaksud di sini tidak hanya diukur dari penggunaan peralatan TIK saja, tetapi juga mencakup energi yang terkandung dalam proses pembuatan peralatan tersebut dan bahan baku yang digunakan, serta bagaimana peralatan teknologi informasi didaur ulang. Di sisi lain terdapat pandangan yang lebih luas dari *green IT*, yang merupakan tujuan utama *green IT*, yaitu memadukan orang dan teknologi untuk membantu merencanakan dan mewujudkan terjadinya keberlanjutan (Tomlinson, 2010). Terlepas dari luasnya fokus *green IT*, Erdélyi memberikan dua sudut pandang untuk melihat *green IT*, yaitu *green in IT* dan *green by IT* (Erdelyi, 2013). Perbedaan antara keduanya dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. ***Green in IT*** berfokus pada pengurangan dampak lingkungan dari praktik penggunaan teknologi informasi itu sendiri. Menurut pandangan ini, teknologi informasi berada pada posisi sebagai salah satu objek yang memiliki dampak pada lingkungan, sehingga teknologi informasi sendiri perlu mengurangi dampaknya bagi lingkungan. Hal ini dapat dicapai misalnya melalui penggunaan perangkat *server* hemat energi, pemilihan perangkat teknologi informasi yang memiliki sertifikasi lingkungan, pengaturan kebijakan pusat data yang mempertimbangkan lingkungan, dan sebagainya.
2. ***Green by IT*** berfokus pada penggunaan teknologi informasi sebagai alat untuk mengurangi dampak lingkungan. Di sini, teknologi informasi bertindak sebagai *enabler* untuk upaya pengurangan dampak negatif suatu aktivitas terhadap lingkungan. Hal ini dapat dicapai misalnya melalui digitalisasi dokumen, otomasi dan efisiensi proses produksi, manajemen dan monitoring lingkungan, dan sebagainya.

Secara holistik, pemakaian teknologi informasi ramah lingkungan dapat dilihat berdasarkan empat aspek penerapan berikut:

1. *Green use*, berupa penggunaan peralatan teknologi informasi dan komunikasi secara wajar sehingga konsumsi energi yang digunakan relatif berkurang.
2. *Green disposal*, yaitu melakukan metode *reuse* (menggunakan kembali) dan *recycle* (melakukan daur ulang) terhadap peralatan teknologi informasi dan komunikasi yang sudah usang agar dapat dimanfaatkan kembali.

3. *Green design*, yaitu membuat rancangan komponen elektronik yang ramah lingkungan seperti rancangan dari segi spesifikasi atau penggunaan listriknya.
4. *Green manufacturing*, yaitu penerapan teknologi informasi hijau dalam aspek manufaktur melalui produksi peralatan serta komponen teknologi informasi dan komunikasi yang ramah lingkungan.

## 1.4 Jejak Karbon

Gas rumah kaca diartikan sebagai sejumlah jenis gas yang dapat menyimpan panas dan radiasi sinar matahari. Gas rumah kaca terdiri atas beberapa jenis gas di antaranya karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), nitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), dan gas yang diperoleh dari industri seperti hidrofluorokarbon (HFCs), perfluorokarbon (PFCs), dan belerang heksafluorida (SF<sub>6</sub>) (Doll dan Baranski, 2011; Gielen dan Kram, 1998). Gas ini dapat dihasilkan secara alami melalui proses di alam maupun secara sintesis melalui aktivitas manusia. Gas rumah kaca bekerja secara aktif untuk menyimpan panas di siang hari dan menyalurkan kembali panas tersebut pada waktu malam hari. Proses ini dikenal dengan sebutan efek rumah kaca (Doll dan Baranski, 2011). Secara umum panas dan radiasi yang diserap dalam proses efek rumah kaca akan disalurkan kembali sebesar 30% ke permukaan bumi, sehingga menjadikan bumi aman dari suhu beku yang tidak dapat ditolerir manusia. (Doll dan Baranski, 2011).

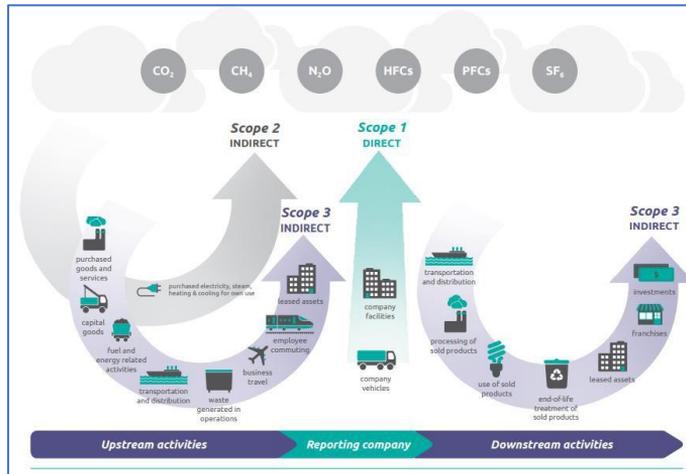
Jejak karbon (*carbon footprint*) adalah ukuran jumlah total emisi gas karbon dioksida secara langsung dan/atau tidak langsung yang disebabkan oleh suatu aktivitas atau terakumulasi selama siklus hidup suatu produk (Wiedmann & Minx, 2008). Jejak karbon dinyatakan sebagai CO<sub>2</sub> equivalent (CO<sub>2</sub>-eq) yang artinya emisi gas rumah kaca selain karbon dioksida (yaitu gas metana, dinitrogen oksida, dan gas berflourinasi) dikonversi menjadi CO<sub>2</sub>-eq berdasarkan potensinya berkontribusi terhadap pemanasan global (Wiedmann & Minx, 2008).

Untuk mengukur emisi gas karbon yang dihasilkan oleh serangkaian aktivitas, *Green House Gas (GHG) Protocol* yang merupakan kemitraan *multi-stakeholder* yang diselenggarakan oleh World Resources Institute (WRI) dan World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), mengeluarkan *GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*.

Standar ini merupakan pedoman rinci bagi perusahaan dalam melakukan kuantifikasi dan melaporkan emisi gas rumah kaca yang dihasilkannya (World Business Council for Sustainable Development dan World Resources Institute, 2004). Berdasarkan pedoman yang dikeluarkan lembaga tersebut, emisi gas rumah kaca dapat dibedakan menjadi emisi langsung dan emisi tidak langsung seperti terlihat pada Gambar 1.1.

Dalam pedoman ini diperkenalkan konsep cakupan (*scope*) yang membagi emisi gas karbon menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Cakupan 1 - meliputi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan secara langsung dari peralatan maupun sumber yang dikendalikan oleh perusahaan, misal mesin dan peralatan perusahaan. Dalam cakupan ini, *Green IT* dapat dipandang dari segi *green by IT* karena perangkat teknologi informasi tidak menghasilkan gas emisi langsung. Perangkat teknologi informasi berperan dalam memonitor pemakaian mesin, mengukur emisi yang dihasilkan, hingga mengoptimalkan penggunaan mesin misalnya melalui *smart scheduling*.
2. Cakupan 2 - meliputi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pemakaian listrik perusahaan (hanya listrik yang dibeli oleh perusahaan). Dapat dikatakan bahwa sudut pandang *green in IT* dan *green by IT* keduanya dapat digunakan. *Green in IT* dianggap sesuai karena cakupan 2 digunakan untuk mengukur semua perangkat teknologi informasi yang membutuhkan daya listrik. Sehingga penggunaan TI perlu mempertimbangkan dampak pada lingkungan. Di sisi lain, teknologi informasi juga dapat berperan untuk mengukur, memonitor, dan mengoptimalkan penggunaan dari teknologi informasi itu sendiri, sehingga hal ini sejalan dengan konsep *Green by IT*.
3. Cakupan 3 - meliputi seluruh emisi lain yang belum terangkum dalam cakupan 1 dan 2. Hal ini mencakup misalnya emisi yang dihasilkan oleh produksi peralatan yang digunakan, transportasi dan bahan bakar yang digunakan, dan sebagainya.



**Gambar 0.1** Emisi Gas Rumah Kaca (GHG Protocol, 2011)

Perhitungan jejak karbon mengikuti lima prinsip sebagai berikut (GHGP, 2004).

1. *Relevance*: Memastikan bahwa inventarisasi gas rumah kaca berasal dari suatu organisasi / produk / layanan tersebut.
2. *Completeness*: Melakukan perhitungan dan pelaporan semua sumber dan aktivitas gas emisi rumah kaca.
3. *Consistency*: Menggunakan metodologi yang konsisten yang memungkinkan terjadinya perbandingan emisi gas rumah kaca dari waktu ke waktu. Lakukan dokumentasi secara transparan setiap perubahan pada data, batasan, metode, atau faktor lain yang relevan.
4. *Transparency*: Menangani semua masalah yang relevan dengan cara yang faktual dan koheren berdasarkan jejak audit yang jelas. Mengungkapkan asumsi yang relevan dan membuat referensi yang sesuai dengan metodologi perhitungan dan sumber data yang digunakan.
5. *Accuracy*: Memastikan bahwa kuantifikasi emisi gas rumah kaca secara sistematis tidak melebihi atau di bawah emisi aktual. Mencapai akurasi yang memadai untuk memungkinkan pengguna mengambil keputusan dengan alasan yang terjamin mengenai integritas informasi yang dilaporkan.

Pengukuran jejak karbon aktivitas suatu individu, organisasi, atau negara dapat dilakukan dengan melaksanakan penilaian emisi GHG, penilaian siklus hidup, atau aktivitas perhitungan lain yang dianggap sebagai *carbon accounting* (European Investment Bank, 2022). Ketika nilai jejak karbon telah

diketahui, maka strategi dapat dikembangkan untuk menguranginya. Strategi ini dapat dituangkan dalam bentuk perkembangan teknologi, perbaikan efisiensi energi, manajemen produk dan proses yang lebih baik, strategi konsumsi, dan lain-lain.

Saat ini, telah dikembangkan berbagai macam kalkulator jejak karbon di internet yang dapat diakses secara gratis. Kalkulator ini dapat menghitung jejak karbon berdasarkan jawaban dari beberapa parameter yang diberikan. Meski demikian, berbagai variabel yang ada dalam pengukuran menimbulkan pertanyaan mengenai akurasi dari kalkulator jejak karbon tersebut (Collin & Schwartz, 2011).

Perhitungan jejak karbon untuk skala yang lebih besar seperti pada bangunan merupakan hal yang lebih rumit. Salah satu metode yang dapat digunakan sebagai alat pembantu pengukuran jejak karbon adalah dengan mengikuti pedoman *Greenhouse Gas Protocol* (GHG). GHG menyediakan tahapan-tahapan yang dapat diikuti untuk menghitung angka *carbon footprint*.

Tahapan-tahapan ini dijabarkan sebagai berikut.

1. Menentukan konsumsi energi

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data emisi energi yang dapat berupa kWh untuk listrik dan liter untuk air. Informasi ini dapat diperoleh dari tagihan listrik dan meter air.

2. Mengidentifikasi faktor emisi

Tahap ini meliputi mengidentifikasi faktor emisi dari sumber energi. Adapun di Indonesia, faktor emisi dari listrik adalah 0.719 kg CO<sub>2</sub>e/kWh dan untuk air adalah 0.46 kg CO<sub>2</sub>e/liter.

3. Menghitung emisi

Perhitungan emisi dilakukan dengan mengalikan konsumsi energi dengan faktor emisi. Setelah itu, hasil perkalian ini akan dijumlahkan untuk memperoleh total emisi.

## 1.5 Jejak Karbon Peralatan TIK

Jejak karbon teknologi informasi dan komunikasi adalah total gas karbon yang dihasilkan oleh sektor teknologi informasi dan komunikasi (ictfootprint.eu, 2018). Terkait dengan cakupan emisi gas karbon, jejak karbon teknologi informasi dan komunikasi termasuk ke dalam cakupan 2 dari sumber emisi

jejak karbon, karena adanya penggunaan energi listrik di dalamnya. Dalam kasus penggunaan peralatan TIK, jejak karbon diukur dari sejumlah energi yang digunakan untuk memproduksi peralatan TIK (*embodied energy*) dan energi yang dipakai dalam pengoperasian peralatan tersebut (*operating energy*) (Worthington, 2011). *Embodied energy* adalah energi yang dipakai dalam proses manufaktur dan produksi peralatan TIK, dimulai dari energi yang dikeluarkan untuk mengekstraksi bahan mentah, transportasi, pemasangan, dan hingga proses pembuangan peralatan TIK tersebut. *Operating energy* adalah energi yang dipakai dalam proses pengoperasian peralatan TIK untuk menunjang aktivitas perusahaan. Peralatan TIK menggunakan sumber energi listrik sehingga energi penggunaan peralatan TIK dapat diukur dengan menggunakan alat ukur seperti *electric meter*.



## 2 INFORMATIKA ENERGI

Banyak yang telah diungkapkan tentang pemanasan global terutama terkait dengan keberlanjutan; sering dilihat banyak stiker mobil ditempel dengan pesan "*Think Globally, Act Locally*" dan perusahaan tidak henti-hentinya membicarakan masalah lingkungan. Pesan ini telah begitu umum dan sering muncul sehingga terkadang cenderung diabaikan. Namun kenyataannya adalah jika kita mengabaikan peringatan-peringatan tersebut, maka dapat mengakibatkan terjadinya bencana dan kerusakan lingkungan yang tidak diinginkan.

Menjadi "*hijau*" memiliki makna yang bervariasi bagi setiap individu. Jika ditanyakan kepada sepuluh *Chief Information Officers* (CIOs) mengenai makna "*hijau*," kemungkinan akan diperoleh sepuluh jawaban yang berbeda. Banyaknya tergantung pada minat khusus masing-masing CIO. Bagi sebagian, mungkin berarti membeli teknologi baru yang lebih efisien energi daripada yang mereka miliki. Orang lain mungkin menganggapnya sebagai masalah mengurangi konsumsi listrik oleh pusat data. Untuk yang lain, hal itu berarti membeli perangkat keras yang terbuat dari bahan ramah lingkungan. Beberapa mungkin mempertimbangkan akhir masa pakai perangkat keras dan menyatakan bahwa *Green IT* berarti melakukan pembuangan perangkat usang secara tepat.

*Green IT* merupakan sebuah topik yang rumit, dan mungkin sulit untuk menentukan cara terbaik memanfaatkan teknologi informasi ramah lingkungan dalam kepentingan organisasi perusahaan. Ungkapan hijau dan ramah lingkungan secara global adalah "*reduce, reuse, & recycle*." Terlepas dari tindakan yang diambil, asalkan tetap memegang prinsip ini dalam keputusan *Green IT* perusahaan, berarti perusahaan berada dalam posisi yang baik.

