



FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



SISTEM ENERGI BERKELANJUTAN

**Peran Penting
dalam Transisi Energi Nasional**

Profesor Edi Leksono

Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung

Aula Barat ITB
20 Juli 2024

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Sistem Energi Berkelanjutan

Peran Penting dalam Transisi Energi Nasional

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Sistem Energi Berkelanjutan

Peran Penting dalam Transisi Energi Nasional

Prof. Edi Leksono

20 Juli 2024
Aula Barat ITB



FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

ITB  **PRESS**

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 Energi Berkelanjutan:

Peran Penting dalam Transisi Energi Nasional

Penulis : Prof. Edi Leksono

Reviewer : Prof. Suprijanto

Editor Bahasa : Rina Lestari

Cetakan I : 2024

ISBN : 978-623-297-507-1

e-ISBN : 978-623-297-508-8 (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

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku yang berjudul *Sistem Energi Berkelanjutan: Peran Penting dalam Transisi Energi Nasional* ini dapat diselesaikan. Buku ini hadir sebagai kontribusi penting dalam mendukung upaya transisi energi yang sedang berlangsung di Indonesia, dengan fokus pada pengembangan sistem energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Indonesia, sebagai negara dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, memiliki potensi besar untuk mengembangkan berbagai bentuk energi baru terbarukan. Tenaga surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi adalah beberapa contoh sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi nasional sekaligus mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dalam buku ini, kami berusaha untuk menggali lebih dalam potensi-potensi tersebut dan bagaimana implementasinya dapat dioptimalkan.

Di samping itu, buku ini juga membahas berbagai komponen penting dalam sistem energi berkelanjutan, termasuk mikrogrid cerdas, sistem penyimpanan energi, teknologi *Internet of Things* (IoT) dan manajemen data, serta upaya peningkatan efisiensi energi. Melalui teknologi dan inovasi ini, diharapkan sistem energi di Indonesia dapat menjadi lebih efisien, andal, dan ramah lingkungan.

Transisi energi nasional bukanlah perjalanan yang mudah. Tantangan yang dihadapi sangat beragam, mulai dari keterbatasan infrastruktur, kebutuhan akan pembiayaan yang signifikan, hingga regulasi dan kebijakan yang perlu diperbaiki. Namun, dengan komitmen yang kuat dari berbagai pihak, tantangan-tantangan ini dapat diatasi. Kerja sama antara pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan masyarakat luas sangat diperlukan untuk mewujudkan visi energi berkelanjutan.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Suprijanto yang telah bersedia melakukan tinjauan, memberikan masukan dan saran yang sangat berharga dalam penyelesaian karya ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak, rekan kerja, sahabat, dan

keluarga, yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan dan penulisan buku ini. Penulis berharap ada masukan-masukan yang bisa membuat buku ini menjadi lebih bermakna.

Melalui buku ini, penulis juga berharap pembaca dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pentingnya sistem energi berkelanjutan dalam mendukung transisi energi nasional. Buku ini juga diharapkan dapat menjadi referensi yang berguna bagi para pengambil kebijakan, peneliti, akademisi, dan praktisi di bidang energi.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan dan penerbitan buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi pengembangan sistem energi berkelanjutan di Indonesia dan dunia.

Bandung, 20 Juni 2024

Prof. Edi Leksono

SINOPSIS

Buku *Sistem Energi Berkelanjutan: Peran Penting dalam Transisi Energi Nasional* ini diharapkan dapat mendorong adopsi energi baru terbarukan untuk menghadapi tantangan perubahan iklim dan mencapai ketahanan energi. Dengan potensi besar tenaga surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi, Indonesia dapat memimpin transisi energi global.

Indonesia memiliki sumber daya energi terbarukan yang melimpah, seperti tenaga surya dengan potensi 3.200 GW, tenaga angin sebesar 60 GW, dan energi air sekitar 75 GW. Energi panas bumi dan biomassa juga menawarkan potensi besar untuk memenuhi kebutuhan energi nasional.

Buku ini membahas teknologi seperti mikrogrid cerdas, sistem baterai penyimpanan energi, efisiensi energi, IoT dan *big data analytics platform*, serta stasiun pengisian kendaraan listrik. Mikrogrid cerdas mengintegrasikan berbagai sumber energi terbarukan untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi, sementara teknologi baterai penyimpanan energi mengatasi masalah *intermittency*. Penggunaan IoT dan analisis data besar memungkinkan pemantauan *real-time* dan optimasi sistem energi berkelanjutan.

Transisi ke energi terbarukan menciptakan peluang besar seperti penciptaan lapangan kerja dan peningkatan ketahanan energi. Peralihan ini dapat mengurangi emisi karbon dioksida global sebesar 70% pada tahun 2050. Namun, tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, kebutuhan pembiayaan, dan regulasi yang perlu diperbaiki masih harus diatasi.

Buku ini juga menyoroti implementasi teknologi energi berkelanjutan di ITB, termasuk sistem PLTS, mikrogrid cerdas, sistem baterai penyimpanan energi (SBPE), Sistem Informasi Konsumsi Energi Listrik dan Air (Elisa), serta Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik (SPKL). Sistem-sistem ini mendukung operasional kampus serta penelitian dan demonstrasi untuk masyarakat dan industri.

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	V
SINOPSIS	VII
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR GAMBAR	XI
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Komponen Sistem Energi Berkelanjutan	3
1.2 Energi Baru Terbarukan	4
1.3 Mikrogrid Cerdas	5
1.4 Sistem Baterai Penyimpan Energi	8
1.5 Sistem Efisiensi Energi	11
1.6 IoT dan Manajemen Data	12
2 IMPLEMENTASI.....	15
2.1 Sistem PLTS.....	15
2.2 Mikrogrid Cerdas	19
2.3 Sistem Baterai Penyimpan Energi	24
2.4 Elisa	27
2.5 SPKL	31
2.6 Mikro <i>Data Center</i> sebagai Platform Digital	35
3 PELUANG DAN TANTANGAN.....	39
3.1 Peluang Sistem Energi Berkelanjutan.....	39
3.2 Tantangan Sistem Energi Berkelanjutan	44
4 PENUTUP	47
5 UCAPAN TERIMA KASIH	49
DAFTAR PUSTAKA.....	53
CURRICULUM VITAE.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Komponen sistem energi berkelanjutan	4
Gambar 2.1	PLTS dengan 3 mode operasi.....	17
Gambar 2.2	Lokasi PLTS di ITB	18
Gambar 2.3	Sistem mikrogrid cerdas Lab. Manajemen Energi, TF-ITB	21
Gambar 2.4	Model konfigurasi sistem mikrogrid cerdas Lab.Manajemen Energi TF-ITB.....	22
Gambar 2.5	Contoh tampilan sistem mikrogrid cerdas Lab. Manajemen Energi ITB	22
Gambar 2.6	Sistem mikrogrid cerdas gedung SBM	23
Gambar 2.7	Sistem mikrogrid cerdas gedung CAS ITB	24
Gambar 2.8	Sistem SBPE berukuran kontainer	26
Gambar 2.9	Konfigurasi umum Elisa	28
Gambar 2.10	Contoh tampilan Elisa	30
Gambar 2.11	Konfigurasi <i>big data analytics platform</i> Elisa	31
Gambar 2.12	Purwarupa SPKL	35
Gambar 2.13	Integrasi SPKL menggunakan <i>edge-device</i>	35
Gambar 2.14	Model <i>big data platform</i> SPKL berbasis <i>edge-device</i>	36
Gambar 2.15	Model platform analitik terintegrasi	38

1 PENDAHULUAN

Transisi energi merupakan proses perubahan dari penggunaan sumber energi fosil, seperti minyak bumi, batubara, dan gas alam, menuju penggunaan sumber energi terbarukan yang lebih bersih dan berkelanjutan seperti energi surya, angin, hidro, biomassa, dan panas bumi. Transisi ini bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak negatif terhadap lingkungan, serta meningkatkan keamanan energi dengan mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil. Transisi energi bukan hanya merupakan perubahan teknologi saja, tetapi juga mencakup aspek yang lain seperti ekonomi, sosial, dan kebijakan yang kompleks.

Selanjutnya, sistem energi berkelanjutan sebenarnya merupakan kerangka kerja yang mengintegrasikan berbagai sumber energi yang dapat diperbarui, teknologi penyimpanan energi, efisiensi energi, dan manajemen data untuk menciptakan sistem yang efisien, ramah lingkungan, dan mampu memenuhi kebutuhan energi saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri (Bruce, 2012). Sistem ini memanfaatkan teknologi maju seperti mikrogrid cerdas dan *Internet of Things* (IoT) untuk memantau dan mengoptimalkan penggunaan energi secara *real-time* (Basso & DeBlasio, 2004).

Transisi energi dan sistem energi berkelanjutan memiliki hubungan yang erat dan saling mendukung. Transisi energi membutuhkan penggantian sumber energi fosil dengan sumber energi terbarukan yang merupakan bagian integral dari sistem energi berkelanjutan. Implementasi sistem energi berkelanjutan membantu mempercepat transisi energi dengan menyediakan infrastruktur yang diperlukan untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan secara efisien dan andal (Alvarez & Sanchez, 2016).

Selain itu, sistem energi berkelanjutan mencakup teknologi penyimpanan energi yang vital untuk mengatasi *intermittency* dari sumber energi terbarukan seperti surya dan angin, yang sangat penting untuk kestabilan dan keandalan pasokan energi selama transisi energi (Ponce de León, 2006). Dengan teknologi seperti baterai *lithium-ion* dan sistem baterai penyimpanan energi, sistem energi berkelanjutan dapat memastikan bahwa

energi yang dihasilkan dari sumber terbarukan dapat disimpan dan digunakan saat dibutuhkan (Dincer & Rosen, 2021).

Mikrogrid cerdas juga memainkan peran penting dalam mendukung transisi energi dengan memungkinkan integrasi berbagai sumber energi terbarukan secara lokal dan mengoptimalkan distribusi energi melalui manajemen energi yang cerdas dan terdesentralisasi (Lasseter, 2011). Dengan menggunakan IoT dan platform analisis data, mikrogrid cerdas dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem energi, sekaligus mengurangi biaya operasional dan emisi karbon (Big Data Research, 2023).

Transisi energi menuju sistem energi berkelanjutan juga memerlukan dukungan kebijakan yang kuat dan insentif ekonomi untuk menarik investasi dan mempercepat adopsi teknologi energi terbarukan. Kebijakan yang konsisten dan jelas dapat memberikan kepastian bagi investor dan pengembang proyek, serta mendorong inovasi dan pengembangan teknologi baru yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Rachmatullah, 2021).

Dalam konteks unsur-unsur pendukung, sistem energi berkelanjutan dapat tersusun dari komponen-komponen yang terdiri atas energi terbarukan, mikrogrid cerdas, sistem baterai penyimpanan energi, efisiensi energi, IoT & manajemen data, serta peluang, tantangan, dan ilustrasi beberapa implementasinya. Setiap komponen akan diuraikan secara lebih rinci, agar dapat memberikan wawasan tentang kontribusi komponen-komponen tersebut terhadap transisi energi yang berkelanjutan di Indonesia. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang komponen-komponen ini, diharapkan dapat tercipta sinergi antara teknologi, kebijakan, dan masyarakat untuk mencapai tujuan energi berkelanjutan.

Indonesia memiliki peluang yang sangat besar untuk mengembangkan sistem energi berkelanjutan. Potensi energi terbarukan yang melimpah, dukungan teknologi seperti mikrogrid cerdas dan sistem penyimpanan energi, serta strategi efisiensi energi dan penggunaan IoT, semuanya dapat berkontribusi untuk kesuksesan transisi energi. Dengan dukungan kebijakan yang kuat dan kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat, Indonesia dapat memanfaatkan peluang ini untuk mencapai tujuan energi berkelanjutan yang lebih bersih, efisien, dan berkeadilan. Pengembangan sistem energi berkelanjutan di Indonesia menghadapi berbagai tantangan yang kompleks. Keterbatasan infrastruktur, biaya awal yang tinggi,

kurangnya teknologi dan sumber daya manusia, serta rendahnya kesadaran masyarakat adalah beberapa hambatan utama. Selain itu, regulasi yang belum konsisten, variabilitas sumber energi terbarukan, dan dampak lingkungan juga menjadi tantangan yang perlu diatasi.

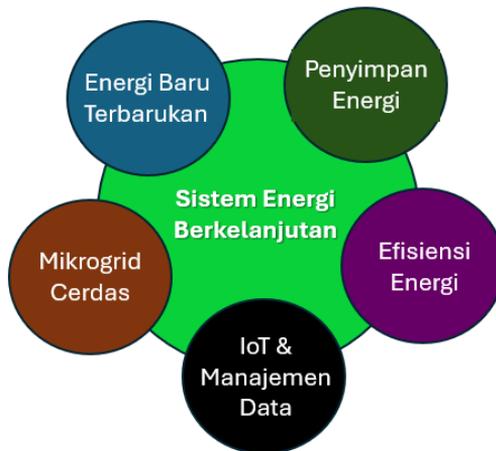
1.1 Komponen Sistem Energi Berkelanjutan

Sistem energi berkelanjutan pada dasarnya merupakan kerangka kerja atau panduan strategis yang mencakup kebijakan, teknologi, dan praktik manajemen untuk menciptakan sistem energi yang mampu memenuhi kebutuhan energi saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang. Kerangka kerja ini dirancang untuk mendukung transisi menuju energi terbarukan dan efisiensi energi, mengurangi emisi karbon, serta meningkatkan keamanan dan ketahanan energi. Namun pembahasan dalam buku ini hanya dibatasi pada aspek teknologi, yang tercakup dalam komponen-komponen sistem energi berkelanjutan.

Kerangka kerja sistem energi berkelanjutan menggabungkan berbagai komponen teknologi dan manajemen untuk menciptakan sistem energi yang efisien, andal, dan ramah lingkungan. Setiap komponen memainkan peran penting dalam mendukung tujuan keseluruhan kerangka kerja ini. Komponen-komponen penting sistem energi berkelanjutan antara lain adalah sebagai berikut, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1:

1. Energi baru terbarukan
2. Mikrogrid cerdas
3. Sistem baterai penyimpan energi
4. Efisiensi energi
5. IoT dan manajemen data

Beberapa komponen penting lainnya bisa menjadi bagian dari kelima komponen tersebut yang juga mempunyai beberapa subkomponen lagi, atau bahkan belum tercakup dalam komponen-komponen tersebut. Hal ini disebabkan karena luasnya aspek sistem energi berkelanjutan. Sekalipun hanya disebutkan lima komponen, tetapi diharapkan sudah bisa memberikan gambaran tentang kerangka kerja sistem energi berkelanjutan secara keseluruhan. Penjelasan tentang komponen-komponen sistem energi berkelanjutan akan diberikan pada bagian selanjutnya.



Gambar 1.1 Komponen sistem energi berkelanjutan

1.2 Energi Baru Terbarukan

Energi baru terbarukan terdiri atas dua kategori utama: energi baru dan energi terbarukan.

- **Energi Baru:** Merujuk pada sumber energi yang dihasilkan dari inovasi teknologi dan belum banyak digunakan secara komersial atau dalam skala besar. Contoh energi baru termasuk hidrogen, bahan bakar sintetis, dan teknologi nuklir terbaru. Energi ini sedang dalam tahap pengembangan dan pengujian untuk efisiensi dan keamanan jangka panjang (Kementerian ESDM, 2020).
- **Energi Terbarukan:** Sumber energi yang dapat diperbarui secara alami dan tidak habis, seperti energi surya, angin, hidro, panas bumi, dan biomassa. Energi terbarukan adalah pilar utama dalam transisi menuju sistem energi berkelanjutan karena ketersediaannya yang melimpah dan dampak lingkungannya yang minimal.
 - **Potensi energi surya:** Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar, diperkirakan mencapai 3.200 GW. Dengan paparan sinar matahari yang relatif konstan sepanjang tahun, energi surya menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial di Indonesia (Direktorat Jenderal EBTKE, 2020).
 - **Potensi energi angin:** Potensi energi angin di Indonesia sangat signifikan, terutama di wilayah timur seperti Nusa Tenggara dan Sulawesi, dengan estimasi mencapai 60 GW. Kondisi geografis dan

iklim di wilayah ini mendukung pengembangan energi angin secara efektif (Global Wind Energy Council, 2022).

- **Potensi energi hidro:** Indonesia memiliki banyak sungai dan bendungan yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Potensi energi hidro diperkirakan mencapai 75 GW, menjadikannya salah satu sumber energi terbarukan utama yang dapat diandalkan (International Hydropower Association, 2022).
- **Potensi energi panas bumi:** Indonesia juga memiliki potensi panas bumi yang besar, mencapai sekitar 29 GW. Energi panas bumi merupakan sumber energi yang stabil dan dapat diandalkan, cocok untuk pembangkit listrik dan pemanas ruangan (Geothermal Energy Association, 2021).
- **Potensi biomassa:** Sumber daya biomassa di Indonesia berasal dari limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan. Potensi biomassa diperkirakan mencapai 50 GW, yang dapat diolah menjadi energi melalui berbagai teknologi seperti pembakaran langsung, gasifikasi, dan fermentasi (IRENA, 2022).

1.3 Mikrogrid Cerdas

Mikrogrid cerdas adalah sistem energi terdistribusi yang mampu beroperasi secara mandiri atau terhubung dengan jaringan utama (grid). Mikrogrid cerdas menggunakan teknologi canggih untuk mengintegrasikan berbagai sumber energi, mengoptimalkan penggunaan energi, dan meningkatkan keandalan serta ketahanan sistem energi. Mikrogrid cerdas menjadi solusi yang sangat relevan di era transisi energi menuju sumber energi terbarukan dan berkelanjutan.

1.3.1 Komponen Mikrogrid Cerdas

1. Sumber Energi Terdistribusi (DERs)

- **Energi surya:** Panel surya fotovoltaik (PV) mengonversi sinar matahari menjadi listrik. Sumber ini sangat cocok untuk diterapkan di wilayah yang memiliki intensitas cahaya matahari tinggi sepanjang tahun (Basso & DeBlasio, 2004).

- **Energi angin:** Turbin angin memanfaatkan energi kinetik angin untuk menghasilkan listrik. Ini sangat efektif di daerah dengan kecepatan angin yang konstan (NREL, 2019).
- **Energi biomassa:** Mengonversi bahan organik menjadi energi melalui pembakaran atau proses biologis lainnya (IRENA, 2020).

2. Sistem Penyimpanan Energi

- **Baterai lithium-ion:** Penyimpanan energi yang efisien dan memiliki umur panjang, cocok untuk aplikasi skala kecil hingga menengah (Bruce et al., 2012).
- **Baterai aliran:** Cocok untuk penyimpanan energi skala besar dengan kemampuan merespons kebutuhan energi dengan cepat (Ponce de León et al., 2006).
- **Penyimpanan energi termal:** Menyimpan energi dalam bentuk panas yang dapat digunakan untuk pemanas air atau ruangan (Dincer & Rosen, 2021).

3. Sistem Kontrol Mikrogrid

- **Kontroler mikrogrid:** Mengelola operasi mikrogrid dengan mengatur distribusi energi, mengoptimalkan penggunaan energi, dan memastikan stabilitas sistem (Lasseter et al., 2011).
- **Perangkat lunak pengelolaan energi:** Menggunakan algoritma canggih untuk memprediksi kebutuhan energi dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya energi terdistribusi (Alvarez & Sanchez, 2016).

4. Jaringan Komunikasi

- **Sensor IoT:** Mengumpulkan data *real-time* tentang produksi energi, konsumsi energi, kondisi lingkungan, dan status peralatan (IEEE Internet of Things Journal, 2023).
- **Platform analisis data:** Menganalisis data yang dikumpulkan untuk memberikan wawasan mendalam dan membantu pengambilan keputusan yang lebih baik (Big Data Research, 2023).

1.3.2 Fungsi Mikrogrid Cerdas

1. Operasi Mandiri dan Terhubung

- Mikrogrid cerdas dapat beroperasi secara mandiri (*off-grid*) atau terhubung dengan jaringan utama (*on-grid*). Kemampuan ini memungkinkan fleksibilitas yang tinggi dalam pengelolaan energi dan memastikan pasokan energi yang stabil bahkan saat jaringan utama terganggu.

2. Integrasi Sumber Energi Terbarukan

- Mikrogrid cerdas memfasilitasi integrasi berbagai sumber energi terbarukan seperti surya, angin, dan biomassa. Ini membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung transisi menuju energi yang lebih bersih dan berkelanjutan (Basso & DeBlasio, 2004).

3. Penguoptimalan Penggunaan Energi

- Sistem pengendalian dan perangkat lunak pengelolaan energi bekerja bersama untuk mengoptimalkan penggunaan energi, mengurangi pemborosan, dan menurunkan biaya operasional. Algoritma prediktif membantu dalam merencanakan penggunaan energi berdasarkan pola konsumsi dan produksi energi (Alvarez & Sanchez, 2016).

4. Peningkatan Ketahanan dan Keandalan

- Dengan memiliki sistem penyimpanan energi yang efisien dan kontroler mikrogrid yang cerdas, mikrogrid cerdas dapat memastikan keandalan pasokan energi, mengurangi risiko pemadaman, dan meningkatkan ketahanan terhadap gangguan eksternal (Lasseter et al., 2011).

1.3.3 Manfaat Mikrogrid Cerdas

1. Keberlanjutan Energi

- Mikrogrid cerdas mendukung penggunaan energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Ini membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim (IRENA, 2020).

2. **Fleksibilitas Operasional**

- Fleksibilitas operasional memungkinkan mikrogrid cerdas untuk menyesuaikan dengan kondisi lokal dan kebutuhan spesifik pengguna. Ini memberikan solusi yang adaptif untuk berbagai skenario penggunaan energi (NREL, 2019).

3. **Pengurangan Biaya Energi**

- Dengan mengoptimalkan penggunaan sumber daya energi terdistribusi dan mengurangi ketergantungan pada jaringan utama, mikrogrid cerdas dapat mengurangi biaya energi secara signifikan (Navigant Research, 2018).

4. **Pemberdayaan Komunitas Lokal**

- Mikrogrid cerdas memungkinkan komunitas lokal untuk menghasilkan dan mengelola energi mereka sendiri. Ini meningkatkan akses energi di daerah terpencil dan mendukung kemandirian energi.

1.4 **Sistem Baterai Penyimpan Energi**

Sistem baterai penyimpanan energi memainkan peran krusial dalam memastikan kestabilan dan keandalan pasokan energi, terutama dalam sistem yang mengandalkan sumber energi terbarukan yang bersifat *intermittent* seperti surya dan angin.

1.4.1 **Jenis-Jenis Baterai Penyimpan Energi**

1. **Baterai Lithium-ion**

- **Deskripsi:** Baterai lithium-ion merupakan jenis baterai yang paling umum digunakan untuk aplikasi penyimpanan energi skala kecil hingga menengah. Baterai ini dikenal karena efisiensinya yang tinggi, umur panjang, dan kemampuan untuk menyimpan energi dalam jumlah besar (Bruce et al., 2012).
- **Aplikasi:** Digunakan dalam sistem penyimpanan energi rumah tangga, kendaraan listrik, dan aplikasi industri.

2. Baterai Aliran (*Flow Batteries*)

- **Deskripsi:** Baterai aliran menggunakan dua larutan elektrolit yang disimpan dalam tangki terpisah dan dipompa melalui sel elektrokimia untuk menghasilkan listrik. Baterai ini cocok untuk penyimpanan energi skala besar karena siklus hidupnya yang panjang dan kemampuan untuk merespons kebutuhan energi dengan cepat (Ponce de León et al., 2006).
- **Aplikasi:** Digunakan dalam pembangkit listrik, fasilitas industri, dan mikrogrid besar.

1.4.2 Fungsi Sistem Baterai Penyimpan Energi

1. Pengelolaan *Intermittency*

- **Deskripsi:** Sistem baterai membantu mengatasi *intermittency* dari sumber energi terbarukan dengan menyimpan energi yang dihasilkan saat produksi melebihi permintaan dan melepaskannya saat permintaan melebihi produksi (IRENA, 2020).
- **Keuntungan:** Meningkatkan stabilitas pasokan energi dan mengurangi ketergantungan pada jaringan utama.

2. Stabilisasi Jaringan

- **Deskripsi:** Sistem baterai dapat digunakan untuk menstabilkan jaringan dengan menyediakan cadangan daya dan merespons fluktuasi beban secara real-time (DOE, 2020).
- **Keuntungan:** Mengurangi risiko pemadaman listrik dan meningkatkan keandalan jaringan.

3. Pengoptimalan Penggunaan Energi

- **Deskripsi:** Dengan menyimpan energi selama periode produksi tinggi dan harga energi rendah, serta menggunakannya selama periode permintaan tinggi dan harga energi tinggi, sistem baterai dapat mengoptimalkan biaya energi (Navigant Research, 2018).
- **Keuntungan:** Mengurangi biaya operasional dan meningkatkan efisiensi energi.

1.4.3 Integrasi Mikrogrid dan Sistem Baterai Penyimpan Energi

Integrasi mikrogrid dan sistem baterai penyimpanan energi menawarkan banyak manfaat, termasuk peningkatan keandalan, fleksibilitas operasional, dan efisiensi energi.

1. Peningkatan Keandalan

- **Deskripsi:** Mikrogrid yang dilengkapi dengan sistem baterai penyimpanan energi dapat memastikan pasokan energi yang andal bahkan selama gangguan pada jaringan utama. Baterai menyediakan cadangan daya yang dapat digunakan saat terjadi pemadaman atau fluktuasi beban (Lasseter et al., 2011).
- **Contoh Kasus:** Mikrogrid di kampus-kampus atau fasilitas industri yang memerlukan pasokan energi yang konsisten untuk operasionalnya.

2. Fleksibilitas Operasional

- **Deskripsi:** Kombinasi mikrogrid dan sistem baterai memungkinkan fleksibilitas dalam mengelola sumber daya energi terdistribusi. Ini termasuk pengelolaan beban, pengoptimalan penggunaan sumber energi terbarukan, dan pengaturan cadangan daya (Basso & DeBlasio, 2004).
- **Keuntungan:** Memungkinkan penyesuaian cepat terhadap perubahan kondisi operasional dan kebutuhan energi.

3. Efisiensi Energi

- **Deskripsi:** Penggunaan sistem baterai dalam mikrogrid membantu mengoptimalkan penggunaan energi dengan menyimpan energi surplus untuk digunakan di kemudian hari, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem energi (Alvarez & Sanchez, 2016).
- **Contoh implementasi:** Mikrogrid di daerah terpencil yang mengandalkan sumber energi terbarukan seperti surya dan angin, di mana penyimpanan energi sangat penting untuk memastikan pasokan yang stabil.

1.5 Sistem Efisiensi Energi

Efisiensi energi merupakan aspek kunci dalam sistem energi berkelanjutan yang bertujuan mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan kualitas layanan. Implementasi efisiensi energi di sektor bangunan dan industri dapat memberikan dampak signifikan dalam penghematan biaya operasional serta pengurangan emisi karbon. Buku ini akan membahas komponen utama dari sistem efisiensi energi di gedung dan industri, serta sistem informasi energi listrik untuk manajemen energi listrik dan air.