### 2.1 Kerangka Kerja Informatika Energi

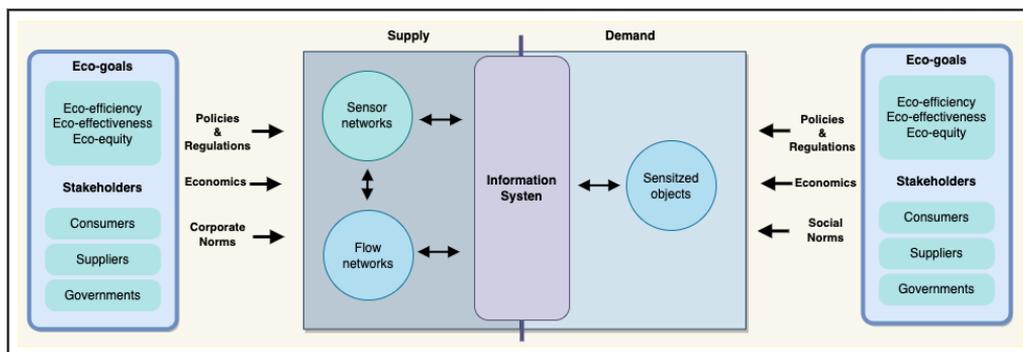
Para CIO memilih *Teknologi Informasi Ramah Lingkungan* sebagai teknologi strategis yang paling penting bagi kepentingan bisnis dan perusahaan (Thibodeau 2007). Pilihan tersebut mengakui adanya peran sentral sistem informasi, mengingat adanya kemampuan untuk memahami, mengubah, dan merancang ulang proses bisnis untuk mendukung praktik berkelanjutan secara lebih baik. Sistem informasi telah menjadi kekuatan besar dalam

peningkatan produktivitas. Banyak waktu telah dihabiskan untuk meneliti bagaimana sistem informasi dirancang, dikembangkan, diadopsi, digunakan, disebar, dipelihara, dan dihentikan. Materi kerangka kerja Informatika Energi disampaikan dalam bab ini merujuk pada tulisan dan pendapat yang dikemukakan oleh Richard T. Watson (Watson, 2010).

Praktik lingkungan hidup perusahaan yang tidak baik akan menghasilkan berbagai bentuk limbah seperti sumber daya yang tidak terpakai, inefisiensi energi, kebisingan, gesekan, dan emisi gas buang merupakan produk limbah yang mengurangi efisiensi ekonomi. Untuk mengatasi permasalahan tentang pemanasan global dan menciptakan masyarakat yang berkelanjutan, Watson (Watson, 2010) mengusulkan sebuah kerangka kerja Informatika Energi. Kerangka kerja Informatika Energi diajukan dengan asumsi bahwa permasalahan terjadi karena kurangnya informasi yang memungkinkan dan memotivasi solusi ekonomi dan berbasis perilaku. Seperti terlihat pada Gambar 2.1, sistem informasi merupakan inti dari kerangka kerja yang bertujuan untuk merangsang penelitian bidang sistem informasi dalam mengatasi kelestarian lingkungan.

Selain kerangka kerja, Watson juga mengusulkan adanya sebuah subbidang baru dalam sistem informasi yaitu informatika energi, yang mengakui peran sistem informasi dalam mengurangi konsumsi energi dan juga emisi CO<sub>2</sub>. Ide tersebut diungkapkan dalam pernyataan yang cukup ringkas, yaitu:

**Energi + Informasi < Energi**



**Gambar 0.2** Kerangka kerja informatika energi (Watson, 2010)

Informatika energi melibatkan penggunaan analisis, perancangan, dan implementasi sistem informasi untuk meningkatkan efisiensi sistem permintaan dan pasokan energi. Ini melibatkan usaha dalam mengumpulkan dan menganalisis data energi untuk mendukung optimalisasi jaringan distribusi dan penggunaan energi. Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer disebabkan oleh penggunaan energi oleh masyarakat, terutama dari sumber bahan bakar fosil. Oleh karena itu, diperlukan data yang sangat terperinci tentang distribusi dan konsumsi energi untuk mengembangkan sistem informasi yang bertujuan untuk mengurangi penggunaan energi. Bidang ilmu informatika energi berfokus pada penggunaan sistem informasi untuk mengurangi konsumsi energi dan berpotensi memberikan solusi praktis untuk menjaga lingkungan. Informatika energi mengaplikasikan pendekatan ilmiah yang teliti terhadap masalah-masalah praktis.

## 2.2 Penawaran dan Permintaan

Dalam transaksi konsumsi energi, terdapat dua pihak yang terlibat, yaitu pemasok dan konsumen. Di sisi penawaran, masalah ekonomi, peraturan, serta norma-norma perusahaan sering kali mendorong perubahan. Setiap organisasi memiliki keinginan untuk mengurangi konsumsinya karena hal ini berdampak pada biaya operasional. Penggunaan energi yang lebih efisien dapat meningkatkan keuntungan dan mengurangi emisi karbon. Selain itu, organisasi juga harus mematuhi regulasi pemerintah, seperti batasan emisi CO<sub>2</sub>, yang kemungkinan akan semakin ketat seiring dengan upaya pemerintah dalam menghadapi masalah pemanasan global.

Manusia saling terkait antara faktor rasional dan sosial ketika mengambil keputusan sehingga upaya untuk mengelola permintaan perlu memadukan kekuatan ekonomi dan elemen perilaku, seperti norma sosial. Memberikan informasi kepada konsumen dan masyarakat mengenai penggunaan energi dapat menyebabkan perubahan pola penggunaan dan penurunan konsumsi secara keseluruhan (McCalley 2006).

## 2.3 Teknologi Sistem Energi

Jaringan aliran (*flow network*) adalah sekumpulan komponen transportasi yang saling terhubung yang mendukung pergerakan materi secara kontinu (misal listrik, minyak, udara, dan air) atau benda yang terpisah (misal mobil,

paket kiriman, kontainer, dan manusia). Jaringan aliran berada pada jantung dari banyak sistem distribusi dan konsumsi energi. Berbagai bentuknya sangat terlihat dalam masyarakat seperti jalan raya, jaringan transmisi, jaringan pipa, kendaraan, dan kapal kargo. Mereka juga tidak terlihat di banyak bangunan dalam bentuk saluran pemanas, ventilasi, dan pendingin udara yang mengalirkan udara. Karena jaringan aliran sangat penting bagi kegiatan perekonomian, meningkatkan efisiensinya merupakan langkah penting menuju penciptaan masyarakat yang berkelanjutan, terutama karena emisi CO<sub>2</sub> merupakan masalah konsumsi energi (Hoffert dkk. 2002). Mengoptimalkan aliran jaringan adalah masalah intensif informasi yang mungkin harus diselesaikan setiap hari.

Jaringan sensor (*sensor network*) adalah sekumpulan perangkat yang terdistribusi secara spasial yang melaporkan status suatu benda fisik atau kondisi lingkungan. Misal, data tersebut dapat melaporkan suhu, komposisi udara (untuk mendeteksi polusi), lokasi dan kecepatan objek bergerak, isi paket kiriman dalam perjalanan, atau lalu lintas pada suatu jalan. Jaringan sensor menyediakan data yang dapat dianalisis untuk menentukan penggunaan jaringan aliran yang optimal.

Objek yang peka (*sensitized object*) adalah barang fisik yang dimiliki atau dikelola oleh konsumen dan memiliki kemampuan untuk merasakan dan melaporkan data tentang penggunaannya. Misal beberapa perusahaan asuransi telah menerapkan asuransi saat mengemudi kendaraan. Kendaraan dilengkapi dengan GPS atau perangkat pelacak jarak lain yang mencatat informasi perjalanan untuk dikirimkan atau diunggah ke perusahaan asuransi. Sensitized object sangat penting untuk mengelola permintaan. Objek ini akan memberikan informasi tentang penggunaan suatu benda sehingga konsumen mendapat informasi lebih baik tentang dampak benda tersebut terhadap keuangan dan lingkungan mereka.

## 2.4 Sistem Informasi

Sebuah sistem informasi menyatukan berbagai elemen untuk memberikan solusi yang lengkap. Sistem memiliki beberapa fungsi penting yaitu:

- Mengumpulkan data dari jaringan sensor dan memasukkannya ke dalam algoritme optimasi aliran.

- Mengirimkan data ke pengontrol otomatis di jaringan aliran untuk mengubah jaringan secara dinamis berdasarkan keluaran algoritme pengoptimalan
- Memberikan informasi kepada manajer jaringan arus sehingga mereka dapat mengelola dan memantau jaringan mereka.
- Memberikan informasi kepada konsumen tentang konsumsi sumber daya yang berada dalam kendali mereka.
- Kelola pasokan dan permintaan untuk meminimalkan penggunaan dan menghindari penambahan sumber daya berbiaya tinggi untuk memenuhi permintaan puncak.
- Memungkinkan konsumen untuk mengotomatisasi atau mengontrol penggunaan objek untuk mengurangi konsumsi energi.
- Memberikan informasi komparatif kepada pemasok dan konsumen sehingga mereka dapat mengukur upaya mereka dan menetapkan target baru untuk pengurangan energi.
- Menyediakan informasi kepada pemerintah mengenai kinerja jaringan arus.

Serangkaian persyaratan sebelumnya mendefinisikan sistem terintegrasi untuk sistem energi. Hal ini mengakui adanya saling ketergantungan antara pasokan dan permintaan serta komponen utama (jaringan aliran, jaringan sensor, dan objek peka). Ini adalah landasan kerangka informatika energi.

## **2.5 Pemangku Kepentingan Utama**

Setiap sistem besar dipengaruhi oleh berbagai pemangku kepentingan, yaitu mereka yang menentukan masa depannya. Terdapat tiga pemangku kepentingan paling penting dalam sistem pasokan/permintaan energi yaitu pemasok, konsumen, dan pemerintah. Pemasok menyediakan energi (misal gas alam) atau layanan yang menggunakan energi (misal perangkat elektronik). Pemasok mengelola jaringan aliran dan dalam lingkungan kompetitif yang khas, pemasok akan bersaing satu sama lain dan berusaha membuat operasi mereka lebih efisien. Namun demikian, ketika tidak ada persaingan langsung diharapkan pemasok mengupayakan efisiensi jaringan aliran melalui tindakan langsung mereka dan juga dengan berupaya mengubah perilaku konsumen.

Konsumen merupakan pemangku kepentingan yang penting karena merekalah yang menanggung biaya terbesar dari seluruh konsumsi energi. Selain mengkhawatirkan biaya energi, beberapa konsumen, yang juga berperan sebagai warga negara, telah menjadi aktivis keberlanjutan dan menekan pemasok dan pemerintah untuk mengurangi emisi karbon. Pemasok dan konsumen, yang sering kali didorong oleh kepentingan pribadi, tidak selalu menciptakan hasil yang sesuai dengan kepentingan jangka panjang masyarakat, dan hal ini tampaknya menjadi masalah ketika kita berupaya menciptakan peradaban yang berkelanjutan. Pemerintah perlu melakukan intervensi dan memberlakukan peraturan yang mengubah dasar persaingan pemasok dan mengarahkan perilaku konsumen ke arah yang diinginkan secara sosial. Misalnya, dampak buruk dari praktik lingkungan hidup sering kali dieksternalisasikan. Perusahaan yang mencemari sungai dengan produk limbahnya memaksa masyarakat menanggung akibat dari degradasi lingkungan.

## 2.6 Tujuan Lingkungan

Literatur keberlanjutan telah mengidentifikasi tiga tujuan keberlanjutan yang luas: efisiensi lingkungan, kesetaraan lingkungan, dan efektivitas lingkungan (Dyllick dan Hockerts 2002).

Ekoefisiensi adalah “penyediaan barang dan jasa dengan harga bersaing yang memenuhi kebutuhan manusia dan memberikan kualitas hidup, sekaligus secara progresif mengurangi dampak ekologi dan intensitas sumber daya sepanjang siklus hidup hingga pada tingkat yang setidaknya sesuai dengan daya dukung bumi” (DeSimone dkk. 1997). Pengurangan biaya memotivasi pemasok untuk mengupayakan produksi yang ramah lingkungan, dan dengan demikian efisiensi lingkungan sejalan dengan tujuan perusahaan saat ini. Filosofi yang berlaku adalah bahwa pasar, ditambah dengan peraturan pemerintah, akan memecahkan masalah ini. Eko-efisiensi pada dasarnya adalah sebuah tekanan ekonomi, karena organisasi akan mencapai tujuan ini dalam upaya mereka untuk mendapatkan keuntungan yang lebih besar. Demikian pula, konsumen akan merespons tekanan ekonomi untuk mengurangi konsumsi energi (misal keberhasilan mobil hibrida).

Eko-ekuitas mengacu pada "kesetaraan antarmasyarakat dan generasi dan, khususnya, persamaan hak semua orang atas sumber daya lingkungan"

(Gray dan Bebbington 2000). Eko-ekuitas berfokus pada tanggung jawab sosial kita terhadap generasi mendatang yang akan menanggung akibat dari konsumsi berlebihan sumber daya yang langka dan degradasi lingkungan. Ini berarti kita perlu mengembangkan norma-norma sosial dan perusahaan secara kolektif yang mendukung kesetaraan lingkungan untuk saat ini dan masa depan. Meskipun beberapa pihak mungkin mengambil tindakan untuk mendukung kesetaraan lingkungan, kecil kemungkinannya akan ada penyesuaian norma secara besar-besaran kecuali para pemimpin opini menetapkan arah baru (misalnya, upaya ramah lingkungan Walmart). Kita juga dapat mengharapkan tindakan pemerintah di semua tingkatan untuk mengubah norma-norma sosial dan perusahaan dengan mempromosikan energi dan gaya hidup berkelanjutan (misalnya, larangan tas belanja plastik di San Francisco).

Konsep eko-efektivitas diperkenalkan pada tahun 1998 (McDonough dan Braungart 1998) tanpa definisi yang jelas, namun kemudian dijelaskan: "Konsep kami tentang eko-efektivitas berarti mengerjakan hal yang benar -- pada produk, layanan, dan sistem yang tepat -- sebagai gantinya membuat hal yang salah menjadi tidak terlalu buruk" (McDonough dan Braungart 2002). Meskipun eko-efisiensi mungkin berfokus pada pengurangan konsumsi energi pencahayaan buatan, pendekatan eko-efektif akan merancang tempat kerja yang menggunakan pencahayaan alami.

Ekoefektivitas, yang dianggap sebagai solusi utama permasalahan ekologi, memerlukan perubahan pola pikir dan transformasi model bisnis (McDonough dan Braungart 2002). Dunia usaha perlu mengadopsi tujuan-tujuan di luar efisiensi, dan juga perlu merangkul keberlanjutan, restorasi, dan regenerasi sebagai aspirasi standar organisasi (McDonough dan Braungart 2002). Model *cradle-to-cradle* menganjurkan transformasi dari pemikiran linier ke sistem loop tertutup.

Mengupayakan keberlanjutan tidak berarti mengabaikan pemikiran ekonomi. Bagaimanapun, ilmu ekonomi mengatasi masalah pengalokasian sumber daya yang langka, dan sumber daya seperti energi bebas emisi merupakan sumber daya yang sangat langka. Pemerintah akan menggunakan peraturan untuk mengubah persamaan ekonomi guna lebih mendorong kelestarian lingkungan. Pemasok dan konsumen akan menerapkan dan bereaksi terhadap gabungan tekanan ekonomi dan sosial yang mendorong

kelestarian lingkungan. Singkatnya, tujuan ramah lingkungan, seperti yang telah kami sebutkan dalam pembahasan sebelumnya, berdampak pada pemasok energi melalui kekuatan ekonomi tradisional, perubahan norma perusahaan, dan peraturan pemerintah. Hal ini juga berdampak pada konsumen energi melalui tindakan pemerintah, serta norma ekonomi dan sosial yang memengaruhi perilaku individu.