1.5.1 Komponen Utama Sistem Efisiensi Energi

1. Teknologi Hemat Energi

- **Lampu LED:** Mengganti lampu pijar tradisional dengan lampu LED dapat mengurangi konsumsi energi untuk pencahayaan hingga 80% (Thollander & Palm, 2013).
- **Motor efisien energi:** Motor listrik yang lebih efisien dapat mengurangi kehilangan energi dan meningkatkan kinerja mesin industri (Thollander & Palm, 2013).
- **Peralatan rumah tangga hemat energi:** Menggunakan peralatan rumah tangga dengan label hemat energi seperti mesin cuci, lemari es, dan AC yang dirancang untuk konsumsi energi rendah (Thollander & Palm, 2013).

2. Manajemen Energi

- **Sistem manajemen energi:** Mengontrol dan memonitor penggunaan energi secara *real-time*, termasuk pencahayaan, pemanas, ventilasi, dan pendingin udara. Sistem ini mengoptimalkan konsumsi energi berdasarkan kebutuhan aktual dan prediksi penggunaan (Katipamula & Brambley, 2005).
- **Retrofit energi:** Memperbarui atau mengganti sistem dan peralatan lama dengan teknologi yang lebih efisien energi. Misalnya, mengganti jendela dengan kaca ganda atau meningkatkan isolasi bangunan (IEA, 2021).

3. Pemanfaatan Energi Limbah

- **Pemulihan panas limbah:** Menggunakan panas yang dihasilkan dari proses industri untuk memanaskan air atau ruang. Sistem pemulihan

panas dapat mengurangi kebutuhan energi eksternal dan meningkatkan efisiensi keseluruhan (Syed, 2021).

- **Kogenerasi:** Menghasilkan listrik dan panas secara bersamaan dari satu sumber bahan bakar, meningkatkan efisiensi total hingga 80% dibandingkan dengan produksi terpisah (Dincer & Rosen, 2021).

1.6 IoT dan Manajemen Data

Internet of Things (IoT) dan manajemen data memainkan peran penting dalam sistem energi berkelanjutan dengan meningkatkan efisiensi operasional, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan mendukung pengambilan keputusan yang berbasis data. Teknologi ini memungkinkan pemantauan dan pengontrolan yang lebih baik terhadap berbagai komponen sistem energi, termasuk produksi, distribusi, dan konsumsi energi. Dalam konteks sistem energi berkelanjutan, IoT, dan manajemen data menawarkan peluang besar untuk meningkatkan kinerja energi, mengurangi emisi karbon, dan menghemat biaya operasional.

1.6.1 Komponen Utama IoT dan Manajemen Data

1. Sensor dan Perangkat IoT

- **Deskripsi:** Sensor IoT adalah perangkat yang digunakan untuk mengumpulkan data dari lingkungan fisik, seperti suhu, kelembaban, konsumsi energi, dan status operasional peralatan. Data ini kemudian dikirim ke platform manajemen data untuk dianalisis dan digunakan dalam pengambilan keputusan.
- **Fungsi:** Sensor IoT memungkinkan pemantauan *real-time* terhadap berbagai parameter sistem energi, memberikan informasi yang akurat dan tepat waktu untuk mengelola operasi dan memprediksi kebutuhan energi (*IEEE Internet of Things*, 2023).

2. Platform Manajemen Data

- **Deskripsi:** Platform manajemen data adalah sistem yang mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis data yang dikumpulkan dari sensor IoT. Platform ini menggunakan teknologi *big data* dan *machine learning* untuk mengidentifikasi tren, menganalisis pola, dan membuat prediksi.

- **Fungsi:** Platform manajemen data memungkinkan pengelolaan energi yang lebih efektif dengan menyediakan wawasan mendalam dan analisis yang membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik (Big Data Research, 2023).

3. Sistem Kontrol

- **Deskripsi:** Sistem kontrol dalam sistem energi menggunakan data yang dikumpulkan dan dianalisis untuk mengendalikan operasi sistem energi secara otomatis. Ini termasuk pengaturan pencahayaan, HVAC, peralatan industri, dan lainnya.
- **Fungsi:** Sistem ini membantu mengoptimalkan penggunaan energi dan mengurangi pemborosan dengan menyesuaikan operasi berdasarkan kebutuhan aktual dan prediksi penggunaan (IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2023).

1.6.2 Implementasi IoT dan Manajemen Data dalam Sistem Energi Berkelanjutan

1. Pemantauan dan Pengendalian Konsumsi Energi

- **Deskripsi:** Sensor IoT dipasang di berbagai titik dalam sistem energi untuk memantau konsumsi energi secara real-time. Data ini digunakan untuk mengidentifikasi area dengan konsumsi energi tinggi dan mengimplementasikan langkah-langkah efisiensi energi.
- **Contoh kasus:** Sistem manajemen energi di gedung-gedung komersial menggunakan sensor IoT untuk memantau penggunaan listrik dan air, memungkinkan pengelolaan yang lebih efisien dan pengurangan biaya operasional (IEEE Internet of Things, 2023).

2. Prediksi dan Pengoptimalan Produksi Energi

- **Deskripsi:** Data yang dikumpulkan dari sensor IoT digunakan untuk memprediksi produksi energi dari sumber terbarukan seperti surya dan angin. Analisis data membantu mengoptimalkan penggunaan sumber energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional.
- **Contoh kasus:** Platform analisis data menggunakan algoritma *machine learning* untuk memprediksi produksi energi dari panel surya berdasarkan data cuaca dan pola penggunaan energi sebelumnya (Big Data Research, 2023).

3. Pengelolaan Energi dalam Mikrogrid

- **Deskripsi:** Dalam sistem mikrogrid, IoT digunakan untuk memantau dan mengendalikan distribusi energi antara berbagai sumber dan konsumen energi. Data *real-time* digunakan untuk mengoptimalkan distribusi energi dan memastikan stabilitas jaringan.
- **Contoh kasus:** Mikrogrid di kampus-kampus dan komunitas terpencil menggunakan IoT untuk mengelola sumber energi terbarukan seperti panel surya dan baterai penyimpanan energi, meningkatkan efisiensi dan keandalan pasokan energi (NREL, 2019).

1.6.3 Manfaat IoT dan Manajemen Data dalam Sistem Energi Berkelanjutan

1. Penghematan Energi dan Biaya

- **Deskripsi:** Dengan mengoptimalkan penggunaan energi dan mengurangi pemborosan, IoT dan manajemen data dapat membantu menghemat energi dan mengurangi biaya operasional secara signifikan.
- **Referensi:** Penghematan energi dapat mencapai hingga 30% dengan implementasi sistem manajemen energi berbasis IoT (IEEE Internet of Things Journal, 2023).

2. Peningkatan Efisiensi Operasional

- **Deskripsi:** Sistem kontrol otomatis dan analisis data *real-time* meningkatkan efisiensi operasional dengan memungkinkan pengelolaan yang lebih baik terhadap sumber daya energi.
- **Referensi:** Peningkatan efisiensi operasional tercapai melalui pengelolaan energi yang lebih baik dan deteksi dini terhadap anomali (Big Data Research, 2023).

3. Kontribusi terhadap Keberlanjutan

- **Deskripsi:** Dengan mengurangi konsumsi energi dan emisi karbon, IoT dan manajemen data berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan dan mendukung pencapaian target energi terbarukan.
- **Referensi:** IoT dan manajemen data memainkan peran kunci dalam mendukung inisiatif keberlanjutan dan mitigasi perubahan iklim (IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2023).

2 IMPLEMENTASI

Institut Teknologi Bandung (ITB) telah mengambil langkah signifikan dalam mengembangkan dan mengimplementasikan berbagai sistem energi berkelanjutan di kampusnya. Sistem-sistem ini tidak hanya mendukung operasional kampus tetapi juga berfungsi sebagai perangkat pendidikan, penelitian, pengembangan, dan demonstrasi bagi masyarakat serta industri. Berbagai teknologi yang diterapkan mencakup Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), mikrogrid cerdas, Sistem Baterai Penyimpan Energi (SBPE), Sistem Informasi Konsumsi Energi Listrik dan Air (Elisa), Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik (SPKL), Platform Sistem Manajemen Baterai Cerdas, dan Mikro *Data Center* untuk manajemen data sistem energi berkelanjutan.

Implementasi sistem energi berkelanjutan di ITB menunjukkan komitmen kuat terhadap inovasi teknologi dan keberlanjutan lingkungan. Sistem-sistem ini tidak hanya mendukung operasional kampus, tetapi juga menyediakan alat bantu pendidikan, penelitian, dan demonstrasi yang penting bagi masyarakat dan industri. ITB bisa menjadi salah satu model bagi institusi lain dalam upaya mencapai keberlanjutan energi, memanfaatkan teknologi canggih untuk menciptakan lingkungan yang lebih hijau dan efisien energi.

2.1 Sistem PLTS

Institut Teknologi Bandung (ITB) telah mengambil langkah signifikan dalam menerapkan sistem energi berkelanjutan dengan menginstalasi beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di berbagai lokasi kampus. Sistem-sistem PLTS ini dirancang untuk beroperasi dalam berbagai mode, yaitu *off-grid* (mandiri), *on-grid* (berinteraksi dengan grid PLN), dan hibrida (mikrogrid). PLTS di ITB dilengkapi dengan teknologi canggih seperti inverter hibrida dan inverter modul solar yang memastikan fleksibilitas dan efisiensi dalam pengelolaan energi.

2.1.1 Deskripsi Sistem PLTS di ITB

1. Mode Operasi PLTS

- **Off-Grid (Mandiri):** Sistem PLTS dalam mode *off-grid* beroperasi secara mandiri tanpa terhubung ke jaringan listrik utama (PLN). Energi yang dihasilkan oleh panel surya disimpan dalam baterai dan digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik lokal. Mode ini sangat berguna di lokasi-lokasi terpencil atau saat terjadi gangguan pada jaringan listrik utama.
- **On-Grid (Berinteraksi dengan Grid PLN):** Dalam mode *on-grid*, PLTS terhubung dengan jaringan listrik utama PLN. Energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat langsung digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik atau disalurkan ke jaringan PLN. Sistem ini menggunakan inverter modul solar yang mengubah tegangan DC dari panel surya menjadi tegangan AC yang sesuai untuk beban listrik.
- **Hibrida (Mikrogrid):** Mode hibrida mengombinasikan fitur dari mode *off-grid* dan *on-grid*. Sistem ini dilengkapi dengan inverter hibrida yang berfungsi sebagai pengontrol aliran energi, memungkinkan PLTS beroperasi secara mandiri sekaligus berinteraksi dengan jaringan PLN. Dalam kondisi darurat, sistem ini dapat dihubungkan dengan pembangkit listrik cadangan untuk memastikan pasokan energi yang stabil.

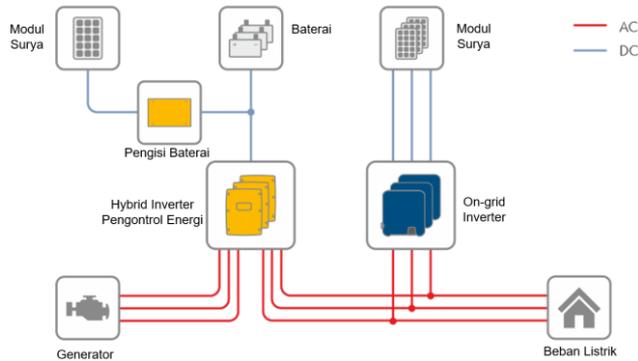
2. Komponen Utama PLTS

- **Inverter hibrida:** Inverter hibrida berfungsi sebagai pengontrol utama dalam sistem hibrida, mengelola aliran energi antara panel surya, baterai, jaringan PLN, dan beban listrik. Inverter ini memastikan bahwa energi digunakan secara efisien dan sesuai kebutuhan.
- **Inverter Modul Solar (On-Grid Inverter):** Inverter modul solar mengubah tegangan DC yang dihasilkan oleh panel surya menjadi tegangan AC yang dapat digunakan langsung oleh beban listrik atau disalurkan ke jaringan PLN. Inverter ini memainkan peran penting dalam sistem *on-grid*.
- **Baterai penyimpanan energi:** Baterai digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya, memungkinkan sistem untuk menyediakan listrik bahkan saat produksi energi dari panel

surya tidak mencukupi (misalnya, pada malam hari atau saat cuaca mendung).

- **Pembangkit listrik cadangan:** Sistem PLTS juga dilengkapi dengan pembangkit listrik cadangan yang dapat diaktifkan dalam kondisi darurat untuk memastikan pasokan energi yang kontinu.

Gambar 2.1 menunjukkan diagram suatu PLTS, yang dapat dikonfigurasi untuk operasi *off-grid*, *on-grid*, atau hibrida.



Gambar 2.1 PLTS dengan 3 mode operasi

2.1.2 Lokasi dan Kapasitas PLTS di ITB

1. PLTS Laboratorium Manajemen Energi, Teknik Fisika, FTI, ITB:

- Kapasitas: 6,7 kWp
- Deskripsi: PLTS ini digunakan untuk mendukung kegiatan penelitian dan operasional di Laboratorium Manajemen Energi.

2. PLTS Gedung SBM (Sekolah Bisnis dan Manajemen):

- Kapasitas: 57,6 kWp
- Deskripsi: Sistem ini membantu memenuhi kebutuhan listrik Gedung SBM, mendukung operasional dan mengurangi ketergantungan pada listrik PLN.

3. PLTS Gedung CAS (Center for Advanced Sciences):

- Kapasitas: 100 kWp
- Deskripsi: Salah satu PLTS terbesar di ITB, menyediakan listrik untuk sebagian operasional Gedung CAS yang berfokus pada penelitian sains lanjutan.

4. PLTS Tempatkan Parkir Gedung Benny Subianto:

- Kapasitas: 5 kWp
- Deskripsi: Terhubung dengan Stasiun Pengisi Kendaraan Listrik (SPKL) berkapasitas 22 kW, mendukung inisiatif kendaraan listrik di kampus.

5. PLTS Gedung SITH (Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati):

- Kapasitas: 15 kWp
- Deskripsi: Memenuhi kebutuhan listrik untuk sebagian operasional Gedung dan sebagai peralatan penunjang pendidikan, penelitian, dan demonstrasi energi terbarukan, khususnya PLTS.

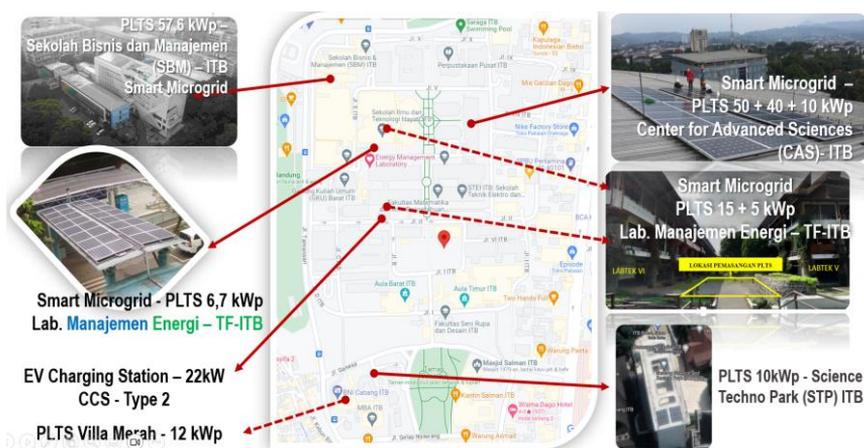
6. PLTS STP (Science Techno Park) Ganesa:

- Kapasitas: 10 kWp
- Deskripsi: Menyediakan listrik untuk operasional STP Ganesa, mendukung kegiatan penelitian dan pengembangan teknologi.

7. PLTS Vila Merah:

- Kapasitas: 12 kWp
- Deskripsi: Mendukung sebagian operasional kelistrikan Vila Merah, berkontribusi pada keberlanjutan energi di lingkungan kampus.

Gambar 2.2 menunjukkan lokasi pemasangan PLTS di ITB.



Gambar 2.2 Lokasi PLTS di ITB

2.1.3 Manfaat PLTS di ITB

1. Keberlanjutan Energi:

- PLTS di ITB mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mengurangi emisi karbon, mendukung upaya keberlanjutan lingkungan.

2. Efisiensi Energi:

- Sistem ini mengoptimalkan penggunaan energi yang dihasilkan oleh panel surya, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan efisiensi operasional gedung.

3. Kesadaran Energi:

- Implementasi PLTS meningkatkan kesadaran penghuni kampus akan pentingnya penghematan energi dan penggunaan sumber energi terbarukan.

4. Dukungan Penelitian dan Pendidikan:

- PLTS menyediakan platform untuk penelitian dan pendidikan terkait energi terbarukan, memberikan mahasiswa dan peneliti kesempatan untuk mempelajari dan mengembangkan teknologi energi berkelanjutan.

5. Ketahanan Energi:

- Dengan sistem hibrida dan pembangkit listrik cadangan, PLTS di ITB memastikan pasokan energi yang stabil dan andal, bahkan dalam kondisi darurat.

2.2 Mikrogrid Cerdas

Institut Teknologi Bandung (ITB) telah mengimplementasikan mikrogrid cerdas di beberapa lokasi di kampus, termasuk Laboratorium Manajemen Energi, Gedung SBM, dan Gedung CAS (*Center for Advanced Sciences*). Mikrogrid cerdas ini memanfaatkan berbagai teknologi maju untuk mengoptimalkan penggunaan energi, meningkatkan efisiensi, dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

2.2.1 Mikrogrid Cerdas Laboratorium Manajemen Energi ITB

Mikrogrid cerdas di Laboratorium Manajemen Energi, Teknik Fisika, ITB, merupakan salah satu contoh penerapan teknologi mikrogrid. Sistem ini dilengkapi dengan berbagai komponen yang mendukung operasi dan manajemen energi secara optimal.

1. Sumber Energi Terbarukan:

- **Pembangkit Listrik Tenaga Surya:** Menggunakan panel fotovoltaik untuk menangkap energi matahari dan mengonversinya menjadi listrik.

2. Sistem Penyimpanan Energi:

- **Baterai:** Digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh sumber energi terbarukan, memastikan ketersediaan energi saat produksi tidak mencukupi.

3. *Smart Metering*:

- Pengukuran dan pemantauan konsumsi energi secara *real-time* menggunakan sensor IoT dan perangkat *smart metering*. Data yang dikumpulkan digunakan untuk menganalisis pola konsumsi dan mengidentifikasi peluang penghematan energi.

4. Sistem Manajemen Energi:

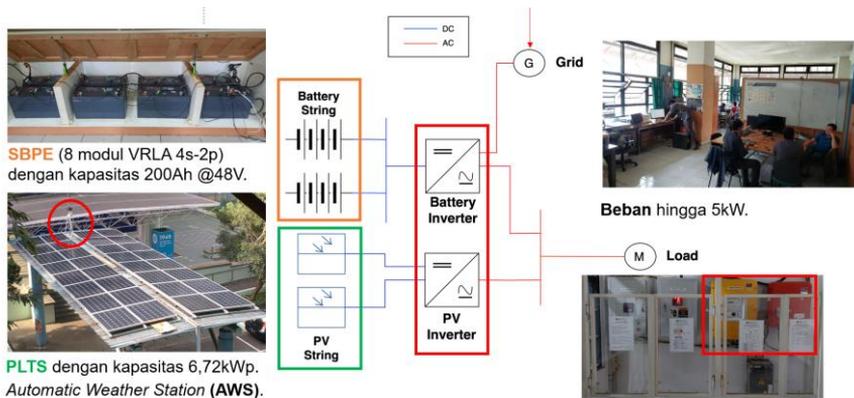
- Perangkat lunak yang mengoptimalkan distribusi energi berdasarkan data *real-time* dan prediksi kebutuhan energi. Sistem ini menggunakan algoritma cerdas untuk mengatur aliran energi antara sumber energi, penyimpanan, dan beban.

5. *Micro Grid Digital Twin* (MGDT):

- **Akuisisi data:** Pengumpulan data dari sensor dan perangkat IoT yang terpasang di mikrogrid. Data ini mencakup informasi tentang produksi energi, konsumsi, kondisi baterai, dan parameter lingkungan.
- **Pemodelan dan simulasi:** Penggunaan perangkat lunak untuk membuat dan memperbarui model virtual mikrogrid. Model ini mencerminkan kondisi nyata mikrogrid dan memungkinkan simulasi skenario operasi yang berbeda.

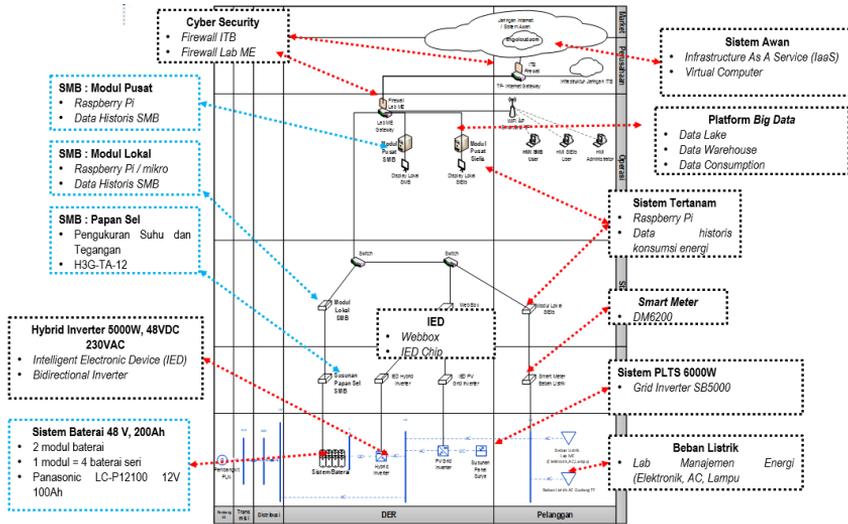
- **Analik dan optimasi:** Algoritma analitik dan pembelajaran mesin digunakan untuk menganalisis data dan mengoptimalkan operasi mikrogrid. Analisis ini membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik dan pemeliharaan preventif.
- **Visualisasi:** Antarmuka visual yang menampilkan kinerja dan kondisi mikrogrid secara *real-time*. Visualisasi ini membantu operator dan manajer energi dalam memantau dan mengelola sistem dengan lebih efektif.

Gambar 2.3 menunjukkan sistem mikrogrid cerdas Laboratorium Manajemen Energi, Teknik Fisika, ITB.



Gambar 2.3 Sistem mikrogrid cerdas Lab. Manajemen Energi, TF-ITB

Gambar 2.4 menunjukkan model konfigurasi sistem mikrogrid cerdas Laboratorium Manajemen Energi TF-ITB.



Gambar 2.4 Model konfigurasi sistem mikrogrid cerdas Lab.Manajemen Energi TF-ITB

Gambar 2.5 menunjukkan satu contoh tampilan sistem mikrogrid cerdas Laboratorium Manajemen Energi TF-ITB.



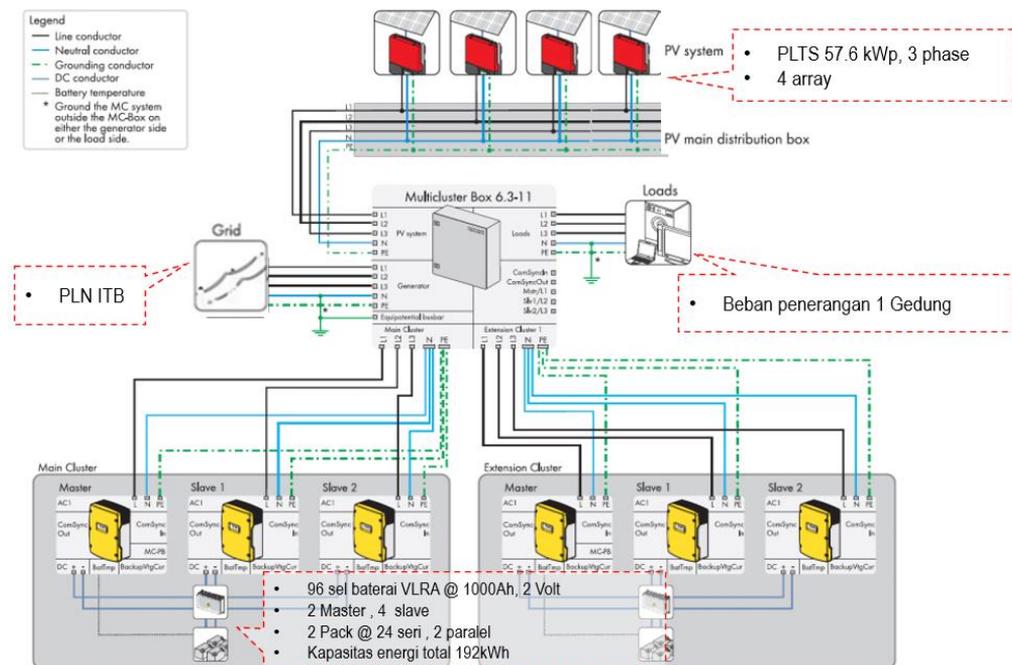
Gambar 2.5 Contoh tampilan sistem mikrogrid cerdas Lab. Manajemen Energi ITB

2.2.2 Mikrogrid Cerdas Gedung SBM

Mikrogrid cerdas di Gedung SBM dirancang untuk mendukung operasional kelistrikan gedung dengan efisiensi energi yang tinggi dan penggunaan sumber energi terbarukan. Sistem ini mencakup berbagai teknologi yang memungkinkan manajemen energi yang lebih baik.

- **Sumber Energi Terbarukan:** PLTS dengan kapasitas 57,6 kWp menyediakan sebagian besar kebutuhan energi gedung.
- **Sistem Penyimpanan Energi:** Baterai lithium-ion digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh PLTS, memastikan pasokan energi yang stabil.
- **Smart Metering:** Sistem pengukuran dan pemantauan *real-time* membantu mengidentifikasi pola konsumsi energi dan peluang penghematan.
- **Sistem Manajemen Energi:** Perangkat lunak manajemen energi mengoptimalkan distribusi energi dan memastikan penggunaan yang efisien.

Gambar 2.6 menunjukkan sistem mikrogrid cerdas yang dipasang di gedung SBM ITB.



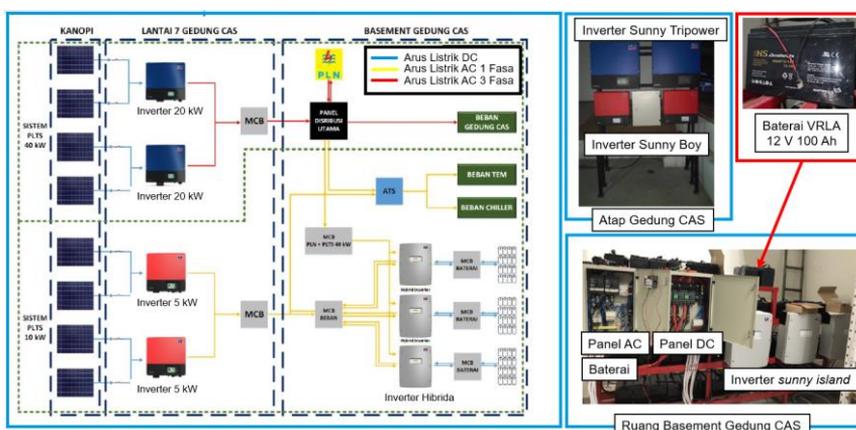
Gambar 2.6 Sistem mikrogrid cerdas gedung SBM

2.2.3 Mikrogrid Cerdas Gedung CAS

Gedung CAS (*Center for Advanced Sciences*) ITB dilengkapi dengan mikrogrid cerdas yang menggunakan teknologi canggih untuk mengelola dan mengoptimalkan penggunaan energi.