## 3 IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI BERKELANJUTAN

Penerapan Sistem Informasi Berkelanjutan memiliki konsep, latar belakang, proses, dan prioritas implementasi yang cukup beragam. Beberapa penelitian telah dilakukan di laboratorium Sistem Informasi Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB. Hasil penelitian telah dipublikasikan pada jurnal internasional dan saat ini dikembangkan menjadi perangkat lunak untuk mengelola, menghitung, dan melakukan prediksi jejak karbon aktivitas industri dan manusia.

### 3.1 Emisi Karbon Aktivitas Pembelajaran

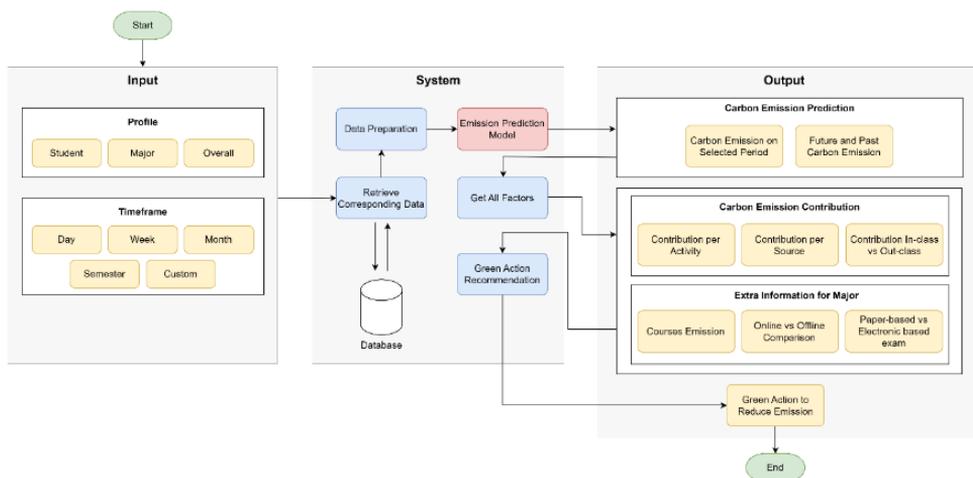
Perhitungan emisi karbon di lingkungan perguruan tinggi sudah banyak dilakukan oleh berbagai universitas. Hasil penilaian jejak karbon pada universitas di Mexico diketahui bahwa sebanyak 42% emisi gas rumah kaca dihasilkan dari penggunaan energi listrik dan 50% emisi gas rumah kaca dihasilkan dari kegiatan transportasi (Güereca, L.P., Torres, N., & Noyola, A. 2013). Sedangkan hasil investigasi jejak karbon pada Norwegian University of Technology and Science juga ditemukan bahwa mahasiswa di departemen sosial mampu menghasilkan emisi 50% lebih rendah dibandingkan mahasiswa di departemen teknologi dan pengetahuan alam (Larsen, Pettersen, Solli, & G.Hertwich, 2013). Meski banyak penelitian telah berhasil memperkirakan jumlah emisi gas karbon di lingkungan perguruan tinggi, akan tetapi belum banyak peneliti yang mempelajari emisi karbon yang disebabkan karena perilaku manusia, khususnya mahasiswa.

Faktor perilaku atau kebiasaan yang dilakukan manusia menyumbang sekitar 30% dari penggunaan energi untuk pemanasan dan 50% konsumsi energi untuk pendinginan (Steeimers & Kun, 2009). Apabila dilakukan penyesuaian perilaku, organisasi dapat menghemat sekitar 10-20% energi dengan biaya minimal tanpa melakukan penambahan atau peningkatan peralatan (Langevin, Gurian, & Wen, 2013). Pada lingkup perguruan tinggi, perilaku mahasiswa adalah bentuk nyata dari perilaku manusia yang dimaksud. Berdasarkan hasil analisis jejak karbon mahasiswa, diketahui bahwa rata-rata jumlah karbon dihasilkan mahasiswa berada pada nilai 3.84 ton CO<sub>2</sub>e dengan 65% dipengaruhi oleh aktivitas sehari-hari, 20% aktivitas

transportasi, dan 15% aktivitas akademis seperti belajar (Li, Tan, & Rackes, 2015).

Emisi karbon yang dihasilkan oleh mahasiswa berasal dari berbagai macam kegiatan yang dilakukannya, misal penggunaan peralatan teknologi informasi dan komunikasi oleh mahasiswa di kelas serta transportasi yang dilakukan mahasiswa menuju kampus. Sudah banyak metode perhitungan yang dibuat untuk menghitung emisi karbon dari aktivitas mahasiswa tersebut. Perguruan tinggi dapat memanfaatkan data perhitungan emisi karbon sebagai langkah awal untuk membuat kebijakan pengurangan emisi karbon di perguruan tinggi. Hasil pengukuran emisi karbon juga dapat digunakan untuk melakukan prediksi emisi karbon di masa depan serta mengenali pola atau perilaku mahasiswa yang berpengaruh terhadap karbon dihasilkan.

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti metodologi *Cross-Industry Standard Process Model for Data Mining* (Abbot, 2014). Model yang dibuat adalah pemodelan prediktif disertai dengan *clustering* untuk mengelompokkan aktivitas mahasiswa berdasarkan intensitas emisi karbon yang dihasilkan (Hans, 2023). Rancangan solusi untuk menghitung dan melakukan prediksi emisi karbon aktivitas mahasiswa dapat dilihat pada Gambar 3.1.

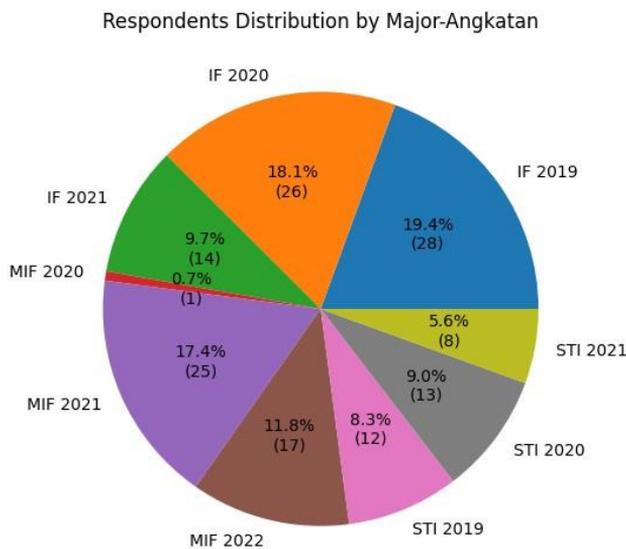


**Gambar 0.3** Rancangan solusi aplikasi

Aktivitas dan perilaku yang diteliti adalah aktivitas mahasiswa berasal dari Institut Teknologi Bandung (ITB). Pada tahun 2022, terdapat 23 ribu

mahasiswa yang terdaftar di ITB (Institut Teknologi Bandung, 2022). Berdasarkan jumlahnya, 94.28% total masyarakat akademik ITB adalah mahasiswa sehingga mahasiswa berkontribusi besar terhadap emisi karbon di perguruan tinggi.

Survei penelitian dilakukan pada bulan Mei tahun 2023 dengan responden adalah mahasiswa program studi sarjana Teknik Informatika (IF), program studi sarjana Sistem & Teknologi Informasi (STI), dan program studi magister Informatika (MIF). Distribusi responden mahasiswa yang mengisi kuesioner dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 0.4** Distribusi responden kuesioner

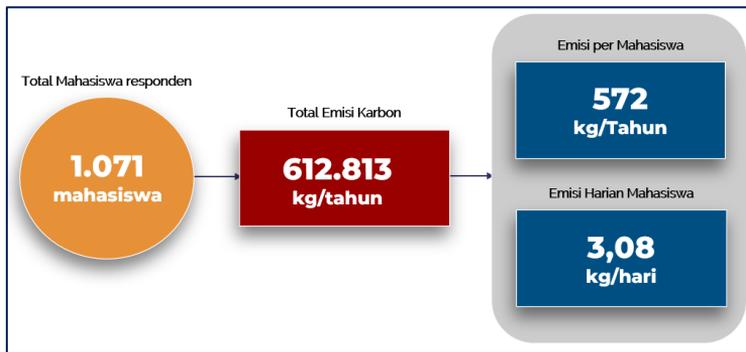
Sebanyak 69.4% responden survei berjenis kelamin laki-laki dan 30.6% responden berjenis kelamin perempuan. Berdasarkan perilaku mahasiswa dalam melakukan aktivitas transportasi, diketahui bahwa mayoritas mahasiswa menggunakan sepeda motor pribadi untuk bepergian menuju kampus, diikuti penggunaan ojek *online*, dan berjalan kaki. Sebanyak 68.5% mahasiswa tetap berada di kampus ketika terdapat jeda kelas selama 3 jam menuju kelas berikutnya, namun 19.9% mahasiswa memilih kembali ke tempat tinggalnya sehingga terdapat kegiatan transportasi yang dilakukan lebih dari satu kali. Mahasiswa menggunakan laptop untuk mengikuti kegiatan perkuliahan, melakukan pekerjaan profesional, melaksanakan

penelitian, dan menikmati hiburan internet. Ketika berada di dalam kelas, sebanyak 63.3% mahasiswa menggunakan laptop selama perkuliahan berlangsung. Akan tetapi tidak hanya membawa laptop, mahasiswa juga aktif menggunakan perangkat elektronik lain dalam kegiatan perkuliahan, yaitu *smartphone*. Dalam membuat catatan kuliah, hanya 70% mahasiswa yang membuat catatan selama berada di dalam kelas, dengan jumlah sebanyak 44.2% mahasiswa menggunakan laptop dan 33.6% mahasiswa menggunakan kertas atau buku catatan dengan konsumsi kertas satu sampai lima lembar kertas untuk setiap satu sesi perkuliahan.

Perhitungan emisi gas karbon dilakukan melalui sebuah aplikasi. Data yang digunakan sebagai contoh berasal dari data survei aktivitas mahasiswa program studi sarjana Informatika, sarjana Sistem & Teknologi Informasi, dan Magister Informatika yang berjumlah sebanyak 1071 orang dan setelah dihitung diperkirakan menghasilkan emisi gas karbon sebesar 612.8 ton CO<sub>2</sub>e selama satu tahun. Dengan demikian, rata-rata jumlah emisi gas karbon yang dihasilkan oleh seorang mahasiswa yang disurvei dalam satu tahun adalah sebesar 571.19 kg CO<sub>2</sub>e dan rata-rata emisi gas karbon hariannya adalah sebesar 3.08 kg CO<sub>2</sub>e. Hasil perhitungan ini diperoleh berdasarkan jawaban dari responden mahasiswa yang memiliki waktu rata-rata penggunaan laptop selama 8.9 jam per hari dan memiliki jarak tempuh rata-rata dari tempat tinggal menuju kampus ITB sejauh 3.06 km. Perbandingan emisi gas karbon berdasarkan data mahasiswa ketiga program studi, yang dijadikan responden, dapat dilihat pada **Tabel 0.1** dan secara visual dapat dilihat pada bentuk diagram yang terdapat pada **Gambar 0.6**.

**Tabel 0.1** Perbandingan Emisi Karbon per Program Studi

Parameter	S1 - IF	S1 - STI	S2 - IF
Total emisi karbon	323.6 ton CO <sub>2</sub> e	225.4 ton CO <sub>2</sub> e	63.7 ton CO <sub>2</sub> e
Jumlah mahasiswa	547	388	136
Emisi karbon per mahasiswa	591.6 kg CO <sub>2</sub> e	589.98 kg CO <sub>2</sub> e	469.02 kg CO <sub>2</sub> e
Emisi karbon harian per mahasiswa	3.38 kg CO <sub>2</sub> e	3.32 kg CO <sub>2</sub> e	2.54 kg CO <sub>2</sub> e
Rata-rata jarak tempuh transportasi	2.46 km	3.39 km	4.36 km
Rata-rata penggunaan laptop	9.38 jam	7.66 jam	10.22 jam



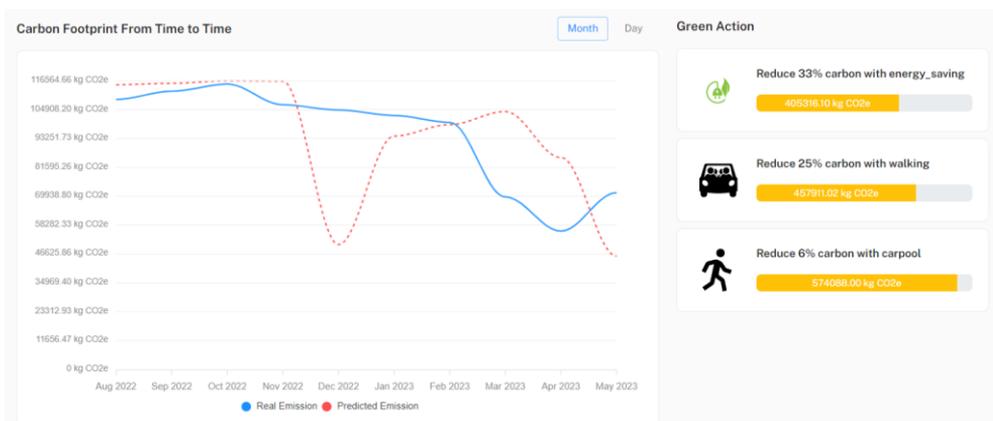
**Gambar 0.5** Hasil perhitungan emisi gas karbon responden

Hasil kalkulasi dan prediksi emisi karbon dari aplikasi dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi perguruan tinggi dalam mengambil keputusan terkait pengurangan emisi karbon para mahasiswa. Aplikasi dan model prediktif yang dibuat dapat menjadi bahan masukan bagi pengambilan keputusan, baik oleh masing-masing mahasiswa maupun program studi.

Dari sudut pandang mahasiswa, hasil dan informasi yang disajikan akan memberikan manfaat yang signifikan dalam mengambil langkah-langkah untuk mengurangi emisi gas karbon. Melalui kalkulasi emisi gas karbon selama periode waktu tertentu, mahasiswa dapat mengetahui secara jelas kontribusi emisi karbon yang dihasilkannya serta dampaknya terhadap lingkungan. Selain itu, dengan profil emisi gas karbon yang mencakup variabel seperti penggunaan laptop, jarak tempuh, dan aktivitas lainnya, mahasiswa dapat mengidentifikasi aktivitas yang dapat dioptimalkan untuk mengurangi emisi gas karbon, seperti mengurangi konsumsi energi saat menggunakan laptop atau memilih alternatif transportasi yang ramah lingkungan. Grafik emisi karbon yang disajikan dengan data historis dan prediksi masa depan juga akan memberikan pandangan yang komprehensif tentang dampak dari tindakan yang diambil terhadap emisi karbon. Informasi mengenai *green action* yang disajikan, berdasarkan tingkat pengurangan yang signifikan, akan memberikan panduan praktis bagi mahasiswa untuk mengadopsi langkah-langkah yang efektif dalam upaya mereka untuk mengurangi emisi karbon. Dengan adanya angka-angka yang konkrit dan hasil prediksi yang terkuantifikasi, mahasiswa bisa menjadi lebih sadar akan emisi karbon yang mereka hasilkan dan lebih tergerak untuk mengambil langkah-langkah sederhana untuk mengurangi emisi karbon bisa dimulai dari *green action* yang sudah ditawarkan oleh aplikasi.