- **Sumber energi terbarukan:** PLTS dengan kapasitas 100 kWp sebagai sumber energi utama.
- **Sistem penyimpanan energi:** Baterai digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh PLTS, memastikan ketersediaan energi saat diperlukan.
- **Smart metering:** Pengukuran dan pemantauan konsumsi energi secara *real-time*.
- **Sistem manajemen energi:** Menggunakan perangkat lunak untuk mengelola dan mengoptimalkan distribusi energi, mendukung operasi gedung yang efisien.

Gambar 2.7. menunjukkan sistem mikrogrid cerdas yang dipasang di gedung CAS ITB.



Gambar 2.7 Sistem mikrogrid cerdas gedung CAS ITB

2.3 Sistem Baterai Penyimpan Energi

Institut Teknologi Bandung (ITB) bekerja sama dengan PT Pertamina telah mengembangkan Sistem Baterai Penyimpan Energi (SPBE) yang dirancang untuk mendukung keberlanjutan energi dan efisiensi penggunaan sumber daya energi terbarukan. SPBE ini merupakan hasil dari kolaborasi yang bertujuan untuk menciptakan solusi penyimpanan energi yang andal, efisien, dan berkelanjutan.

2.3.1 Deskripsi Sistem SPBE

Untuk pengembangan pertama, SPBE ini dikemas dalam satu kontainer dengan kapasitas baterai sebesar 172 kWh. Baterai yang digunakan dalam sistem ini adalah jenis Lithium Iron Phosphate (LFP), yang dikenal karena keamanannya, stabilitas termal yang baik, dan umur panjang. Setiap sel baterai memiliki tegangan 3,2V dan kapasitas 100 Ah. Sel-sel baterai ini disusun dalam modul-modul baterai 48V, dengan 15 sel baterai yang dihubungkan secara seri untuk membentuk satu modul.

Setiap rak baterai terdiri atas 3 modul baterai yang dihubungkan secara paralel, sehingga satu rak baterai memiliki kapasitas total sebesar 14,4 kWh. Untuk mencapai kapasitas total 192 kWh, sistem ini memerlukan 12 rak baterai yang disusun secara paralel. Konfigurasi ini memastikan bahwa sistem memiliki kapasitas penyimpanan energi yang besar dan dapat memenuhi kebutuhan energi yang signifikan.

2.3.2 Komponen dan Struktur SPBE

1. Modul Baterai:

- Setiap modul baterai terdiri atas 15 sel baterai yang dihubungkan secara seri, menghasilkan tegangan 48V. Modul-modul ini dirancang untuk memberikan kapasitas penyimpanan energi yang optimal dengan efisiensi tinggi.

2. Rak Baterai:

- Rak baterai disusun dari 3 modul baterai yang dihubungkan secara paralel, menghasilkan kapasitas total 14,4 kWh per rak. Konfigurasi paralel ini memastikan distribusi beban yang merata dan meningkatkan keandalan sistem.

Sistem Manajemen Baterai (BMS):

- SPBE ini dilengkapi dengan Sistem Manajemen Baterai (BMS) yang berfungsi untuk memonitor dan mengelola operasi baterai dari level sel hingga level sistem SPBE. BMS ini dirancang untuk melindungi dan menjaga agar baterai beroperasi dalam kondisi yang aman, sehingga umur baterai dapat dijaga tetap panjang.
- BMS memantau parameter kritis seperti tegangan, arus, dan suhu setiap sel baterai. Sistem ini juga mengatur pengisian dan

pengosongan baterai untuk mencegah kondisi *overcharge* atau *overdischarge*.

3. Inverter Baterai:

- Setiap rak baterai dihubungkan dengan inverter baterai yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Inverter-inverter ini dihubungkan secara paralel untuk menghasilkan tegangan arus bolak-balik (AC) yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik.

2.3.3 Teknologi IoT dan Manajemen Energi pada SPBE

SPBE ini juga dilengkapi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk *monitoring* sistem dan manajemen energi. IoT memungkinkan pemantauan *real-time* terhadap kinerja sistem, memberikan data yang akurat mengenai status baterai, konsumsi energi, dan kondisi lingkungan. Data ini dikirimkan ke platform manajemen energi yang menganalisis informasi tersebut untuk mengoptimalkan penggunaan energi dan memastikan operasi yang efisien.

Gambar 2.8. menunjukkan Sistem Baterai Penyimpanan Energi (SBPE) yang dibangun dari kerja sama ITB dengan PT Pertamina.



Gambar 2.8 Sistem SBPE berukuran kontainer

2.4 Elisa

Sistem Informasi Konsumsi Energi Listrik dan Air (Elisa) adalah inovasi teknologi yang diimplementasikan di Institut Teknologi Bandung (ITB) untuk mengelola penggunaan energi listrik dan air secara terpusat. Sistem ini dirancang untuk mengumpulkan data konsumsi energi dan air, menganalisisnya secara *real-time*, dan memberikan wawasan yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Dengan menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT), Elisa menyediakan data yang akurat dan mudah diakses dari mana saja, mendukung kesadaran energi, serta pengambilan keputusan yang lebih baik.

2.4.1 Komponen Utama Sistem Elisa

1. Sensor IoT

- **Deskripsi:** Sensor-sensor ini ditempatkan di berbagai titik strategis dalam gedung untuk memantau konsumsi energi listrik dan air. Mereka mengukur berbagai parameter seperti tegangan, arus, aliran air, dan tekanan.
- **Fungsi:** Sensor IoT mengirimkan data yang dikumpulkan secara terus-menerus ke *server* pusat untuk dianalisis, memungkinkan pemantauan *real-time* terhadap konsumsi energi.

2. Platform Manajemen Data

- **Deskripsi:** Platform ini bertanggung jawab untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis data yang diterima dari sensor IoT. Data yang dikumpulkan diproses menggunakan teknologi *big data* dan *machine learning* untuk mengidentifikasi pola konsumsi dan peluang penghematan energi.
- **Fungsi:** Platform ini menyediakan analisis indikator kinerja spesifik dan finansial, membantu manajer gedung dalam membuat keputusan yang lebih baik tentang pengelolaan energi.

3. Visualisasi Data

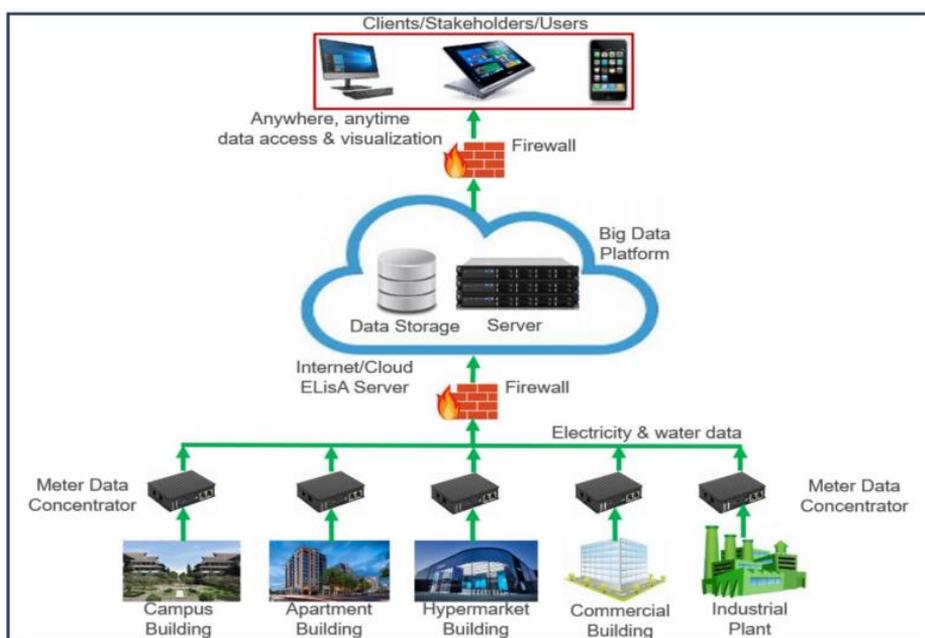
- **Deskripsi:** Data yang dianalisis disajikan dalam bentuk visualisasi yang mudah dipahami seperti grafik, diagram, dan *dashboard* interaktif. Pengguna dapat mengakses informasi ini dari antarmuka berbasis web atau aplikasi seluler.

- **Fungsi:** Visualisasi data membantu penghuni gedung memahami pola penggunaan energi mereka, meningkatkan kesadaran tentang pentingnya penghematan energi, dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik.

4. Analisis Indikator Kinerja Spesifik dan Finansial

- **Deskripsi:** Elisa dilengkapi dengan fitur analisis indikator kinerja yang memberikan wawasan tentang efisiensi energi dan kinerja finansial gedung.
- **Fungsi:** Analisis ini meliputi indeks konsumsi energi gedung, indeks kinerja gedung, dan potensi penghematan biaya, membantu manajer gedung dalam merencanakan strategi untuk meningkatkan efisiensi energi.

Gambar 2.9 menunjukkan konfigurasi umum pemasangan Elisa.



Gambar 2.9 Konfigurasi umum Elisa

2.4.2 Fitur dan Manfaat Elisa

1. Pemantauan *Real-Time*

- **Fitur:** Elisa memantau konsumsi energi listrik dan air secara *real-time* menggunakan sensor IoT yang terpasang di seluruh gedung.
- **Manfaat:** Pemantauan *real-time* memberikan data yang akurat dan tepat waktu, memungkinkan tindakan korektif segera untuk menghindari pemborosan energi.

2. Akses Data yang Mudah

- **Fitur:** Data konsumsi energi dapat diakses dari mana saja melalui antarmuka berbasis web atau aplikasi seluler.
- **Manfaat:** Akses data yang mudah mendukung kesadaran energi dan memungkinkan manajer gedung untuk memantau konsumsi energi dari jarak jauh.

3. Penghematan Energi dan Biaya

- **Fitur:** Elisa membantu mengidentifikasi peluang penghematan energi melalui analisis data yang mendalam.
- **Manfaat:** Penghematan energi yang dihasilkan mengarah pada pengurangan biaya operasional gedung, meningkatkan efisiensi finansial.

4. Peningkatan Efisiensi Operasional

- **Fitur:** Sistem kontrol otomatis dan analisis data *real-time* meningkatkan efisiensi operasional dengan memungkinkan pengelolaan yang lebih baik terhadap sumber daya energi.
- **Manfaat:** Peningkatan efisiensi operasional mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan.

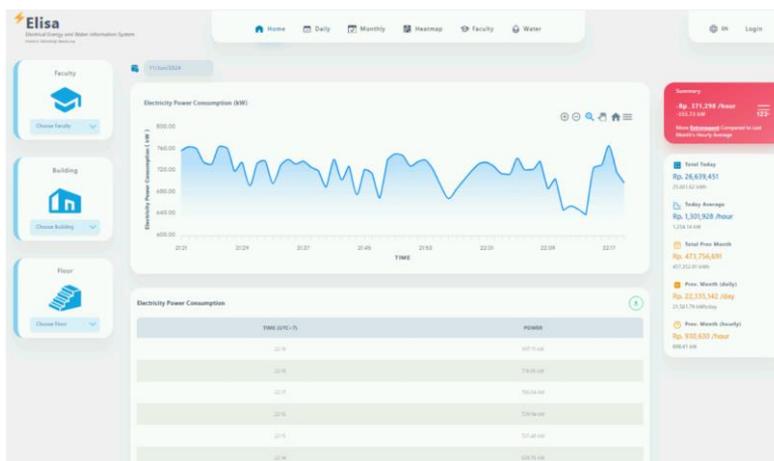
5. Dukungan Keberlanjutan Lingkungan

- **Fitur:** Dengan mengurangi konsumsi energi dan air, Elisa berkontribusi terhadap upaya keberlanjutan lingkungan dan mitigasi perubahan iklim.
- **Manfaat:** Sistem ini membantu gedung mencapai sertifikasi hijau, yang penting dalam praktik bangunan ramah lingkungan dan efisiensi energi.

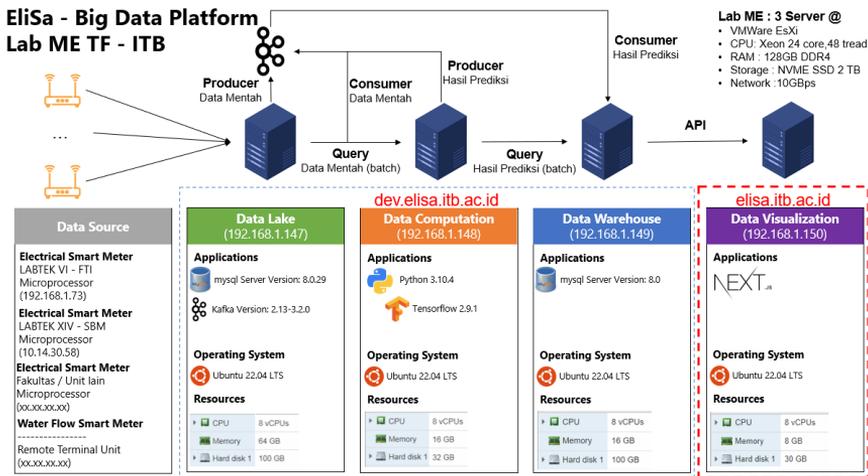
2.4.3 Implementasi di Kampus ITB

Di kampus ITB, Elisa telah diimplementasikan di beberapa gedung utama untuk memantau dan mengelola konsumsi energi listrik dan air. Sensor IoT dipasang di berbagai titik strategis dalam gedung untuk mengumpulkan data konsumsi energi secara terus-menerus. Data ini kemudian dianalisis dan disajikan dalam bentuk visualisasi yang dapat diakses oleh manajer gedung dan penghuni melalui antarmuka berbasis web atau aplikasi seluler. Gambar 2.10 menunjukkan salah satu tampilan Elisa.