Dari sudut pandang program studi, hasil dan informasi yang diberikan aplikasi akan sangat berharga dalam mengambil langkah-langkah untuk mengurangi emisi karbon mahasiswa di bawah kepemimpinan program studi tersebut. Dengan memiliki akses terhadap hasil kalkulasi emisi karbon mahasiswa pada periode waktu tertentu dan profil emisi karbon yang melibatkan berbagai faktor, program studi dapat mengidentifikasi pola dan area dengan tingkat emisi karbon yang tinggi. Hal ini akan memungkinkan pimpinan program studi untuk mengarahkan upaya dan inisiatif dalam mengurangi emisi karbon, seperti meningkatkan kesadaran akan pentingnya penggunaan energi yang efisien, mendorong mahasiswa untuk melakukan berjalan kaki, serta mempromosikan penggunaan teknologi yang ramah lingkungan. Grafik emisi karbon dengan data historis dan prediksi masa depan juga akan memberikan wawasan yang jelas tentang kecenderungan emisi karbon yang dapat digunakan dalam merencanakan strategi pengurangan emisi karbon jangka panjang. Informasi mengenai distribusi emisi karbon berdasarkan sumber emisi, lingkup pembelajaran, dan aktivitas juga akan membantu kepala program studi dalam menyusun program-program pengurangan emisi yang lebih fokus dan efektif sesuai dengan kebutuhan program studi tersebut.

Aplikasi *Student Carbon Footprint Calculation* mampu memberikan sekumpulan rekomendasi *green action* yang bisa dilakukan untuk mengurangi emisi karbon mahasiswa. Tampilan *green action* yang direkomendasikan dapat dilihat **Gambar 0.6**.



**Gambar 0.6** Green Action pada Aplikasi

Rekomendasi *green action* yang ditampilkan sudah diurut berdasarkan aksi yang paling memberikan pengurangan terhadap emisi karbon mahasiswa secara keseluruhan. *Green Action* yang dimaksud dalam aplikasi ini adalah aksi-aksi sederhana yang bisa dilakukan oleh setiap individu mahasiswa. Selain itu berdasarkan hasil kalkulasi dan prediksi emisi karbon, perguruan tinggi dapat melakukan kampanye kepada para mahasiswa untuk menerapkan *green action* berupa pemanfaatan penghematan energi karena dapat mengurangi hingga 33% dari emisi karbon semula. Selain itu, pengurangan emisi juga dapat terjadi hingga sebesar 25% apabila mahasiswa berjalan kaki menuju ke kampus. Sedangkan reduksi juga bisa terjadi sampai 6% apabila seluruh mahasiswa ITB berbagi kendaraan per 4 orang.

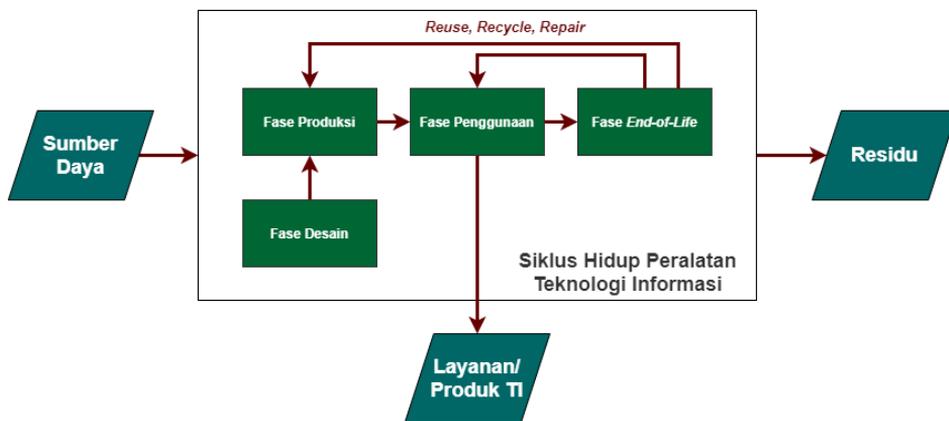
### 3.2 Emisi Karbon Peralatan TIK

Perguruan tinggi berusaha meningkatkan penggunaan peralatan teknologi informasi secara masif untuk menunjang proses belajar mengajar. Akan tetapi sebagian besar perguruan tinggi belum memiliki kesadaran akan terjadinya dampak emisi karbon yang dihasilkan karena adanya persepsi bahwa emisi terbesar hanya akan dihasilkan oleh pusat data. Faktanya peralatan teknologi informasi yang digunakan sebagai perangkat sehari-hari seperti laptop, tablet, *smartphone*, dan *printer* juga menghasilkan emisi gas karbon dioksida yang cukup banyak, yaitu sebesar 1,5 kali hingga 2 kali lebih banyak dibandingkan emisi karbon pusat data (McKinsey Technology, 2022).

Berdasarkan penelitian pada Universitas National Autonomous Meksiko (UNAM), hasil perhitungan data emisi gas karbon UNAM tahun 2010 mencapai sekitar 1.577-ton karbon dioksida (tCO<sub>2</sub>). Perkiraan hasil perhitungan ini tersebar dalam tiga cakupan emisi yang ditetapkan oleh GHG, dengan rincian emisi cakupan pertama sebesar 5%, emisi cakupan kedua sebesar 42%, dan emisi cakupan ketiga sebesar 53%. Jika dikaitkan dengan penggunaan peralatan TI, emisi gas karbon yang menjadi acuan adalah emisi cakupan kedua sebesar 653,4 tCO<sub>2</sub> (Güereca dkk., 2013). Hal ini berhubungan erat karena peralatan TI yang digunakan mengonsumsi energi listrik di mana penggunaan energi listrik dihitung sebagai emisi cakupan kedua (GHG Protocol Team, 2011). Penelitian di Universitas Cape Town (UCT) Afrika Selatan, emisi cakupan kedua mereka mencapai 3,2 tCO<sub>2</sub> dan menyumbang 82% dari emisi total universitas. Sedangkan Universitas Leeds di Inggris

menghitung emisi gas karbon jauh lebih kecil, yaitu hanya sekitar 32% emisi mereka yang bersumber dari penggunaan listrik (Rahul dkk., 2020).

Setiap peralatan yang tergolong dalam peralatan teknologi informasi memiliki siklus hidup. Siklus hidup peralatan TI diawali dari proses pembuatan peralatan tersebut hingga peralatan tidak digunakan dan dibuang oleh penggunanya. Hal ini didefinisikan sebagai masa *End-of-Life* (EOL), yaitu masa ketika sebuah peralatan sudah tidak berfungsi sebagaimana mestinya bagi pemilik atau pengguna peralatan TI tersebut (ITU, 2012). Peralatan TI yang telah mencapai masa EOL dapat digunakan kembali dengan berbagai metode manajemen EOL, sehingga tidak terbuang begitu saja menjadi residu (Hilty dkk., 2008). Ilustrasi siklus hidup peralatan TI dapat dilihat pada **Gambar 0.7**.



**Gambar 0.7** Siklus Hidup Peralatan Teknologi Informasi

Peralatan TI yang memasuki masa EOL akan diklasifikasi-kan sebagai limbah elektronik. Limbah elektronik didefinisikan sebagai seluruh perangkat yang bergantung pada arus listrik untuk menjalankan fungsinya dan menjadi limbah karena pemilik perangkat tersebut berniat membuang atau perlu membuangnya (ITU, 2012). Upaya organisasi untuk mengurangi limbah elektronik sangat beragam dan memiliki tingkat dampak yang berbeda pula dari segi emisi yang dikeluarkan. Metode yang dapat dilakukan organisasi untuk mengelola limbah elektronik mereka, diurutkan berdasarkan tingkat dampak paling kecil ke dampak paling besar terhadap lingkungan, didefinisikan sebagai berikut (Liebmann, 2015).

- a. *Avoidance*, yaitu langkah mengabaikan limbah elektronik dengan tidak melakukan produksi, konsumsi, maupun pembuangan peralatan apapun;

- b. *Reduction*, yaitu langkah mengurangi jumlah peralatan TI penghasil limbah yang berdampak pada berkurangnya volume limbah elektronik;
- c. *Reuse and repair*, yaitu langkah mengurangi pengadaan peralatan TI dengan menggunakan kembali atau memperbaiki peralatan TI yang memasuki masa EOL;
- d. *Recycling*, yaitu daur ulang material yang ada pada peralatan TI sehingga tidak menghasilkan limbah elektronik yang besar;
- e. *Energy recovery*, yaitu proses pembakaran limbah elektronik dalam sebuah media sehingga panas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai energi terbarukan; serta
- f. *Landfill*, yaitu proses pembuangan limbah elektronik ke tempat pembuangan khusus.

Ketika peralatan TI memasuki masa EOL, organisasi perlu memikirkan langkah pengelolaan peralatan tersebut. Hal ini dilakukan dengan tujuan meningkatkan peluang siklus hidup peralatan tersebut dalam sebuah organisasi. Tujuan ini dapat dicapai dengan berbagai strategi mulai dari mengalokasikan peralatan TI kepada bagian lain yang membutuhkan peralatan tersebut, menggunakan kembali bagian atau komponen yang masih berguna, hingga memperbaiki dan mendaur ulang beberapa komponen dalam peralatan yang sudah rusak (ITU, 2012).

Secara rinci, proses manajemen EOL dilakukan dalam tahapan yang didefinisikan sebagai langkah praktikal yang dapat dilakukan organisasi, baik secara penuh maupun parsial. Tahapan rinci yang dimaksud adalah sebagai berikut (ITU, 2012).

- a. Menentukan kerangka kerja, yaitu panduan yang mengarahkan proses manajemen EOL. Penentuan ini dilakukan untuk mendefinisikan garis besar pelaksanaan manajemen EOL peralatan TI pada organisasi;
- b. Melakukan manajemen peralatan, yaitu proses identifikasi peralatan dan menentukan nilai maksimum yang dapat dikembalikan dari proses manajemen EOL. Organisasi pemilik peralatan dapat menentukan apakah peralatan langsung disertakan dalam proses solusi manajemen EOL atau peralatan memerlukan proses pembongkaran dan perbaikan terlebih dahulu;
- c. Melakukan manajemen keamanan informasi, yaitu proses menghancurkan dan menghilangkan data dan informasi yang ada dalam

- media peralatan yang sudah memasuki masa EOL. Ini dilakukan untuk memastikan informasi organisasi aman dan tidak ada celah kebocoran;
- d. Melakukan *reverse logistic*, yaitu proses pengembalian peralatan profesional kepada penyedia peralatan tersebut. Logistik didefinisikan dalam dua jenis, yaitu peralatan konsumen dan peralatan profesional yang jarang dijual terbuka. Apabila jenis logistik peralatan konsumen dibuang, penyedia logistik dapat mengambil limbah kepada agensi pengumpul peralatan usang, sementara konsumen dapat mengumpulkan peralatan ke agensi atau langsung membuangnya. Namun, jika jenis logistik peralatan profesional yang dibuang, organisasi perlu menghubungi penyedia logistik untuk mengambil kembali limbah peralatan tersebut. Proses ini harus diperhatikan karena peralatan bisa saja mengandung komponen berbahaya sehingga harus dijaga selama proses penanganan dan transportasi;
  - e. Melakukan pemisahan dan pembongkaran peralatan, yaitu proses pembongkaran peralatan dan pemisahan seluruh komponennya agar dapat dikelompokkan. Proses ini dapat dilakukan manual maupun melalui mekanisme tertentu. Namun, proses perlu dilakukan dengan cermat karena bisa saja terdapat komponen yang membahayakan manusia dan lingkungan;
  - f. Melakukan perbaikan peralatan (*refurbishment*), yaitu proses yang dilakukan dengan dua langkah utama. Langkah pertama adalah verifikasi fungsionalitas perangkat keras, penghapusan data dan perangkat lunak di dalamnya, serta pemasangan perangkat keras baru. Langkah kedua adalah proses instalasi segala set instruksi (perangkat lunak dan sistem operasi) yang menyediakan fungsionalitas yang diinginkan pengguna;
  - g. Menggunakan kembali peralatan (*reuse*), yaitu proses perpanjangan masa hidup peralatan atau komponen peralatan tersebut dengan mengalihkan fungsi konseptual peralatan pada bagian lain organisasi. Pengujian fungsional perlu dilakukan untuk memastikan peralatan dapat digunakan kembali dengan fungsi konseptual yang sama; dan
  - h. Mendaur ulang (*recycle*) serta memperbaiki (*recovery*) peralatan yang dapat dilakukan baik secara manual maupun melalui mekanisme tertentu. Proses ini dapat dilakukan terhadap peralatan secara utuh maupun dipisah menjadi berbagai komponen kecil.

Dalam penelitian ini, jenis peralatan teknologi informasi dimaksud mencakup seluruh perangkat yang menggunakan teknologi digital dalam melakukan proses komputasi dan pemrosesan data (Industry Canada, 2012). Kategori peralatan teknologi informasi yang dijadikan objek penelitian dapat dilihat pada **Gambar 0.8**. Kategori ini didekomposisi lebih lanjut menjadi subkategori peralatan teknologi informasi. Kelompok peralatan yang digunakan mengikuti ketentuan yang dibuat oleh JISC, dengan sedikit penyesuaian (JISC, 2012).

Information Technology Assets Category and Sub-Category																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Server</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>In-house servers not cooled</td> </tr> <tr> <td>In-house standard servers cooled</td> </tr> <tr> <td>High performance servers in-house</td> </tr> </tbody> </table>	Server	In-house servers not cooled	In-house standard servers cooled	High performance servers in-house	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Telepon</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VOIP Phones</td> </tr> <tr> <td>Smartphones</td> </tr> <tr> <td>Other Phone Devices</td> </tr> </tbody> </table>	Telepon	VOIP Phones	Smartphones	Other Phone Devices	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Audio Visual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Projectors</td> </tr> <tr> <td>Video Conference Devices</td> </tr> <tr> <td>Other Audio Visual Devices</td> </tr> </tbody> </table>	Audio Visual	Projectors	Video Conference Devices	Other Audio Visual Devices																		
Server																																
In-house servers not cooled																																
In-house standard servers cooled																																
High performance servers in-house																																
Telepon																																
VOIP Phones																																
Smartphones																																
Other Phone Devices																																
Audio Visual																																
Projectors																																
Video Conference Devices																																
Other Audio Visual Devices																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Komputer</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Power Desktop PCs</td> </tr> <tr> <td>Standard Desktop PCs</td> </tr> <tr> <td>Power Laptop</td> </tr> <tr> <td>Standard Laptop</td> </tr> <tr> <td>LCD Monitors</td> </tr> <tr> <td>LED Monitors</td> </tr> <tr> <td>Thin Clients</td> </tr> <tr> <td>Tablets</td> </tr> <tr> <td>CPU</td> </tr> <tr> <td>UPS</td> </tr> <tr> <td>Other Computer Devices</td> </tr> </tbody> </table>	Komputer	Power Desktop PCs	Standard Desktop PCs	Power Laptop	Standard Laptop	LCD Monitors	LED Monitors	Thin Clients	Tablets	CPU	UPS	Other Computer Devices	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pemrosesan Gambar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Laser Printer</td> </tr> <tr> <td>Ink-Jet Printer</td> </tr> <tr> <td>Printer</td> </tr> <tr> <td>Scanner</td> </tr> <tr> <td>Copier</td> </tr> <tr> <td>Multi-function Devices</td> </tr> <tr> <td>Other Imaging Devices</td> </tr> </tbody> </table>	Pemrosesan Gambar	Laser Printer	Ink-Jet Printer	Printer	Scanner	Copier	Multi-function Devices	Other Imaging Devices	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Jaringan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fast Ethernet (10/100 Switch)</td> </tr> <tr> <td>Gigabit Ethernet (10/100/1000 Switch)</td> </tr> <tr> <td>Core Switch</td> </tr> <tr> <td>Access Point</td> </tr> <tr> <td>Router</td> </tr> <tr> <td>Hubs</td> </tr> <tr> <td>Edge Switch</td> </tr> <tr> <td>Power over Ethernet (PoE)</td> </tr> <tr> <td>Other Network Devices</td> </tr> </tbody> </table>	Jaringan	Fast Ethernet (10/100 Switch)	Gigabit Ethernet (10/100/1000 Switch)	Core Switch	Access Point	Router	Hubs	Edge Switch	Power over Ethernet (PoE)	Other Network Devices
Komputer																																
Power Desktop PCs																																
Standard Desktop PCs																																
Power Laptop																																
Standard Laptop																																
LCD Monitors																																
LED Monitors																																
Thin Clients																																
Tablets																																
CPU																																
UPS																																
Other Computer Devices																																
Pemrosesan Gambar																																
Laser Printer																																
Ink-Jet Printer																																
Printer																																
Scanner																																
Copier																																
Multi-function Devices																																
Other Imaging Devices																																
Jaringan																																
Fast Ethernet (10/100 Switch)																																
Gigabit Ethernet (10/100/1000 Switch)																																
Core Switch																																
Access Point																																
Router																																
Hubs																																
Edge Switch																																
Power over Ethernet (PoE)																																
Other Network Devices																																

**Gambar 0.8** Jenis peralatan teknologi informasi

Penelitian dilakukan di Institut Teknologi Bandung dengan memanfaatkan data peralatan teknologi informasi berasal dari Direktorat Sarana dan Prasarana (Maulidevi, 2024). Data yang digunakan adalah data peralatan dari tahun 2008 hingga 2022. Berdasarkan data, jumlah peralatan teknologi informasi yang dikelola ITB berjumlah sekitar 34.675 peralatan yang terbagi ke dalam enam kategori peralatan, seperti yang terlihat pada **Tabel 0.2**.

**Tabel 0.2** Ringkasan Portofolio Peralatan TI ITB

Kategori Peralatan	Jumlah	Persentasi
Server	743	2,14%

Kategori Peralatan	Jumlah	Persentasi
Komputer	24.180	69,73%
Jaringan	5.301	15,29%
Telepon	363	1,05%
Pemrosesan Gambar	4.063	11,72%
Audio Visual	25	0,07%
Total	34.675	100%

Estimasi emisi karbon peralatan teknologi informasi ITB dapat dilihat pada **Tabel 0.3**. Tabel tersebut menunjukkan bahwa peralatan teknologi informasi ITB adalah 3.338 ton CO<sub>2</sub>.

**Tabel 0.3** Estimasi Emisi Gas Karbon Peralatan Teknologi Informasi

Kategori Peralatan	Emisi Karbon (kg CO <sub>2</sub> /Tahun)	Persentasi
Server	1.669.120,35	50,0%
Komputer	1.103.956,69	33,1%
Jaringan	484.746,12	14,5%
Telepon	4.519,82	0,1%
Pemrosesan Gambar	59.417,54	1,8%
Audio Visual	16.565,38	0,5%
Total	3.338.326	100%

### 3.3 Emisi Karbon PLTU

Pada tahun 2019, Indonesia masuk dalam urutan ke-delapan dari sepuluh negara dengan emisi GRK terbesar di dunia. Emisi GRK yang dihasilkan Indonesia sebesar 1.002,4 MtCO<sub>2</sub>e, dengan penyumbang terbesar adalah sektor energi yang berasal dari penggunaan energi listrik sebesar 258,2 MtCO<sub>2</sub>e atau setara dengan 0,54% emisi global (Friedrich dkk., 2023). Pemerintah Indonesia ikut menandatangani Perjanjian Paris pada tanggal 22 April 2016 dan meratifikasinya melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016. Berdasarkan hal tersebut, Indonesia secara resmi bergabung dalam upaya global mengatasi perubahan iklim. Perjanjian ini bertujuan untuk menjaga peningkatan suhu global di bawah 2 derajat celsius. Melalui partisipasi dalam Perjanjian Paris, Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi GRK dan menerapkan langkah-langkah adaptasi terhadap perubahan iklim.

Pemerintah Indonesia berkomitmen melakukan penurunan emisi GRK pada tahun 2030 sebesar 29% atau setara dengan 834 juta ton CO<sub>2</sub>eq, sektor energi menjadi salah satu prioritas utama penurunan emisi karbon dengan target penurunan sebesar 314 juta ton CO<sub>2</sub>eq (Kementerian ESDM, 2020).

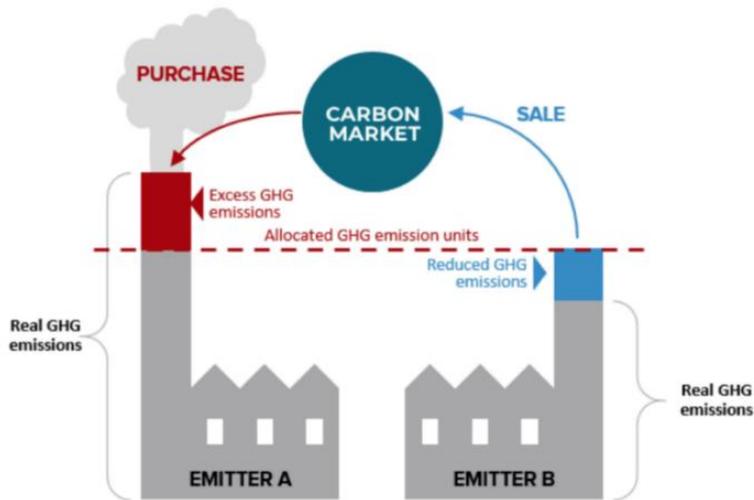
Pemerintah membuat regulasi yang mengatur tentang implementasi Nilai Ekonomi Karbon (NEK) melalui Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021. NEK merupakan nilai tiap unit emisi GRK yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dan kegiatan ekonomi. Selain itu, NEK diterapkan sebagai bagian dari upaya pemenuhan *Nationally Determined Contribution* (NDC). Terdapat beragam tindakan yang dapat dilakukan dalam mitigasi perubahan iklim yang dijelaskan dalam regulasi tersebut, salah satunya adalah perdagangan karbon. Perdagangan karbon merupakan mekanisme yang digunakan untuk mengurangi emisi GRK dengan cara transaksi unit karbon. Unit karbon merupakan bukti kepemilikan karbon dalam bentuk sertifikat yang tiap unitnya mewakili satu ton karbon dioksida atau setara GRK lainnya yang telah dihilangkan atau dikurangi dari emisi yang seharusnya terjadi.

Terdapat tiga mekanisme perdagangan karbon yang umum digunakan, yaitu:

- a. Perdagangan Emisi (*Emission Trading atau Cap and Trade*). Mekanisme ini melibatkan pembatasan jumlah total emisi GRK yang diizinkan dalam suatu wilayah atau sektor tertentu. Setiap entitas diberikan alokasi hak emisi tertentu, jika entitas berhasil mengurangi emisi di bawah alokasi hak emisinya maka entitas tersebut dapat menjual sisa hak emisi yang dimilikinya kepada entitas lain yang melebihi alokasi hak emisinya.
- b. Implementasi Bersama (*Joint Implementation*). Mekanisme ini melibatkan kerja sama antara dua negara untuk mengurangi emisi GRK. Negara yang memiliki target pengurangan emisi lebih tinggi dapat berinvestasi dalam proyek pengurangan emisi di negara lain yang memiliki potensi pengurangan emisi yang lebih rendah. Negara yang berinvestasi akan memperoleh hak atas pengurangan emisi yang dicapai dalam proyek tersebut.
- c. Pembangunan Bersih (*Clean Development Mechanism*). Mekanisme ini melibatkan proyek pengurangan emisi GRK yang dilakukan di negara berkembang. Negara atau entitas dari negara maju dapat berinvestasi dalam proyek pengurangan emisi di negara berkembang dan memperoleh hak atas pengurangan emisi yang terjadi dalam proyek tersebut. Tujuan dari mekanisme ini adalah untuk membantu negara berkembang dalam upaya pengurangan emisi GRK.

Ilustrasi mekanisme perdagangan karbon dengan skema *cap and trade* dapat dilihat pada **Gambar 0.9**.

Penelitian ini dilakukan pada salah satu perusahaan listrik swasta di Indonesia yang menggunakan sumber daya pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) untuk menghasilkan energi listrik (Herawati, 2023). Saat ini perusahaan tersebut masih menggunakan perhitungan secara manual untuk memperoleh data emisi GRK dihasilkan. Penelitian bertujuan mengembangkan model sistem cerdas untuk optimasi dan prediksi emisi karbon. Rancangan solusi sistem yang diusulkan dapat dilihat pada **Gambar 0.10**.



**Gambar 0.9** Skema *Cap and Trade* (Solomon, 2022).

Pengembangan model optimasi dan model prediksi emisi karbon dilakukan dengan memanfaatkan kumpulan histori data internal dan data eksternal. Data dilatih menggunakan pendekatan *machine learning* dengan menggabungkan model *time series* dan model regresi. Pemodelan optimasi emisi karbon dilakukan dengan menggunakan model *time series* untuk memprediksi setiap *feature* atau *variable* sebagai *input* pada model regresi untuk melakukan prediksi emisi karbon.



**Gambar 0.10** Model Rancangan Solusi



## 4 TATA KELOLA SISTEM INFORMASI BERKELANJUTAN

Pada era di mana teknologi informasi memainkan peran kunci dalam mengelola dan mengoptimalkan sumber daya, penting bagi organisasi untuk memahami pentingnya integrasi sistem informasi yang berkelanjutan. Dalam bab ini, kami menghadirkan sebuah kerangka kerja yang dirancang untuk membimbing perencanaan, pengembangan, dan pengelolaan sistem informasi berkelanjutan.

Kerangka kerja tidak hanya bertujuan untuk memastikan bahwa sistem informasi beroperasi secara efisien, tetapi juga untuk mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan, masyarakat, dan ekonomi secara keseluruhan. Keberlanjutan bukanlah hanya tentang menjaga sumber daya alam, tetapi juga tentang menciptakan nilai jangka panjang bagi semua pemangku kepentingan.

Melalui penekanan pada inovasi, kolaborasi, dan tanggung jawab sosial, kerangka kerja bertujuan untuk membantu organisasi memanfaatkan teknologi informasi sebagai alat untuk mencapai tujuan keberlanjutan mereka. Dengan memperkuat hubungan antara teknologi dan keberlanjutan, diharapkan organisasi dapat menciptakan nilai jangka panjang yang berkelanjutan bagi semua pemangku kepentingan, serta memperkuat posisi mereka dalam menghadapi tantangan-tantangan masa depan yang kompleks.

### 4.1 Governance & Management Framework for Green IT

Organisasi semakin prihatin terhadap menurunnya kualitas lingkungan, sehingga praktik-praktik berkelanjutan diadopsi dalam proses bisnis mereka. Pada bidang teknologi informasi beberapa praktik *Green IT* telah diusulkan secara terpisah, sehingga diperlukan sebuah kerangka kerja jika *Green IT* ingin diimplementasikan dan ditingkatkan secara efisien dan terintegrasi. Patón-Romero (Romero, 2018) mengusulkan sebuah model kematangan berdasar ISO/IEC 15504 untuk membantu organisasi mengimplementasikan tata kelola dan manajemen *Green IT* secara bertahap, serta meningkatkan tingkat kematangan mereka pada bidang ini.

Penelitian Patón menghasilkan sebuah kerangka kerja yang bernama *Governance and Management Framework for Green IT*, atau disingkat GMGIT (Romero, 2017). Kerangka kerja dirancang menggunakan COBIT 5 sebagai acuan. Penelitian kemudian dilanjutkan dengan menggunakan standar ISO/IEC 15504 (J. David Patón-Romero dkk., 2018), dan diperbarui kembali dengan menggunakan standar ISO/IEC 33000. Hasil penelitian adalah GMGIT 2.0 yang memiliki *maturity model* dan *capability model*. Kerangka kerja terus dikembangkan hingga menjadi GMGIT 4.0. Perkembangan kerangka kerja GMGIT dari versi 1.0 hingga ke GMGIT versi 4.0 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 0.11 Perkembangan Kerangka Kerja GMGIT

## 4.2 UNEP Sustainable Framework

Perserikatan Bangsa-Bangsa mengeluarkan kerangka kerja sebagai upaya menciptakan perguruan tinggi yang berkelanjutan (UNEP, 2021). Kerangka kerja terdiri atas empat area utama dan setiap area utama dibagi menjadi empat aspek. Area utama dan aspek setiap area adalah:

1. *Environment & Climate* (lingkungan dan iklim) memiliki aspek air, sampah, biodiversitas, mitigasi dan adaptasi iklim, perjalanan, konstruksi, dan energi.
2. *Teaching & Research* (pengajaran dan penelitian) memiliki aspek belajar mengajar, riset, dan keterlibatan mahasiswa.
3. *People & Society* (orang dan masyarakat) memiliki aspek keberagaman, kesetaraan, keterlibatan dan partisipasi, akses, komunitas, serta kesehatan dan kesejahteraan.

4. *Administration & Governance* (administrasi dan tata kelola) memiliki aspek kepemimpinan, etika, sumber daya manusia, jaringan bisnis, tata kelola, dan keuangan.

Keempat aspek saling beririsan satu sama lain dan membentuk apa yang disebut sebagai *sustainable university* sebagaimana terlihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 0.12** *Sustainable University Core Areas*

Untuk setiap aspek, didefinisikan empat langkah menuju universitas berkelanjutan. Langkah-langkah tersebut adalah:

1. *Emerging*, yaitu perguruan tinggi baru mulai bergerak ke arah keberlanjutan.
2. *Progressing*, yaitu perguruan tinggi telah menghasilkan kemajuan dalam memformalkan keberlanjutan yang dicapai institusi.
3. *Established*, yaitu perguruan tinggi telah memiliki pendekatan menuju keberlanjutan dan struktur yang mapan untuk mendukung pendekatan tadi.
4. *Leading*, yaitu perguruan tinggi menjadi percontohan / model bagi institusi lain.

### 4.3 Green ICT Framework

Kerangka kerja ini bertujuan untuk mengevaluasi jejak karbon penggunaan perangkat teknologi informasi dan komunikasi di perguruan tinggi. Terdapat empat pilar utama dalam praktik penggunaan teknologi informasi berkelanjutan di perguruan tinggi seperti terlihat pada **Gambar 0.13**. Keempat pilar tersebut adalah:

1. *Cloud computing adoption*

Pilar ini dianggap penting karena adopsi *cloud computing* mampu mengurangi energi yang diperlukan untuk komputasi. Salah satu contoh studi kasus yang disajikan adalah adopsi *cloud computing* oleh US General Service Administration yang mampu menghemat penggunaan energi hingga 93%, dan menghasilkan pengurangan emisi karbon hingga 85%.