Implementasi Elisa di kampus ITB telah menunjukkan hasil yang signifikan dalam memberikan informasi biaya operasional. Analisis data konsumsi energi dan air telah membantu manajer gedung dalam mengidentifikasi area yang memerlukan perhatian karena konsumsi energi atau air yang besar. Tindakan korektif yang diambil berdasarkan analisis ini dapat mengarah pada penghematan energi yang signifikan dan peningkatan efisiensi operasional gedung. Gambar 2.11 menunjukkan konfigurasi platform analitik Elisa, dengan sumber data yang bermacam-macam.



Gambar 2.10 Contoh tampilan Elisa



Gambar 2.11 Konfigurasi big data analytics platform Elisa

2.4.4 Integrasi dengan Sistem Lain

Elisa mampu mengintegrasikan data dari berbagai sumber dengan berbagai protokol komunikasi. Data untuk monitoring kelistrikan dapat diakses dari masing-masing unit kerja, dan semua data untuk monitoring dan kontrol kelistrikan serta air dikumpulkan dan diolah pada Platform *Big Data* Elisa. Data pengukuran kelistrikan bisa diintegrasikan dengan data mikrogrid atau PLTS di ITB. Selain itu, data pengukuran level dan flowmeter air bisa digunakan untuk memberikan perintah *on/off* pompa.

Perangkat lunak Elisa juga mampu melakukan analitik dan pemodelan prediktif dengan algoritma pembelajaran mesin menggunakan data historian yang disimpan untuk tujuan optimasi operasi sistem. Dengan fitur ini, Elisa dapat memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem secara keseluruhan.

2.5 SPKL

Institut Teknologi Bandung (ITB) telah mengembangkan dan mengimplementasikan Stasiun Pengisi Kendaraan Listrik (SPKL) di kampus untuk meningkatkan pemanfaatan kendaraan listrik khususnya di lingkungan kampus. Implementasi teknologi SPKL ini bertujuan mendukung transisi ke energi bersih dan efisiensi penggunaan sumber daya energi terbarukan.

2.5.1 Deskripsi SPKL di ITB

SPKL yang dipasang di ITB dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengisian baterai kendaraan listrik dengan efisien dan cepat. Lokasinya strategis di dalam lingkungan kampus, memungkinkan akses mudah bagi pengguna kendaraan listrik, baik dari lingkungan kampus maupun pengguna luar yang kebetulan berada di dekat SPKL.

2.5.2 Komponen Sistem SPKL

1. Sistem Pengisian Baterai Kendaraan Listrik:

- SPKL dilengkapi dengan berbagai jenis konektor untuk mendukung berbagai tipe kendaraan listrik. Sistem pengisian ini dapat beroperasi pada mode daya rendah sebesar 7 kW dan mode daya tinggi hingga 22 kW. Kecepatan pengisian yang ditawarkan memungkinkan pengguna untuk mengisi baterai kendaraan listrik mereka dalam waktu yang relatif singkat.

2. Pengembangan Sistem Data Berbasis *Supervisory Control And Data Acquisition - Internet of Things (SCADA-IoT)*:

- SPKL di ITB dilengkapi dengan sistem SCADA berbasis IoT yang memungkinkan pemantauan dan pengelolaan pengisian baterai secara *real-time*. Sistem ini mencakup sensor dan perangkat IoT yang mengumpulkan data operasional dan kinerja SPKL.
- **Edge Device:** Pengembangan edge device dilakukan untuk inovasi pemantauan dan kontrol SPKL. Fungsi *edge device* mencakup:
 - **Pemantauan Operasi dan Kinerja SPKL:** Mengumpulkan data *real-time* tentang status pengisian dan kondisi operasional.
 - **Manajemen Energi Jaringan Listrik:** Mengoptimalkan penggunaan energi berdasarkan data yang dikumpulkan.
 - **Interkoneksi Komunikasi Data Smart Grid:** Mengintegrasikan data dari SPKL dengan sistem informasi energi listrik yang lebih luas.
 - **Gateway Komunikasi ke Internet/Cloud:** Memungkinkan akses data dan kontrol dari jarak jauh.
 - **Protocol Converter:** Mendukung berbagai protokol komunikasi seperti CANBUS, MODBUS, OCPP, dan TCP/IP.

- **Financial Transaction:** Mengelola transaksi keuangan untuk pengguna SPKL.

3. Interkoneksi ke Jaringan Listrik dan Jaringan Data Kampus ITB:

- SPKL terhubung dengan jaringan listrik dan data kampus, memastikan koordinasi yang baik dan pengelolaan energi yang efisien. Dengan pemilihan kapasitas modul surya dan baterai yang tepat, PLTS di kampus ITB dapat menghasilkan energi listrik yang cukup untuk kebutuhan SPKL, menjadikannya sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

2.5.3 Perluasan SPKL dengan Sistem Manajemen Baterai Cerdas (SMBC)

SPKL yang telah dibangun di ITB selanjutnya diperluas dengan dilengkapi Sistem Manajemen Baterai Cerdas (SMBC) untuk memenuhi kebutuhan yang semakin mendesak akan sistem baterai penyimpanan energi (SBPE) dan kendaraan listrik baterai (KLB) yang efisien dan andal. Seiring dengan meningkatnya permintaan akan teknologi ini, solusi manajemen baterai yang ada saat ini sering kali terbatas oleh infrastruktur lokal tradisional yang mahal dan sulit untuk ditingkatkan. Oleh karena itu, pengembangan SMBC yang lebih maju dan berbasis teknologi terkini menjadi sangat penting.

2.5.4 Kebutuhan dan Tantangan dalam Sistem Manajemen Baterai

1. Efisiensi dan Keandalan:

- Sistem manajemen baterai yang efisien dan andal sangat diperlukan untuk memastikan operasi yang aman dan memperpanjang masa pakai baterai. SBMS memungkinkan pemantauan dan pengelolaan baterai secara *real-time*, yang penting untuk mengoptimalkan kinerja dan masa pakai baterai.

2. Keterbatasan Infrastruktur Tradisional:

- Solusi Sistem Manajemen Baterai (SMB) konvensional sering kali terbatas oleh ketergantungan pada infrastruktur lokal yang mahal dan tidak mudah ditingkatkan. Infrastruktur tradisional ini juga kurang fleksibel dalam menangani peningkatan permintaan dan kompleksitas pengelolaan baterai.

2.5.5 Solusi Sistem Manajemen Baterai Cerdas (SMBC)

1. Pemantauan dan Pengelolaan Data *Real-Time*:

- SBMS di ITB dirancang untuk memungkinkan pemantauan dan pengelolaan baterai secara *real-time*. Ini mencakup pengukuran tegangan, arus, suhu, dan kondisi kesehatan baterai. Data yang dikumpulkan dianalisis untuk memastikan operasi yang aman dan optimal.

2. Optimasi Kinerja dan Masa Pakai Baterai:

- SMBC memainkan peran penting dalam mengoptimalkan kinerja dan masa pakai baterai. Dengan algoritma cerdas, SMBC dapat memprediksi kondisi baterai dan memberikan rekomendasi untuk pengelolaan yang lebih baik. Ini mengurangi kebutuhan penggantian baterai yang sering dan meminimalkan pemborosan.

3. Komputasi *Cloud Native* dan Perangkat *Edge*:

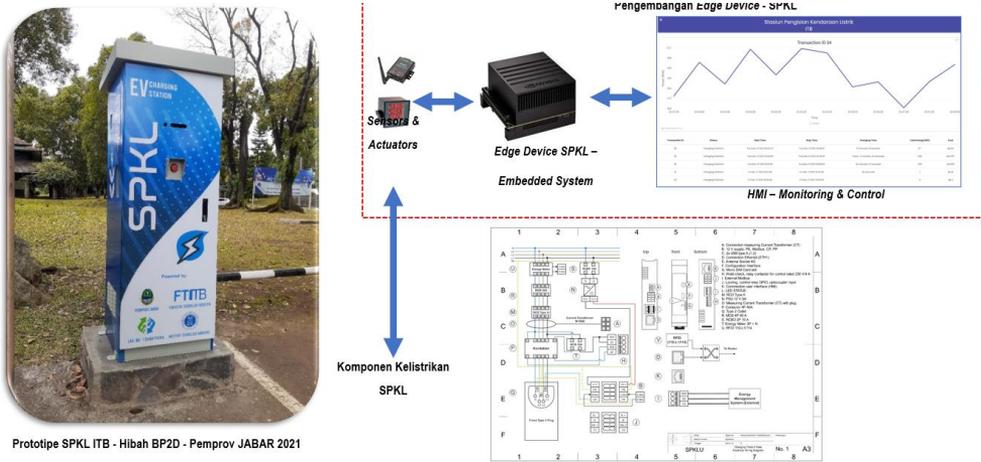
- Untuk mengatasi keterbatasan SMB konvensional, ITB mengembangkan platform SMB yang berbasis pada komputasi *cloud native* dan perangkat *edge*. Platform ini menawarkan skalabilitas tinggi, hemat biaya, dan mampu menangani sejumlah besar data yang dihasilkan oleh SBPE dan KLB.
- Komputasi *cloud native* memungkinkan pengolahan data secara cepat dan efisien, sementara perangkat *edge* memungkinkan pemrosesan data di dekat sumbernya, mengurangi latensi dan meningkatkan responsivitas sistem.

4. Analisis Data dan Algoritma *Machine Learning*:

- SMBC menggunakan algoritma pembelajaran mesin dan *big data analytics* untuk memantau kondisi baterai dan mengambil keputusan operasional dan pemeliharaan. Algoritma ini memungkinkan deteksi dini terhadap potensi masalah dan optimasi kinerja sistem baterai.
- Analisis data yang kompleks memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik berdasarkan kondisi nyata dan prediksi kinerja baterai.

Penggunaan SMBC pada SPKL yang diimplementasikan dengan *edge-device* akan menjadikan SPKL mempunyai fitur lebih luas terutama dalam

sistem manajemen energi SPKL. Gambar 2.12 menunjukkan purwarupa sebuah SPKL yang dipasang di kampus ITB.



Gambar 2.12 Purwarupa SPKL

Gambar 2.13. menunjukkan pemasangan *edge-device* pada SPKL, untuk memudahkan integrasi SPKL pada platform sistem manajemen energi.

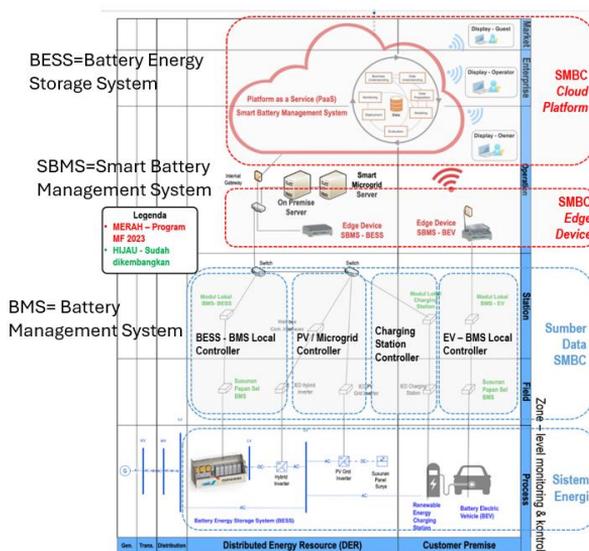


Gambar 2.13 Integrasi SPKL menggunakan *edge-device*

2.6 Mikro Data Center sebagai Platform Digital

Mikro *Data Center* sebagai *platform big data* juga telah dibangun untuk mendukung pengelolaan dan analisis data sistem energi berkelanjutan. Platform ini dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, mengolah, dan menganalisis data dari berbagai sumber energi yang beroperasi di lingkungan ITB, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), mikrogrid cerdas, Sistem Baterai Penyimpanan Energi (SBPE), Sistem Informasi Konsumsi Energi Listrik dan Air

(Elisa), Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik (SPKL), serta pemodelan dan simulasi *digital twin* untuk mikrogrid cerdas. Gambar 2.14. menunjukkan model *big data platform* SPKL yang dilengkapi dengan *edge-device*.



Gambar 2.14 Model *big data platform* SPKL berbasis *edge-device*

2.6.1 Komponen-Komponen Mikro Data Center

Platform *big data* ini terdiri atas beberapa komponen utama yang bekerja secara sinergis untuk menyediakan solusi manajemen data yang komprehensif. Berikut adalah deskripsi rinci dari setiap komponen:

1. Sumber Data:

- **Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS):** Menghasilkan data mengenai produksi energi, efisiensi panel surya, dan kondisi operasional.
- **Mikrogrid Cerdas:** Menghasilkan data tentang distribusi energi, integrasi sumber energi terbarukan, dan penggunaan energi di berbagai lokasi.
- **Sistem Baterai Penyimpan Energi (SBPE):** Menghasilkan data mengenai status baterai, siklus pengisian dan pengosongan, serta kesehatan baterai.

- **Sistem Informasi Konsumsi Energi Listrik dan Air (Elisa):** Mengumpulkan data konsumsi energi listrik dan air dari berbagai gedung di kampus.
- **Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik (SPKL):** Menghasilkan data penggunaan stasiun pengisian, durasi pengisian, dan efisiensi pengisian.
- **Pemodelan dan Simulasi *Digital Twin*:** Menghasilkan data simulasi dan prediksi performa mikrogrid berdasarkan berbagai skenario operasional.