2. *Greening the data center*

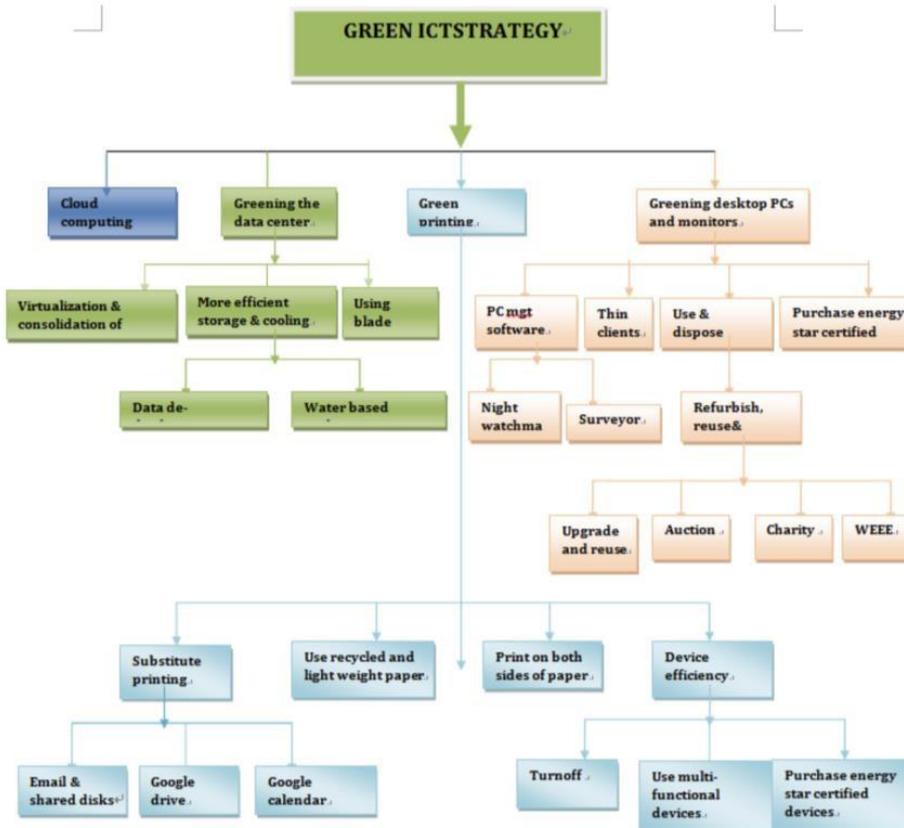
Data center merupakan sebuah ‘*powerhouse*’ bagi jaringan IT karena mengonsumsi energi yang terbilang besar dan terus menerus. Maka dari itu, pusat data menjadi salah satu pilar pada kerangka kerja ini.

3. *Green Printing*

Tidak dipungkiri perguruan tinggi banyak menggunakan kertas, baik untuk kegiatan utama belajar mengajar maupun kegiatan administratif. Oleh karenanya green printing menjadi salah satu pilar pada kerangka kerja ini. Beberapa strategi yang dapat dilakukan antara lain penggunaan teknologi *cloud* untuk penulisan dokumen bersama, undangan meeting melalui *email* dan kalender daring alih-alih mencetak di kertas, menggunakan proyektor dan dokumen *soft copy* ketika *diadakan pertemuan* alih-alih mencetak di kertas, dan sebagainya.

4. *Greening desktop computers and monitors*

Pilar keempat didasari oleh beberapa penelitian yang menyebutkan bahwa komputer desktop dan monitor mengambil porsi yang cukup signifikan dalam penggunaan energi. Beberapa langkah yang diajukan antara lain menggunakan *PC management software* untuk memantau monitor seang menyala tetapi tidak digunakan, meningkatkan kesadaran civitas akademik terhadap *green practice*, pengadaan perangkat memperhatikan label penilaian energi, dan sebagainya.



Gambar 0.13 Kerangka Kerja Green ICT untuk perguruan tinggi

#### 4.4 Kerangka Kerja GITHEI

Pesatnya perkembangan teknologi semakin menunjukkan pentingnya penerapan konsep *green information technology* (*green IT* – teknologi informasi ramah lingkungan) pada organisasi, termasuk perguruan tinggi. Sebagai institusi pendidikan, perguruan tinggi menggunakan teknologi informasi dalam jumlah banyak untuk mendukung kegiatan belajar mengajar. Penggunaan teknologi informasi yang semakin terus meningkat akan menghasilkan dampak negatif bagi lingkungan jika tidak diatur dengan baik.

Penelitian tahun 2008 mengestimasi konsumsi energi terkait perangkat *ICT pada Higher Education* di Britania Raya mencapai 480.000–540.000 MWh/tahun (James, P., 2009). Angka ini terus bertambah karena pada rentang tahun 2016 - 2022 jumlah mahasiswa di Britania Raya bertumbuh lebih dari 350.000 orang menjadi 2.751.865 mahasiswa. Di sisi lain, Indonesia memiliki

jumlah mahasiswa yang jauh lebih banyak, yaitu 8.400.000 mahasiswa yang tersebar di lebih dari 4.500 perguruan (Statistik Pendidikan Tinggi 2020, 2020). Berdasarkan angka tersebut, penggunaan teknologi informasi pada perguruan tinggi di Indonesia diduga mengkonsumsi energi yang jauh lebih banyak.

Inisiatif ITB *Eco Campus* bertujuan untuk mewujudkan lingkungan kampus yang ramah lingkungan, hijau, dan berkelanjutan. ITB *Eco Campus* mengacu pada dua metode pengukuran untuk menciptakan perguruan tinggi yang berkelanjutan yaitu UI *GreenMetric* dan THE *Impact Rankings*. Inisiatif ITB *Eco Campus* juga melibatkan teknologi informasi dalam strategi pelaksanaannya. Teknologi informasi berperan dalam penyusunan alat bantu yang digunakan untuk pengumpulan data, analisis data, serta evaluasi hasil untuk dapat meningkatkan kinerja ITB yang berkelanjutan.

Penelitian ini dilakukan untuk membuat kerangka kerja yang dapat memandu kegiatan implementasi teknologi informasi ramah lingkungan di perguruan tinggi, berdasarkan studi kasus di Institut Teknologi Bandung. Hasil penelitian berupa sebuah kerangka kerja yang diberi nama *Green Information Technology for Higher Education Institution (GITHEI)* (Segara, 2023). Hasil penelitian dapat digunakan sebagai pedoman praktis bagi perguruan tinggi dalam menerapkan penggunaan teknologi informasi ramah lingkungan dan mengurangi jejak emisi karbon yang dihasilkan.

Kerangka kerja implementasi teknologi informasi GITHEI dibuat berdasarkan model rancangan pengambilan keputusan untuk adopsi strategi teknologi informasi dan komunikasi yang berkelanjutan (Gu dkk., 2015), akan tetapi tidak semua elemen model digunakan dalam penelitian ini. Hubungan antar-elemen yang digunakan dalam pembuatan kerangka kerja dapat dilihat pada gambar Gambar 0.14.



**Gambar 0.14** Kerangka Kerja Implementasi Teknologi Informasi Berkelanjutan

*Green Goal* adalah tujuan keberlanjutan yang ingin dicapai perguruan tinggi. Sedangkan *green strategy* adalah kelompok praktik ramah lingkungan

yang bertujuan mengatasi masalah keberlanjutan dan *green practice* adalah praktik / inisiatif terkait dengan *green IT*. Setiap *green goal* dapat didukung oleh lebih dari satu *green strategy* dan setiap *green strategy* dapat mendukung lebih dari satu *green goal*. Setiap *green strategy* terdiri atas berbagai *green practice*, namun setiap *green practice* hanya tergabung ke dalam satu *green strategy*. Meskipun pada kerangka kerja yang dihasilkan terdapat *green practice* yang serupa, tetapi setiap *green practice* tetap dianggap berbeda. Hal ini akan berpengaruh pada pemberian ID untuk setiap *green practice*.

Untuk mengukur ketercapaian suatu *Green Goal*, digunakan perhitungan *achievement score*. Perhitungan *achievement score* dimulai dari *Green Practice*, akan tetapi perlu menjadi catatan bahwa metrik ketercapaian setiap *Green Practice* dibebaskan kepada setiap perguruan tinggi dan tidak diatur di dalam GITHEI. Nilai *achievement score* dari *Green Practice* akan menentukan nilai *achievement score* dari *Green Strategy* dan *Green Goal* yang didukungnya.



# PENUTUP

Dalam konteks keberlanjutan, peran sistem informasi sangatlah krusial. Sistem informasi berperan penting dalam mendukung perusahaan dan organisasi untuk mengadopsi praktik bisnis yang berkelanjutan. Penggunaan sistem informasi yang efektif tidak hanya membantu mengurangi jejak karbon organisasi dan mendukung pencapaian target lingkungan yang lebih luas, tetapi juga memungkinkan manajemen data, informasi, dan pengetahuan yang relevan terkait keberlanjutan.

Jejak karbon merupakan ukuran dari jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh suatu entitas atau kegiatan. Dalam teknologi informasi, jejak karbon teknologi informasi mencakup emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari penggunaan infrastruktur seperti pusat data dan jaringan komunikasi. Pengelolaan jejak karbon teknologi informasi menjadi semakin penting karena pertumbuhan pesat teknologi informasi yang memperkuat dampak lingkungan yang terkait dengannya.

Manajemen dan tata kelola sistem informasi berkelanjutan menjadi landasan yang penting dalam memastikan bahwa organisasi memanfaatkan sistem informasi secara bertanggung jawab dan efisien. Ini melibatkan pengembangan kebijakan dan praktik yang mendukung penggunaan sumber daya teknologi informasi yang berkelanjutan, pemantauan dan pengurangan jejak karbon teknologi informasi, serta integrasi prinsip-prinsip keberlanjutan dalam pengembangan dan penerapan sistem informasi.

Pemahaman tentang keterkaitan antara sistem informasi dengan keberlanjutan, pengelolaan jejak karbon teknologi informasi, dan praktik manajemen dan tata kelola yang berkelanjutan sangatlah penting bagi perusahaan dan organisasi yang ingin merangkul masa depan yang berkelanjutan. Dengan penerapan pendekatan yang holistik dan berkelanjutan dalam penggunaan sistem informasi, organisasi dapat berperan aktif dalam mempromosikan keberlanjutan dan meningkatkan kesejahteraan bagi semua pemangku kepentingan.

Implementasi sistem informasi berkelanjutan di perguruan tinggi dapat dihadapkan pada sejumlah batasan dan hambatan yang perlu diatasi. Berikut

adalah beberapa tantangan yang umumnya dihadapi dalam mengimplementasikan sistem informasi berkelanjutan di perguruan tinggi.

1. **Keterbatasan sumber daya finansial:** Pengembangan dan implementasi sistem informasi berkelanjutan sering kali memerlukan investasi finansial yang signifikan. Perguruan tinggi mungkin menghadapi keterbatasan anggaran untuk mengalokasikan dana yang cukup untuk proyek ini, terutama jika ada prioritas anggaran lain yang mendesak.
2. **Kompleksitas infrastruktur teknologi yang ada:** Pengembangan dan implementasi sistem informasi berkelanjutan sering kali memerlukan investasi finansial yang signifikan. Perguruan tinggi mungkin menghadapi keterbatasan anggaran untuk mengalokasikan dana yang cukup untuk proyek ini, terutama jika ada prioritas anggaran lain yang mendesak.
3. **Kesadaran dan keterlibatan pengguna:** Keberhasilan sistem informasi berkelanjutan sangat bergantung pada kesadaran dan keterlibatan pengguna, baik itu mahasiswa, staf, atau pihak administrasi. Tantangan yang mungkin timbul adalah memastikan bahwa semua pemangku kepentingan memiliki pemahaman yang memadai tentang pentingnya sistem informasi berkelanjutan dan berpartisipasi aktif dalam penerapannya.
4. **Kebutuhan akan penyesuaian budaya organisasi:** Implementasi sistem informasi berkelanjutan sering kali memerlukan perubahan dalam budaya organisasi, proses bisnis, dan praktik kerja. Mengubah kebiasaan dan pola pikir yang sudah mapan dapat menjadi tantangan yang signifikan bagi perguruan tinggi yang telah memiliki struktur organisasi yang kompleks.
5. **Ketergantungan pada pihak ketiga:** Beberapa perguruan tinggi mungkin bergantung pada penyedia layanan pihak ketiga untuk sistem informasi mereka. Tergantung pada pihak ketiga ini dapat membawa risiko terkait dengan keamanan data, keandalan layanan, dan fleksibilitas dalam mengadaptasi perubahan kebutuhan perguruan tinggi.
6. **Ketidakpastian regulasi dan kebijakan:** Peraturan dan kebijakan yang berkaitan dengan lingkungan dan keberlanjutan dapat berubah-ubah dari waktu ke waktu, menciptakan ketidakpastian bagi perguruan tinggi dalam merencanakan dan menerapkan sistem informasi berkelanjutan yang sesuai dengan regulasi yang berlaku.

7. **Kekurangan tenaga ahli:** Implementasi sistem informasi berkelanjutan membutuhkan keahlian khusus dalam pengelolaan teknologi informasi dan keberlanjutan. Kekurangan tenaga ahli yang memahami baik aspek teknis maupun keberlanjutan bisa menjadi hambatan dalam mengembangkan dan mengelola sistem informasi berkelanjutan dengan efektif.

Mengatasi tantangan-tantangan ini memerlukan komitmen yang kuat dari berbagai pihak di perguruan tinggi, termasuk pimpinan, staf, dan mahasiswa, serta strategi yang komprehensif untuk mengelola perubahan budaya, teknis, dan kebijakan yang diperlukan. Dengan pendekatan yang tepat, perguruan tinggi dapat mengatasi batasan dan hambatan tersebut dan membangun sistem informasi berkelanjutan yang berhasil.



# UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah Swt., Tuhan semesta alam yang berkat rahmat dan rida-Nya buku orasi ilmiah guru besar dapat diselesaikan. Pada kesempatan ini perkenankan saya mengucapkan terima kasih kepada Rektor ITB dan jajarannya, Pimpinan dan Anggota Senat Akademik ITB, serta Pimpinan dan Anggota Forum Guru Besar ITB atas segala dukungan, bantuan, dan kesempatan yang diberikan hingga Orasi ilmiah dapat terlaksana.

Ucapan terima kasih disampaikan pada Dekan Sekolah Teknik Elektro dan Informatika beserta jajarannya, Pimpinan dan Anggota Senat STEI, kepada Profesor Carmadi Machbub, Profesor Armein Z.R. Langi, almarhum Profesor Dwi Hendratmo, almarhum Profesor Adit Kurniawan, Profesor Deddy Kurniadi, Profesor Daryono Hadi Tjahyono, Profesor Siti Nurmaini, Profesor Taufik Fuadi Abidin, dan Profesor Vitaliy Mezhuyev yang telah berkenan memberikan dukungan dan rekomendasi kenaikan pangkat Guru Besar.

Kepada para Dosen, Asisten Akademik, dan Tenaga Kependidikan di Kelompok Keahlian Informatika saya ucapkan terima kasih atas kerjasama dan dukungan yang baik dalam melaksanakan kegiatan Tridharma.

Terkhusus terima kasih yang tak terhingga disampaikan kepada orang tua tercinta almarhum Bapak Sujarwo Pujolasmono dan almarhumah Ibu Sunarlien, yang telah membesarkan dan mendidik untuk mewujudkan cita-cita; kakak dan adik yang selalu mendukung dan saling mengingatkan; dan juga kepada almarhum Bapak Abdul Majid Samad dan Ibu Rubuhana yang selalu memberikan doa dan dukungan.

Ucapan terima kasih yang istimewa untuk istri, anak-anak, menantu, dan cucu tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan, kasih sayang, motivasi, semangat, dan canda tawa selama ini dan masa mendatang.

Masih banyak pihak yang telah berjasa namun tidak dapat saya sebutkan satu per satu pada kesempatan ini, untuk itu saya terima kasih. Semoga amal baik semuanya diberikan rida Allah Swt..



# DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, D. (2014) *Applied predictive analytics: principles and techniques for the professional data analyst*, Wiley, Indianapolis, IN, 427.
- Collin, R. W., & Schwartz, D. A. (2011). Carbon Offsets. *Encyclopedia of Contemporary American Social Issues*, vol. 4: Environment, Science, and Technology, 1311–1314.
- DeSimone, L. D., Popoff, F., and World Business Council for Sustainable Development. (1997) *Eco-Efficiency: The Business Link to Sustainable Development*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Doll, J. E., dan Baranski, M. (2011) *Greenhouse Gas Basics*, Michigan State University.
- Dyllick, T., and Hockerts, K. (2002) Beyond the Business Case for Corporate Sustainability, *Business Strategy and the Environment* (11:2), pp. 130–141.
- Erdelyi, K. (2013) Special Factors of Development of Green Software Supporting Eco Sustainability, 2013 IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), IEEE, Subotica, Serbia, 337–340. <https://doi.org/10.1109/SISY.2013.6662597>
- European Investment Bank. (2022). *EIB Project Carbon Footprint Methodologies*. Luxembourg: European Investment Bank,. Retrieved from [eib.org: https://www.eib.org/en/publications/eib-project-carbon-footprint-methodologies](https://www.eib.org/en/publications/eib-project-carbon-footprint-methodologies)
- Friedman, T. (2007) *The World Is Flat*. New York. Picador.
- Friedrich, J., Ge, M., Pickens, G., dan Vigna, L. (2023): This Interactive Chart Shows Changes in the World's Top 10 Emitters, <https://www.wri.org/insights/interactive-chart-shows-changes-worlds-top-10-emitters>. Diunduh pada tanggal 20 Maret 2023.
- GHG Protocol Team. (2004): *A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Green House Gas Protocol. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, USA, 3, 25-33.
- Gu, Q., Lago, P., dan Bozzelli, P. (2015): A Decision-Making Model for Adopting Green ICT Strategies, 285–300 dalam C. Calero dan M. Piattini, ed., *Green in Software Engineering*, Springer International Publishing, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-08581-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08581-4_12)
- Gray, R., and Bebbington, K. (2000). Environmental Accounting, Managerialism and Sustainability: Is the Planet Safe in the Hands of Business and Accounting?, *Advances in Environmental Accounting and Management* (1:1), pp. 1-44.

- Güereca, L. P., Torres, N., dan Noyola, A. (2013) Carbon Footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico, *Journal of Cleaner Production*, 47, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.030>
- Hans, M., Hikmawati, E., & Surendro, K. (2023) Predictive Analytics Model for Optimizing Carbon Footprint From Students' Learning Activities in Computer Science-Related Majors. *IEEE Access*. Volume 11, Pages 114976 – 114991
- Head, B. W. (2022). *Wicked problems in public policy*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94580-0>
- Herawati, N.A., Surendro, K., & Hikmawati, E. (2023) Development of Intelligent Carbon Emission Monitoring Methodology to Support Carbon Trading with a Design Thinking Approach: A Case Study in PT Paiton Energy. *Proceedings of the 10th International Conference on ICT for Smart Society*, Bandung
- Hoffert, M., Caldeira, K., Benford, G, Criswell, D., Green, C, Herzog, H., Jain, A., Kheshgi, ., Lackner, ., and Lewis, J. (2002) *Advanced Technology Paths to Global Climate Stability: Energy for a Greenhouse Planet*, *Science* (298:5595),p p. 981-987.
- Hull, R. B., Mortimer, M., & Robertson, D. P. (2020). *Leadership for Sustainability: Strategies for Tackling Wicked Problems*. United States: Island Press.
- Industry Canada (2012) *Information Technology Equipment (ITE) – Limits and Methods of Measurement*, (5).
- Institut Teknologi Bandung (2022) *Tentang ITB*, diperoleh 5 Desember 2022, melalui situs internet: <https://www.itb.ac.id/tentang-itb>.
- James, P., Hopkinson, L. (2009) *Sustainable ICT in Further and Higher Education*.
- JISC, S. (2012) *Sustainable ICT Energy and Carbon Footprinting Tool*, JISC. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2020) *Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi*, v. 1-3.
- Langevin, J., Gurian, P. L., dan Wen, J. (2013) Reducing energy consumption in low income public housing: Interviewing residents about energy behaviors, *Applied Energy*, 102, 1358–1370. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.07.003>
- Larsen, H. N., Pettersen, J., Solli, C., dan Hertwich, E. G. (2013) Investigating the Carbon Footprint of a University - The case of NTNU, *Journal of Cleaner Production*, 48, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.007>
- Laudon, K.C., Laudon, J.P. (2022) *Management Information Systems – Managing The Digital Firm*, 17th edition. Pearson Education.
- Li, X., Tan, H., dan Rakes, A. (2015) Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university campus in China, *Journal of*

- Cleaner Production, 106, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.084>
- Maulidevi, N.U., Christianto, V.G., Hikmawati, E., & Surendro, K. (2024) Development of prediction model for information technology equipment procurement as the basis of knowledge for an Intelligent Decision Support System based on carbon emissions and End-of-Life phase. *Resources, Environment and Sustainability* 16 (2024) 100151.
- McCalley, L. T. (2006) From Motivation and Cognition Theories to Everyday Applications and Back Again: The Case of Product-Integrated Information and Feedback, *Energy Policy* (34:2), pp. 129-137.
- McDonough, W., and Braungart, M. (1998) The NEXT Industrial Revolution, *The Atlantic Monthly*, October (<http://www.theatlantic.com/doc/199810/environment>).
- McKinsey Technology (2022) The green IT revolution: A blueprint for CIOs to combat climate change.
- Murugesan, S. (2008) *Harnessing Green IT: Principles and Practices*, Green Computing.
- Rawson, M. (2021) *The nature of tomorrow: A history of the environmental future*. Yale University Press.
- Romero, J.D., Baldassarre, M., Piattini, M., dan García Rodríguez De Guzmán, I. (2017) A Governance and Management Framework for Green IT, *Sustainability*, 9(10), 1761. <https://doi.org/10.3390/su9101761>
- Romero, J. D., Baldassarre, M. T., Rodríguez, M., & Piattini, M. (2018) Green IT Governance and Management Based on ISO/IEC 15504, *Computer Standards & Interfaces*, 60, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.04.005>
- Segara, P., Hikmawati, E., & Surendro, K., (2023) Towards Sustainable Higher Education: A Framework for Implementing Green IT Strategies. *Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics*. Bandung
- Statistik Pendidikan Tinggi 2020. (Desember 2020) Sekretaris Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- Stemmers, K., dan Yun, G. Y. (2009) Household energy consumption: a study of the role of occupants, *Building Research & Information*, 37(5–6), 625–637. <https://doi.org/10.1080/09613210903186661>
- Tavanti, M. (2023) *Developing Sustainability in Organizations - A Values-Based Approach*. Switzerland. Palgrave Macmillan
- Thibodeau, P. (2007) Gartner's Top 10 Strategic Technologies for 2008, *Computerworld*, October 9.
- Thunberg, G. (2023). *The climate book: The facts and the solutions*. Penguin Press.

- Tomlinson, B. (2010) *Greening Through IT: Information Technology for Environmental Sustainability*, MIT Press, Cambridge.
- Uddin, M., Okai, S., & Saba, T. (2017) Green ICT Framework to Reduce Carbon Footprints in Universities, *Advances in Energy Research*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.12989/ERI.2017.5.1.001>
- UI GreenMetric, <https://greenmetric.ui.ac.id/>.
- UNEP Sustainable University Framework (2021) United Nations Environment Programme.
- Watson, R.T., Boudreau, M-C., & Chen, A.J., *Information Systems and Environmentally Sustainable Development: Energy Informatics and New Directions for the IS Community*. *MIS Quarterly*, Vol. 34, No. 1 (March 2010), pp. 23-38
- Wiedmann, T. dan Minx, J. (2008) A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1*, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.
- World Business Council for Sustainable Development, dan World Resources Institute (Ed.) (2004) *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Rev. ed)*, World Business Council for Sustainable Development; World Resources Institute, Geneva, Switzerland : Washington, DC, 112.
- Worthington, T. (2017): *ICT sustainability: assessment and strategies for a low carbon future (Second edition)*, Tomw Communications Pty Ltd., Belconnen, ACT.

# CURRICULUM VITAE



Nama : Kridanto Surendro  
Tempat/tanggal lahir : Pekalongan, 12-08-1964  
Kelompok Keahlian : Informatika  
Alamat Kantor : Jalan Ganesa 10 Bandung  
Nama Istri : Raya Padni  
Nama Anak : Aditya Rendra Pradhana  
Adriansyah Rendra Kusuma  
Kireina Rendra Savira

## I. Riwayat Pendidikan

No.	Jenjang Pendidikan	Perguruan Tinggi	Tahun Lulus	Bidang
1	Sarjana	Institut Teknologi Bandung	1987	Teknik Industri
2	Magister	Institut Teknologi Bandung	1991	Teknik & Manajemen Industri
3	Doktor	Keio University	1999	Ilmu Komputer

## II. Riwayat Kerja di ITB

No	Nama Jabatan	Tahun	Surat Keputusan
1	Ketua Komisi IV Senat Akademik ITB	2024	
2	Ketua Kelompok Keahlian Informatika	2023 - 2028	SK Rektor ITB no. 1640B/IT1.A/SK-KP/2023
3	Kepala Laboratorium Sistem Informasi	2021	SK Dekan STEI No. 0001/IT1.C12/SK-KP/2021
4	Kepala Laboratorium Sistem Informasi	2020	SK Dekan STEI No. 0024/SK/I1.C07/PP/2020

## III. Riwayat Kepangkatan

No.	Pangkat	Golongan	TMT	Surat Keputusan
1	CPNS	III/a	1 Februari 1991	SK Mendikbud No. 610/PT07.H15/SK/C.1/1991 Tgl. 10 Juni 1991

No.	Pangkat	Golongan	TMT	Surat Keputusan
2	PNS / Penata Muda	III/a	1 Desember 1992	SK Mendikbud No. 1025/PT07.H2/C.1K.2/SK/1992 Tgl. 11 November 1992
3	Penata Muda Tk. I	III/b	1 Oktober 1995	SK Mendikbud No. 1751/PT07.H2/C.1K.10/SK/1996 Tgl. 27 Februari 1996
4	Penata	III/c	1 Oktober 2000	SK Mendikbud No. 1589/K01.2/KP.03.3/SK/2000 Tgl. 18 November 2000
5	Penata TK. I	III/d	1 April 2007	SK Mendikbud No. 213/SK/K01/KP.03.3/2007 Tgl. 13 Agustus 2007
6	Pembina	IV/a	1 April 2009	SK Menristek dan Dikti No. 54421/A4.5/KP/2009 Tgl. 13 Juli 2009
7	Pembina Tk. I	IV/b	1 Oktober 2018	SK Menristek dan Dikti No. 45378/A2.3/KP/2018 Tgl. 17 Oktober 2018
8	Pembina Utama Muda	IV/c	1 April 2013	SK Presiden RI No. 64/K Tahun 2013 Tgl. 15 Juli 2023

#### IV. Riwayat Jabatan Fungsional

No	Nama Jabatan	TMT	Surat Keputusan
1	Asisten Ahli Madya	1 Juli 1993	SK Mendikbud RI No. 393a/SK/PT07.H/C/1993
2	Asisten Ahli	31 Agustus 1995	SK Mendikbud RI No. 427.30/SK/PT07.H/C/1995
3	Lektor Muda	1 Januari 2000	SK Mendikbud RI No. 542a/SK/K01/KP.03.3/1999
4	Lektor	1 Januari 2001	SK Mendiknas RI No. 236/K01/KP/INPASS- JAB/2001
5	Lektor Kepala	1 Agustus 2006	SK Mendiknas RI No. 55058/A2.7/KP/2006
6	Guru Besar	1 Juni 2023	SK Mendikbudristek RI No. 36997/M/07/2023

#### V. Kegiatan Penelitian

No	Judul Penelitian	Program	Tahun
1	Model Prediksi Emisi Gas Karbon Aktivitas dan Perilaku Manusia daerah Perkotaan	Riset Internasional 2023	2024
2	Model Prediksi Jejak Karbon pada Industri Pertambangan	Penelitian Kerjasama ITB - Freeport	2024
3	Model Prediksi Gas Rumah Kaca	Riset Guru Besar 2024	2024

No	Judul Penelitian	Program	Tahun
4	Model Perhitungan Jejak Karbon Peralatan Teknologi Informasi pada Institut Teknologi Bandung	Riset PPMI KK 2024	2024
5	Intelligent Decision Support System untuk Pengelolaan Emisi Karbon Perangkat TIK	Riset Pengembangan Unggulan ITB 2023	2023
6	Metode Algoritma Firefly Berbasis Class Center Pada Data Hilang Dengan Mekanisme Missing At Random	Riset PPMI KK 2023	2023
7	Penentuan Topologi Fully Connected Layer pada Convolutional Neural Networkk (CNN) untuk Dataset Tabular	Riset PPMI KK 2022	2022
8	AI Governance Model	Riset PPMI KK 2021	2021
9	Pengembangan Model Indigenous Knowledge Management berbasis Teknologi Informasi	Riset ITB	2016-2018
10	Pengembangan Model Adopsi Cloud Computing untuk Perguruan Tinggi	Riset ITB	2014 - 2015

## VI. PUBLIKASI

No	Paper Jurnal Internasional
1	Shalahuddin, M., Sunindyo, W. D., Effendi, M. R., & Surendro, K. (2024). Fuzzy-set qualitative comparative analysis (fsQCA) for validating causal relationships in system dynamics models. <i>Engineering Reports</i> . <a href="https://doi.org/10.1002/eng2.12855">https://doi.org/10.1002/eng2.12855</a>
2	Rismala, R., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2024). Personalized neural network-based aggregation function in multi-criteria collaborative filtering. <i>Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences</i> , 36(1). <a href="https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2024.101922">https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2024.101922</a>
3	Nugroho, H., & Surendro, K. (2024). A Comprehensive Bibliometric Analysis of Missing Value Imputation. <i>IEEE Access</i> , 12, 14819–14846. <a href="https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3357533">https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3357533</a>
4	Aji, B. S. K., Hikmawati, E., & Surendro, K. (2023). Implementation of Design Thinking in Smart Carbon Footprint Monitoring Model for Buildings Case Study: Bandung Institute of Technology. <i>ACM International Conference Proceeding Series</i> , 46–52. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587836">https://doi.org/10.1145/3587828.3587836</a>
5	Aradea, Supriana, I., & Surendro, K. (2023). ARAS: adaptation requirements for adaptive systems: Handling runtime uncertainty of contextual requirements. <i>Automated Software Engineering</i> , 30(1). <a href="https://doi.org/10.1007/s10515-022-00369-3">https://doi.org/10.1007/s10515-022-00369-3</a>
6	Hans, Michael, Hikmawati, E., & Surendro, K. (2023). Predictive Analytics Model for Optimizing Carbon Footprint From Students' Learning Activities in Computer Science-Related Majors. <i>IEEE Access</i> , 11, 114976–114991.