2. **Data Lake:**

- *Data lake* berfungsi sebagai tempat penyimpanan seluruh data mentah yang dikumpulkan dari berbagai sumber. Data ini disimpan dalam format aslinya tanpa perlu diproses terlebih dahulu, sehingga memungkinkan fleksibilitas dalam analisis data di masa mendatang. *Data lake* memastikan bahwa semua data yang masuk dapat diakses dengan mudah dan cepat oleh berbagai komponen platform lainnya.

3. **Komputasi Data:**

- Komputasi data melibatkan penggunaan teknologi canggih seperti *cloud computing* dan *edge computing* untuk mengolah data yang besar dan kompleks. Proses komputasi ini mencakup pemrosesan data secara *real-time* dan *batch processing* untuk analisis mendalam. Teknologi komputasi yang digunakan memungkinkan pemrosesan data yang efisien dan cepat, memastikan bahwa informasi yang dihasilkan selalu terkini dan relevan.

4. **Data Warehouse:**

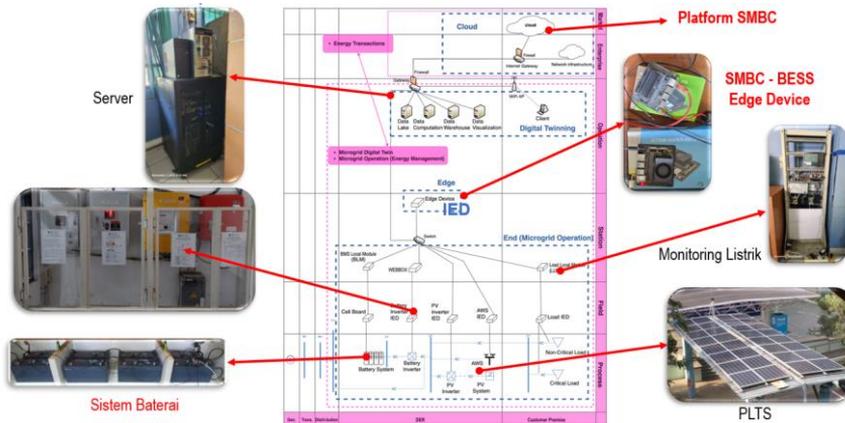
- *Data warehouse* adalah tempat penyimpanan data yang sudah diolah dan disusun secara sistematis. Data di dalam *data warehouse* diorganisasikan dalam bentuk yang mudah diakses untuk keperluan analisis dan pelaporan. *Data warehouse* memungkinkan penyimpanan data historis yang dapat digunakan untuk analisis tren, prediksi, dan perencanaan strategis.

5. **Visualisasi:**

- Komponen visualisasi berfungsi untuk menyajikan data dalam bentuk yang mudah dipahami melalui grafik, *dashboard*, dan laporan

interaktif. Visualisasi data membantu dalam interpretasi hasil analisis dan pengambilan keputusan yang lebih baik. Platform ini menyediakan antarmuka visual yang intuitif sehingga pengguna dari berbagai latar belakang dapat dengan mudah memahami informasi yang disajikan.

Gambar 2.15. merupakan model konfigurasi platform analitik untuk berbagai sumber data, misalnya PLTS, mikrogrid, Elisa, SPKL, dan lain-lain.



Gambar 2.15 Model platform analitik terintegrasi

3 PELUANG DAN TANTANGAN

Transisi energi merupakan proses peralihan dari penggunaan sumber energi fosil yang tidak terbarukan menuju pemanfaatan energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Di Indonesia, transisi energi menjadi fokus utama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan meningkatkan ketahanan energi nasional. Sistem energi berkelanjutan memainkan peran penting dalam mendukung transisi ini dengan menyediakan sumber energi yang stabil, efisien, dan ramah lingkungan.

Sistem energi berkelanjutan melibatkan berbagai teknologi dan praktik yang dirancang untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, meningkatkan efisiensi energi, dan memastikan ketersediaan energi dalam jangka panjang. Beberapa komponen utama sistem energi berkelanjutan meliputi energi baru terbarukan (seperti tenaga surya, angin, air, dan biomassa), sistem penyimpanan energi, mikrogrid cerdas, teknologi manajemen energi berbasis *Internet of Things* (IoT), efisiensi energi, dan platform big data untuk analisis serta pengelolaan data energi.

Dengan potensi sumber energi baru terbarukan yang besar, dukungan kebijakan pemerintah, dan peluang investasi serta inovasi teknologi, Indonesia memiliki kesempatan besar untuk mencapai keberlanjutan energi. Namun, tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, pembiayaan, regulasi, dan kesadaran masyarakat perlu diatasi untuk memastikan kesuksesan transisi energi. Melalui upaya kolaboratif antara pemerintah, industri, dan masyarakat, sistem energi berkelanjutan dapat berkembang dan memberikan manfaat jangka panjang bagi Indonesia dan dunia.

3.1 Peluang Sistem Energi Berkelanjutan

Transisi energi nasional dari penggunaan bahan bakar fosil ke energi baru terbarukan (EBT) adalah langkah krusial dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan mencapai ketahanan energi. Indonesia, dengan potensi energi terbarukan yang sangat besar, memiliki peluang emas untuk mengembangkan sistem energi berkelanjutan yang dapat mendukung transisi ini secara signifikan. Berikut adalah analisis mendalam mengenai peluang

yang ada pada pengembangan sistem energi berkelanjutan dan bagaimana peluang tersebut dapat dimaksimalkan untuk mendukung transisi energi nasional.

3.1.1 Potensi Energi Baru Terbarukan di Indonesia

1. Tenaga Surya:

- **Potensi:** Indonesia memiliki potensi tenaga surya yang sangat besar, dengan radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun. Potensi tenaga surya di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 3.200 GW. Daerah seperti Nusa Tenggara Timur, Bali, dan Jawa Timur memiliki intensitas radiasi matahari yang sangat tinggi, menjadikannya lokasi ideal untuk pengembangan proyek tenaga surya.
- **Implementasi:** Pemanfaatan tenaga surya dapat dilakukan melalui instalasi panel surya di atap rumah, bangunan komersial, dan proyek-proyek skala besar seperti *solar farms*. Beberapa proyek besar telah diinisiasi, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Cirata di Jawa Barat yang berkapasitas 145 MW.

2. Tenaga Angin:

- **Potensi:** Beberapa daerah di Indonesia, seperti Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Selatan, dan Kepulauan Maluku, memiliki potensi angin yang cukup tinggi untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Potensi tenaga angin ini dapat mencapai sekitar 60 GW.
- **Implementasi:** Proyek-proyek tenaga angin seperti Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap di Sulawesi Selatan yang memiliki kapasitas 75 MW menunjukkan bahwa pengembangan tenaga angin di Indonesia sangat potensial.

3. Energi Air:

- **Potensi:** Indonesia juga memiliki potensi besar dalam tenaga air, baik dari sungai-sungai besar maupun bendungan yang sudah ada. Potensi energi air Indonesia diperkirakan mencapai 75 GW.
- **Implementasi:** Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dapat menyediakan sumber energi yang stabil dan berkelanjutan. Contohnya, PLTA Jatiluhur di Jawa Barat yang berkapasitas 187 MW.

4. Energi Panas Bumi:

- **Potensi:** Dengan posisi geografis di Cincin Api Pasifik, Indonesia memiliki potensi energi panas bumi yang sangat besar. Potensi ini diperkirakan mencapai 29 GW, menjadikan Indonesia salah satu negara dengan sumber daya panas bumi terbesar di dunia.
- **Implementasi:** Pengembangan proyek panas bumi seperti PLTP Sarulla di Sumatera Utara yang berkapasitas 330 MW menunjukkan bagaimana potensi ini dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi nasional.

5. Biomassa:

- **Potensi:** Pemanfaatan biomassa dari limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan dapat menjadi sumber energi terbarukan yang berkelanjutan. Potensi biomassa di Indonesia mencapai sekitar 32 GW.
- **Implementasi:** Proyek-proyek biomassa seperti Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) di Kalimantan yang memanfaatkan limbah sawit menunjukkan bagaimana biomassa dapat digunakan secara efektif.

3.1.2 Teknologi dan Inovasi dalam Sistem Energi Berkelanjutan

1. Sistem Penyimpanan Energi:

- **Teknologi:** Teknologi penyimpanan energi, seperti baterai lithium-ion dan baterai aliran, memungkinkan penyimpanan energi yang dihasilkan dari sumber terbarukan untuk digunakan saat dibutuhkan. Ini membantu mengatasi masalah intermittency dan memastikan pasokan energi yang stabil.
- **Implementasi:** Proyek penyimpanan energi skala besar, seperti yang dikembangkan oleh Tesla di Australia Selatan, dapat menjadi model untuk diterapkan di Indonesia guna mendukung stabilitas jaringan energi terbarukan.

2. Mikrogrid Cerdas:

- **Teknologi:** Mikrogrid cerdas memungkinkan integrasi berbagai sumber energi terbarukan dengan sistem penyimpanan energi dan kontrol cerdas. Teknologi ini dapat meningkatkan keandalan dan

efisiensi sistem energi, terutama di daerah terpencil yang tidak terhubung dengan jaringan utama.

- **Implementasi:** Mikrogrid cerdas di ITB yang menggabungkan PLTS, sistem penyimpanan energi, dan kontrol cerdas menunjukkan bagaimana teknologi ini dapat diimplementasikan untuk mendukung operasional kampus dan penelitian.

3. *Internet of Things (IoT) dan Big Data:*

- **Teknologi:** IoT dan *big data* memungkinkan pemantauan dan pengelolaan sistem energi secara *real-time*. Data yang dikumpulkan dapat digunakan untuk analisis prediktif, pemeliharaan proaktif, dan optimasi sistem energi. Ini membantu meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya operasional.
- **Implementasi:** Penggunaan platform *big data* seperti yang dikembangkan di ITB untuk mengumpulkan data dari PLTS, mikrogrid cerdas, sistem penyimpanan energi, dan SPKL dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung keputusan strategis.

4. Efisiensi Energi:

- **Teknologi:** Penggunaan teknologi yang lebih efisien dan perbaikan sistem manajemen energi dapat mengurangi konsumsi energi tanpa mengurangi kualitas layanan. Efisiensi energi berperan penting dalam mengurangi biaya operasional dan dampak lingkungan.
- **Implementasi:** Program efisiensi energi di gedung-gedung pemerintah dan industri, seperti retrofit pencahayaan LED dan sistem HVAC yang lebih efisien, dapat secara signifikan mengurangi konsumsi energi dan biaya.

3.1.3 Peluang dalam Pengembangan Sistem Energi Berkelanjutan

1. Investasi dan Kemitraan:

- **Peluang:** Pengembangan proyek-proyek energi terbarukan membuka peluang investasi yang besar. Kerja sama antara pemerintah, swasta, dan komunitas internasional dapat mempercepat pembangunan infrastruktur energi terbarukan.
- **Analisis:** Kemitraan publik-swasta (PPP) dapat menjadi model yang efektif untuk menarik investasi dan membagi risiko antara

pemerintah dan sektor swasta. Contoh sukses di bidang ini adalah proyek PLTS Cirata yang melibatkan kerja sama antara PT PLN (Persero) dan Masdar dari Uni Emirat Arab.

2. Penciptaan Lapangan Kerja:

- **Peluang:** Pengembangan industri energi terbarukan dapat menciptakan lapangan kerja baru di berbagai sektor, mulai dari konstruksi hingga operasi dan pemeliharaan. Ini dapat memberikan dorongan signifikan bagi ekonomi lokal.
- **Analisis:** Menurut *International Renewable Energy Agency (IRENA)*, sektor energi terbarukan dapat menciptakan lebih dari 20 juta pekerjaan di seluruh dunia pada tahun 2030. Indonesia dapat memanfaatkan tren ini dengan mengembangkan pendidikan dan pelatihan yang relevan untuk tenaga kerja di sektor energi terbarukan.

3. Ketahanan Energi:

- **Peluang:** Diversifikasi sumber energi dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan meningkatkan ketahanan energi nasional. Ini mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil dan melindungi ekonomi dari fluktuasi harga energi global.
- **Analisis:** Dengan mengembangkan sumber energi terbarukan secara lokal, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada impor minyak dan gas, yang sering kali terpengaruh oleh ketidakstabilan geopolitik. Ini juga memungkinkan Indonesia untuk mencapai swasembada energi.

4. Lingkungan Hidup:

- **Peluang:** Penggunaan energi terbarukan secara signifikan mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara, berkontribusi pada kualitas lingkungan yang lebih baik dan mitigasi perubahan iklim.
- **Analisis:** Studi menunjukkan bahwa peralihan ke energi terbarukan dapat mengurangi emisi karbon dioksida global sebesar 70% pada tahun 2050 (IRENA, 2019). Di Indonesia, pengurangan emisi ini dapat membantu memenuhi komitmen dalam Perjanjian Paris dan meningkatkan kesehatan masyarakat dengan mengurangi polusi udara.

3.2 Tantangan Sistem Energi Berkelanjutan

Transisi energi dari bahan bakar fosil ke energi baru terbarukan adalah langkah penting untuk mencapai ketahanan energi dan mengurangi dampak perubahan iklim. Namun, pengembangan sistem energi berkelanjutan di Indonesia menghadapi sejumlah tantangan yang harus diatasi untuk memastikan keberhasilan transisi ini. Berikut adalah beberapa tantangan yang harus diantisipasi dan dicari solusi.