No	Paper Jurnal Internasional
7	Kusnandar, T., Santoso, J., & Surendro, K. (2023a). A Novel Method for Optimizing Color Selection Using the Hadamard Product Technique. <i>IEEE Access</i> , 11, 130155–130164. <a href="https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3333367">https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3333367</a>
8	Maulidevi, N U, Hikmawati, E., & Surendro, K. (2023). The Implementation of Adaptive Rule Mining Methods for Recommender System. <i>International Journal on Electrical Engineering and Informatics</i> , 15(1), 165–175. <a href="https://doi.org/10.15676/ijeei.2023.15.1.11">https://doi.org/10.15676/ijeei.2023.15.1.11</a>
9	Maulidevi, Nur Ulfa, Aji, B. S. K., Hikmawati, E., & Surendro, K. (2023). Modelling Integrated Sustainability Monitoring System for Carbon Footprint in Higher Education Buildings. <i>IEEE Access</i> , 1–1. <a href="https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3333890">https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3333890</a>
10	Nugroho, H., Utama, N. P., & Surendro, K. (2023a). Smoothing target encoding and class center-based firefly algorithm for handling missing values in categorical variable. <i>Journal of Big Data</i> , 10(1). <a href="https://doi.org/10.1186/s40537-022-00679-z">https://doi.org/10.1186/s40537-022-00679-z</a>
11	Wijayanti, R., Khodra, M. L., Surendro, K., & Widyanoro, D. H. (2023). Learning bilingual word embedding for automatic text summarization in low resource language. <i>Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences</i> , 35(4), 224–235.
12	Yulianti, L P, & Surendro, K. (2023). Development and Evaluation of Ontology Model for Indigenous Medicine Knowledge in Indonesia. <i>International Journal on Electrical Engineering and Informatics</i> , 15(1), 33–49. <a href="https://doi.org/10.15676/ijeei.2023.15.1.3">https://doi.org/10.15676/ijeei.2023.15.1.3</a>
13	Yulianti, L P, Trisetyarso, A., Santoso, J., & Surendro, K. (2023a). A hybrid quantum annealing method for generating ensemble classifiers. <i>Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences</i> , 35(10). <a href="https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101831">https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101831</a>
14	Hikmawati, E., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2022b). Pruning Strategy on Adaptive Rule Model by Sorting Utility Items. <i>IEEE Access</i> , 10, 91650–91662. <a href="https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3202307">https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3202307</a>
15	Yulianti, Lenny Putri, & Surendro, K. (2022). Implementation of Quantum Annealing: A Systematic Review. <i>IEEE Access</i> , 10(June), 73156–73177.
16	Asniar, Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2022). SMOTE-LOF for noise identification in imbalanced data classification. <i>Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences</i> , 34(6), 3413–3423. <a href="https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.01.014">https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.01.014</a>
17	Hadiyoso, S., Nugroho, H., Rajab, T. L. E., & Surendro, K. (2022). Data prediction for cases of incorrect data in multi-node electrocardiogram monitoring. <i>International Journal of Electrical and Computer Engineering</i> , 12(2), 1540–1547. <a href="https://doi.org/10.11591/ijece.v12i2.pp1540-1547">https://doi.org/10.11591/ijece.v12i2.pp1540-1547</a>
18	Hikmawati, E., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2022c). Rule-ranking method based on item utility in adaptive rule model. <i>PeerJ Computer Science</i> , 8. <a href="https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1013">https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1013</a>
19	Nugroho, H., Aradea, & Surendro, K. (2022). IT Service Management Intelligence Model to Support the Implementation of Electronic Government System (EGS) in Indonesia. <i>International Journal on Advanced Science, Engineering and</i>

No	Paper Jurnal Internasional
	Information Technology, 12(2), 494–500. <a href="https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.2.13789">https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.2.13789</a>
20	Prasetyowati, M. I., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2022). The accuracy of Random Forest performance can be improved by conducting a feature selection with a balancing strategy. <i>PeerJ Computer Science</i> , 8. <a href="https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.1041">https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.1041</a>
21	Yunizal, E., Santoso, J., & Surendro, K. (2022). Asset Identification in Information Security Risk Assessment Using Process Mining. <i>International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology</i> , 12(4), 1387–1394. <a href="https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.4.14865">https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.4.14865</a>
22	Hikmawati, E., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2021). Minimum threshold determination method based on dataset characteristics in association rule mining. <i>Journal of Big Data</i> , 8(1). <a href="https://doi.org/10.1186/s40537-021-00538-3">https://doi.org/10.1186/s40537-021-00538-3</a>
23	Nugroho, H., Utama, N. P., & Surendro, K. (2021a). Class center-based firefly algorithm for handling missing data. <i>Journal of Big Data</i> , 8(1). <a href="https://doi.org/10.1186/s40537-021-00424-y">https://doi.org/10.1186/s40537-021-00424-y</a>
24	Nugroho, H., Utama, N. P., & Surendro, K. (2021b). Normalization and outlier removal in class center-based firefly algorithm for missing value imputation. <i>Journal of Big Data</i> , 8(1). <a href="https://doi.org/10.1186/s40537-021-00518-7">https://doi.org/10.1186/s40537-021-00518-7</a>
25	Prasetyowati, M. I., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2021). Determining threshold value on information gain feature selection to increase speed and prediction accuracy of random forest. <i>Journal of Big Data</i> , 8(1). <a href="https://doi.org/10.1186/s40537-021-00472-4">https://doi.org/10.1186/s40537-021-00472-4</a>
26	Rachmatullah, M. I. C., Santoso, J., & Surendro, K. (2021). Determining the number of hidden layer and hidden neuron of neural network for wind speed prediction. <i>Volume 7, Pages 1 - 19</i> , 7, 1–19. <a href="https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.724">https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.724</a>

No	Paper Konferensi Internasional
1	Cahyana, R., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2023). A Framework for Actor-Oriented Automated Hate Speech Detection. <i>ACM International Conference Proceeding Series</i> , 283–289. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587870">https://doi.org/10.1145/3587828.3587870</a>
2	Christianto, V. G., Hikmawati, E., & Surendro, K. (2023). Development of IT Equipment Management Methodology based on Carbon Emission and End-of-Life Period with A Design Thinking Approach. <i>ACM International Conference Proceeding Series</i> , 362–367. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587882">https://doi.org/10.1145/3587828.3587882</a>
3	Fitriani, L., Khodra, M. L., & Surendro, K. (2023). TOGAF-based Enterprise Architecture Framework for Utilizing Artificial Intelligence. <i>Proceedings - 2023 10th International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications: Exploring the Power of Data: Leveraging Information to Drive Digital Innovation, IC3INA 2023</i> , 90–95. <a href="https://doi.org/10.1109/IC3INA60834.2023.10285801">https://doi.org/10.1109/IC3INA60834.2023.10285801</a>
4	Hans, M, Hikmawati, E., & Surendro, K. (2023). Predictive Analytics Model for Optimizing Carbon Emission from Student Activity and Behavior with A Design Thinking Approach Case Study: Bandung Institute of Technology. <i>ACM International Conference Proceeding Series</i> , 77–82. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587841">https://doi.org/10.1145/3587828.3587841</a>

No	Paper Konferensi Internasional
5	Herawati, N. A., Surendro, K., & Hikmawati, E. (2023). Development of an Intelligent Carbon Emission Monitoring Methodology to Support Carbon Trading with A Design Thinking Approach: A Case Study in PT Paiton Energy. 10th International Conference on ICT for Smart Society, ICISS 2023 - Proceeding. <a href="https://doi.org/10.1109/ICISS59129.2023.10291249">https://doi.org/10.1109/ICISS59129.2023.10291249</a>
6	Hikmawati, E., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2023). Improved Classification Accuracy by Feature Selection using Adaptive Support Method. ACM International Conference Proceeding Series, 171–176. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587854">https://doi.org/10.1145/3587828.3587854</a>
7	Kusnandar, T., Santoso, J., & Surendro, K. (2023b). The Effect of White Balance for Color Constancy on Visible Light. ACM International Conference Proceeding Series, 144–149. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587850">https://doi.org/10.1145/3587828.3587850</a>
8	Nugroho, H., Utama, N. P., & Surendro, K. (2023b). kNN Imputation Versus Mean Imputation for Handling Missing Data on Vulnerability Index in Dealing with Covid-19 in Indonesia. ACM International Conference Proceeding Series, 20–25. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587832">https://doi.org/10.1145/3587828.3587832</a>
9	Rismala, R., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2023). Multi-Attribute BERT for Preferences Completion in Multi-Criteria Recommender System. ACM International Conference Proceeding Series, 315–320. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587875">https://doi.org/10.1145/3587828.3587875</a>
10	Segara, P., Hikmawati, E., & Surendro, K. (2023). Towards Sustainable Higher Education: A Framework for Implementing Green IT Strategies. Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics. <a href="https://doi.org/10.1109/ICEEI59426.2023.10346921">https://doi.org/10.1109/ICEEI59426.2023.10346921</a>
11	Setiawan, Y., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2023). The Use of Dynamic n-Gram to Enhance TF-IDF Features Extraction for Bahasa Indonesia Cyberbullying Classification. ACM International Conference Proceeding Series, 200–205. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587858">https://doi.org/10.1145/3587828.3587858</a>
12	Setiyadi, Y., Santoso, J., & Surendro, K. (2023). Aesthetic Image Synthesis Using Multiple-Aesthetic-Aware GAN. ACM International Conference Proceeding Series, 159–164. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587852">https://doi.org/10.1145/3587828.3587852</a>
13	Shalahuddin, M., Sunindyo, W. D., Effendi, M. R., & Surendro, K. (2023). System Dynamics Modeling to Simulate Policy Making for 5G Deployment in Indonesia. Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics. <a href="https://doi.org/10.1109/ICEEI59426.2023.10346686">https://doi.org/10.1109/ICEEI59426.2023.10346686</a>
14	Susanti, F., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2023). Improving the Efficiency of Link Prediction on Handling Incomplete Knowledge Graph Using Clustering. ACM International Conference Proceeding Series, 8–13. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587830">https://doi.org/10.1145/3587828.3587830</a>
15	Syahidin, Y., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2023). FEATURE SELECTION METHOD BASED ON GENETIC ALGORITHM WITH WRAPPER-EMBEDDED TECHNIQUE FOR MEDICAL RECORD CLASSIFICATION. ACM International Conference Proceeding Series, 184–191. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587856">https://doi.org/10.1145/3587828.3587856</a>
16	Yulianti, L P, Trisetyarso, A., Santoso, J., & Surendro, K. (2023b). Annealing-Based Optimization for Selecting Training Space in Ensemble Learning. 2023 10th

No	Paper Konferensi Internasional
	International Conference on Advanced Informatics: Concept, Theory and Application, ICAICTA 2023. <a href="https://doi.org/10.1109/ICAICTA59291.2023.10390142">https://doi.org/10.1109/ICAICTA59291.2023.10390142</a>
17	Yulianti, L P, Trisetyarso, A., Santoso, J., & Surendro, K. (2023c). Comparison of Distance Metrics for Generating Cluster-based Ensemble Learning. ACM International Conference Proceeding Series, 26–33. <a href="https://doi.org/10.1145/3587828.3587833">https://doi.org/10.1145/3587828.3587833</a>
18	Hikmawati, E., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2022a). Multi-Criteria Recommender System for Determining Risk Level of Covid-19. 2022 9th International Conference on Advanced Informatics: Concepts, Theory and Applications, ICAICTA 2022. <a href="https://doi.org/10.1109/ICAICTA56449.2022.9933006">https://doi.org/10.1109/ICAICTA56449.2022.9933006</a>
19	Ramdhani, Y. L., & Surendro, K. (2022). Development of AI Governance Model in Enterprises Based on CMMI Model Structure. 2022 International Conference on Information Technology Systems and Innovation, ICITSI 2022 - Proceedings, 145–150. <a href="https://doi.org/10.1109/ICITSI56531.2022.9970981">https://doi.org/10.1109/ICITSI56531.2022.9970981</a>
20	Yulianti, Lenny Putri, Santoso, J., Trisetyarso, A., & Surendro, K. (2022). Hybrid Classical-Quantum Optimization for Ensemble Learning. 2022 9th International Conference on Advanced Informatics: Concepts, Theory and Applications, ICAICTA 2022. <a href="https://doi.org/10.1109/ICAICTA56449.2022.9932950">https://doi.org/10.1109/ICAICTA56449.2022.9932950</a>
21	Handayani, N. P., Fianty, M. I., Shabrina, N. H., & Surendro, K. (2021). Does Implementation of a Human Resource Information System Influence Employee's Turnover Intention in Developing Country? 2021 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions, ICTMOD 2021. <a href="https://doi.org/10.1109/ICTMOD52902.2021.9739510">https://doi.org/10.1109/ICTMOD52902.2021.9739510</a>
22	Hikmawati, E., & Surendro, K. (2021). Adaptive Rule from the Philosophy of Science Viewpoint. 2021 6th International Conference on Informatics and Computing, ICIC 2021. <a href="https://doi.org/10.1109/ICIC54025.2021.9632962">https://doi.org/10.1109/ICIC54025.2021.9632962</a>
23	Kusnandar, T., & Surendro, K. (2021). Camera-Based Vegetation Index from Unmanned Aerial Vehicles. ACM International Conference Proceeding Series, 173–178. <a href="https://doi.org/10.1145/3479645.3479661">https://doi.org/10.1145/3479645.3479661</a>
24	Shalahuddin, M., Effendi, M. R., Sunindyo, W. D., & Surendro, K. (2021). Smart Governance Using System Dynamics Modeling for 5G Frequency Allocation in Indonesia. Proceeding of 15th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications, TSSA 2021. <a href="https://doi.org/10.1109/TSSA52866.2021.9768263">https://doi.org/10.1109/TSSA52866.2021.9768263</a>

## VII. PENGHARGAAN

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun	Keterangan
1	Satyalancana Karya Satya 30 Tahun	Negara	2023	SK No. 18/TK/TAHUN 2023
2	Penghargaan ITB Bidang Penelitian tahun 2022	Rektor ITB	2022	SK No. 180/IT1.A/SK-KP/2022
3	Penghargaan 25 Tahun ITB	Rektor ITB	2016	SK No. 234/SK/I1.A/KP/2016

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun	Keterangan
4	Satyalancana Karya Satya 20 Tahun	Negara	2015	SK No. 96/TK/Tahun 2015
5	Satyalancana Karya Satya 10 Tahun	Negara	2003	SK No. 065/Tk/Tahun 2003





📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,  
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132  
☎️ +62 22 20469057  
🌐 [www.itbpress.id](http://www.itbpress.id)  
✉️ [office@itbpress.id](mailto:office@itbpress.id)  
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92  
APPTI No. 005.062.1.10.2018

### Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132  
E-mail: [sekretariat-fgb@itb.ac.id](mailto:sekretariat-fgb@itb.ac.id)  
Telp. (022) 2512532

🌐 [fgb.itb.ac.id](http://fgb.itb.ac.id)    [FgbItb](#)    [FGB\\_ITB](#)  
 [@fgbitb\\_1920](#)    [Forum Guru Besar ITB](#)

ISBN 978-623-297-414-2