3.2.1 Keterbatasan Infrastruktur

Pengembangan infrastruktur yang memadai adalah salah satu tantangan utama dalam transisi ke energi berkelanjutan. Indonesia, sebagai negara kepulauan, memiliki tantangan geografis yang signifikan dalam membangun jaringan distribusi energi yang andal. Banyak daerah terpencil yang sulit dijangkau dan belum terhubung dengan jaringan listrik utama. Investasi besar diperlukan untuk meningkatkan dan memperluas jaringan listrik agar dapat mendukung integrasi energi terbarukan secara efisien (ADB, 2017).

Untuk masalah ini, investasi dalam teknologi *smart grid* dan mikrogrid cerdas dapat membantu mengatasi keterbatasan ini. *Smart grid* memungkinkan pengelolaan distribusi energi yang lebih efisien, sementara mikrogrid cerdas dapat menyediakan listrik di daerah terpencil tanpa harus terhubung ke jaringan utama.

3.2.2 Pembiayaan dan Investasi

Biaya awal yang tinggi untuk proyek energi terbarukan masih menjadi hambatan utama. Meskipun biaya teknologi energi terbarukan terus menurun, biaya awal yang tinggi dan risiko investasi masih menjadi penghalang utama (IRENA, 2020). Sumber pembiayaan yang terbatas, terutama dari sektor swasta, memperlambat pengembangan proyek energi terbarukan di Indonesia.

Mekanisme pembiayaan yang inovatif sangat diperlukan untuk mengatasi kendala ini, seperti kemitraan publik-swasta (PPP) dan penggunaan dana hijau internasional, dapat membantu mengatasi masalah pembiayaan.

Insentif pajak dan subsidi pemerintah juga dapat meningkatkan daya tarik investasi di sektor energi terbarukan.

3.3.3 Regulasi dan Kebijakan

Regulasi yang belum sepenuhnya mendukung dan kebijakan yang sering berubah menjadi tantangan dalam pengembangan energi terbarukan. Ketidakpastian regulasi dan birokrasi yang rumit dapat menghambat investasi dan pengembangan proyek energi terbarukan (World Bank, 2020).

Persoalan ini seharusnya bisa diatasi dengan diupayakan adanya kerangka regulasi yang jelas dan stabil untuk mendukung investasi jangka panjang. Pemerintah harus menyediakan insentif yang konsisten dan mengurangi birokrasi untuk mempercepat proses perizinan dan implementasi proyek energi terbarukan.

3.3.4 Teknologi dan Inovasi

Pengembangan dan adopsi teknologi baru sering kali menghadapi tantangan dalam hal biaya, keahlian teknis, dan penerimaan masyarakat. Teknologi penyimpanan energi dan sistem manajemen energi masih membutuhkan investasi besar untuk penelitian dan pengembangan (R&D). Menurut laporan IRENA tahun 2021, inovasi teknologi adalah kunci untuk mengatasi intermittency dari sumber energi terbarukan dan meningkatkan efisiensi sistem energi (IRENA, 2021).

Dalam hal seperti ini, peningkatan investasi dalam R&D dan pelatihan teknis dapat mempercepat adopsi teknologi baru. Kolaborasi antara lembaga penelitian, universitas, dan industri dapat menciptakan ekosistem inovasi yang mendukung pengembangan teknologi energi berkelanjutan.

3.3.5 Kesadaran dan Edukasi

Kesadaran dan edukasi masyarakat tentang pentingnya energi berkelanjutan masih rendah. Peningkatan kesadaran dan edukasi adalah kunci untuk mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam transisi energi (UNDP, 2019).

Batasan ini biasanya dapat diatasi dengan kampanye kesadaran publik dan program edukasi yang komprehensif dapat membantu meningkatkan pemahaman masyarakat tentang manfaat energi terbarukan. Pemerintah dan organisasi non-pemerintah (NGO) dapat bekerja sama untuk menyelenggarakan program-program edukasi di sekolah-sekolah dan komunitas.

4 PENUTUP

Perjalanan menuju sistem energi berkelanjutan merupakan langkah penting dalam memastikan masa depan yang lebih hijau dan lebih baik bagi Indonesia. Buku ini telah menguraikan berbagai aspek penting dalam transisi energi nasional, mulai dari potensi besar energi baru terbarukan yang dimiliki oleh Indonesia hingga tantangan dan solusi yang perlu dihadapi untuk mewujudkan visi tersebut. Beberapa contoh implementasi dan pengujian yang terkait dengan sistem energi berkelanjutan, di antaranya seperti PLTS, mikrogrid cerdas, sistem baterai penyimpanan energi (SPBE), efisiensi energi, stasiun pengisian kendaraan listrik (SPKL), dan *big data analytics platform* yang dikembangkan di ITB juga telah dijelaskan.

Dengan potensi yang sangat besar dari tenaga surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi, Indonesia berada pada posisi yang sangat strategis untuk memimpin transisi energi global. Pengembangan infrastruktur, teknologi, dan kebijakan yang mendukung energi terbarukan dapat membuka jalan bagi ketahanan energi, penciptaan lapangan kerja, dan perlindungan lingkungan.

PLTS, mikrogrid cerdas, sistem penyimpanan energi, efisiensi energi, stasiun pengisian kendaraan listrik, IoT dan manajemen data, serta platform *big data analytics* adalah beberapa komponen kunci yang telah dibahas. Implementasi teknologi-teknologi ini tidak hanya meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem energi, tetapi juga memungkinkan integrasi yang lebih baik dari berbagai sumber energi terbarukan.

Namun, perjalanan ini bukan tanpa tantangan. Keterbatasan infrastruktur, kebutuhan pembiayaan, regulasi yang perlu diperbaiki, dan perlunya peningkatan kesadaran serta edukasi masyarakat adalah beberapa hambatan yang harus diatasi. Melalui kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan masyarakat luas, tantangan-tantangan ini dapat dihadapi dengan solusi yang inovatif dan berkelanjutan.

Pada akhirnya, keberhasilan transisi energi nasional tidak hanya bergantung pada teknologi dan kebijakan, tetapi juga pada komitmen kolektif bersama untuk mewujudkan masa depan yang lebih baik. Dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan dan mengatasi tantangan yang ada,

Indonesia dapat menjadi contoh bagi dunia dalam mencapai sistem energi yang berkelanjutan.

Diharapkan ada kontribusi dalam wawasan yang berharga dan inspirasi untuk berpartisipasi dalam perjalanan menuju energi berkelanjutan. Masa depan yang lebih hijau, lebih adil, dan lebih berkelanjutan adalah tanggung jawab kita bersama. Mari kita bekerja sama untuk mewujudkannya.

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah Swt., yang selalu memberikan petunjuk pada jalan kebaikan, yang sudah menganugerahi saya dengan jabatan Guru Besar dalam bidang Sistem Energi Berkelanjutan, di Komunitas dan Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.

Terima kasih yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada kedua orang tua saya, almarhum Bapak Roebijo Sigit Seputro dan almarhumah Ibu Umirah, yang sepanjang hidupnya selalu mendidik saya hingga terbentuk karakter seperti sekarang ini, yang selalu mendorong dan mendoakan anak-anaknya untuk menjadi manusia yang bermanfaat di sepanjang perjalanan kehidupan. Terima kasih tak terhingga saya sampaikan kepada istri tercinta saya, Hindrarti Kadarisma, yang dengan penuh kesabaran telah mendampingi saya lebih dari 35 tahun, yang selalu mendorong dan menginspirasi saya untuk hidup lebih mudah, indah, dan menyenangkan. Demikian juga saya sampaikan terima kasih kepada ketiga anak saya, Anindita Cintyakumala Leksono, Prabowo Listyanto Leksono, Wicaksono Trihatmojo Leksono, kedua menantu saya Muhammad Kemal Ramadhan Agam dan Prattia Arizzan Nurbany, yang selalu memberikan semangat dalam segala situasi apapun. Terima kasih kepada kedua cucu saya yang selalu membuat suasa riang dalam kehidupan saya. Terima kasih yang setulus-tulusnya juga saya sampaikan kepada saudara-saudara saya, kakak saya Ibu Mawarniati Hesti Wuryaningrum, adik-adik saya Prof. Suhono Harso Supangkat dan Prof. Kuncoro Harto Widodo yang tak henti-hentinya selalu mendorong untuk mencapai jabatan guru besar.

Perkenankan saya juga menyampaikan terima kasih yang setingginya kepada:

1. Rektor ITB dan pimpinan Institut Teknologi Bandung, Ketua dan Anggota Forum Guru Besar ITB, yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah pada forum yang sangat terhormat ini.
2. Dekanat Fakultas Teknologi Industri ITB, Prof. Brian Yulianto, Prof. Yogi Wibisono Budhi, dan Prof. Ari Widyanti yang telah memproses dan mengawal pengusulan Guru Besar saya sejak dari FTI ITB hingga keluar surat keputusan Guru Besar saya.
3. Prof. Yul Yunazwin Nazaruddin dan Prof. Bambang Sunendar dari Komunitas Teknik Fisika ITB, Prof. Tubagus Ahmad Fauzi Soelaiman dari

fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara ITB, Prof. Retono Wigayatri dari Fakultas Teknik Universitas Indonesia, dan Prof. Oliver Sawodny dari Institute for System Dynamics, University of Stuttgart, Germany, yang telah memberikan dukungan dan rekomendasi usulan guru besar saya.

4. Almarhum Prof. Arifin Wardiman, yang sudah mempromosikan saya untuk menjadi dosen di Teknik Fisika ITB, dan telah membentuk saya menjadi pendidik seperti sekarang ini.
5. Prof. Harijono A. Tjokronegoro yang telah banyak melatih dan mengajari saya hingga mempunyai bekal yang cukup untuk bisa mengamalkan ilmu-ilmu yang sudah dipelajari agar bisa dimanfaatkan untuk kepentingan masyarakat dan industri, dan yang tak bosan-bosannya mendorong dan menyemangati saya untuk segera menyelesaikan semua persyaratan usulan guru besar saya.
6. Dr. Kusmayanto Kadiman, senior di Komunitas Teknik Fisika ITB, yang selalu memberikan semangat dan motivasi pada waktu bersama-sama bekerja di Laboratorium Instrumentasi dan Kontrol, Teknik Fisika ITB
7. Prof. Hermawan Kresno Dipojono, yang tidak bosan-bosannya mengajarkan kesabaran dan semangat yang tinggi dalam menjaga kehormatan dan martabat institusinya.
8. Prof. Suprijantio, yang sudah bersedia melakukan tinjauan naskah orasi ilmiah saya, yang telah memberikan komentar, masukan dan saran-saran yang sangat penting dan berharga dalam penyelesaian naskah ini.
9. Rekan-rekan dosen purnabakti Teknik Fisika ITB, Prof. Benjamin Soenarko, Dr. Aman Mostavan, Dr. Mohammad Rohmanuddin, Dr. Agus Samsi, Dr. Sutanto Hadisupadmo, Dr. Suyatman, Ir. Triyogo, M. Des. Sc., yang selalu menciptakan suasana kekompakan Keluarga Besar Teknik Fisika, baik untuk kepentingan keluarga dosen maupun dalam memajukan Teknik Fisika ITB.
10. Rekan-rekan Guru Besar di Komunitas Teknik Fisika ITB, Prof. Deddy Kurniadi dan Prof. Endro Joeliyanto, yang selalu menginspirasi dan memberikan dukungan.
11. Seluruh rekan sejawat di lingkungan Kelompok Keahlian Fisika Teknik ITB yang selalu membuat suasana bekerja kolaboratif yang sangat menyenangkan.
12. Seluruh rekan sejawat di lingkungan Komunitas Teknik Fisika ITB yang selalu penuh dengan suasana gembira dalam menjalankan tugas-tugas bersama.

13. Seluruh staf tenaga kependidikan di lingkungan komunitas Teknik Fisika ITB atas seluruh bantuan dan dukungannya selama ini.
14. Dr. Irsyad Nashirul Haq, Dr.-Ing. Justin Pradipta, dan Dr.-Ing. Thomas Budiarto, yang selalu bersemangat untuk mendorong dan memberikan dukungan kepada saya.
15. Seluruh anggota Laboratorium Manajemen Energi ITB, para alumni S-1, S-2, dan S-3 yang sudah melakukan tugas akhir, penelitian tesis dan disertasi, yang selalu bersemangat untuk berkolaborasi menyelesaikan persoalan-persoalan untuk kemajuan Laboratorium Manajemen Energi ITB.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, G., & Sanchez, R.(2016). Advanced Energy Management Systems for Microgrids, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 8, pp. 451-465.
- Basso, T., & DeBlasio, R.(2004). Microgrids and the Integration of Solar Photovoltaic Systems, *Smart Grid Journal*, vol. 15, pp. 50-65.
- Big Data Research (2023), *Data Management Platforms for Energy Systems: Harnessing Big Data and Machine Learning*, *Big Data Research Journal*, vol. 12, pp. 150-165.
- Bruce, P. G., Freunberger, S. A., Hardwick, L. J., & Tarascon, J. M.(2012), "Li-O₂ and Li-S batteries with high energy storage," *Nature Materials*, vol. 11, pp. 19-29.
- Dincer, I., & Rosen, M. A.(2021). *Thermal Energy Storage: Systems and Applications*, John Wiley & Sons, vol. 2, pp. 55-72.
- Direktorat Jenderal EBTKE (2020). *Potensi Energi Surya di Indonesia, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian ESDM*.
- Geothermal Energy Association (2021). *Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report*, Geothermal Energy Association.
- Global Wind Energy Council (2022). *Global Wind Report 2022*, Global Wind Energy Council.
- IEEE Internet of Things (2023). *Real-time Monitoring with IoT Sensors in Energy Systems*, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, pp. 100-115.
- IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (2023). *The Role of IoT and Data Management in Environmental Sustainability and Renewable Energy Targets*, *IEEE*, vol. 20, pp. 200-215
- International Hydropower Association (2022). *2022 Hydropower Status Report*, International Hydropower Association.
- International Renewable Energy Agency (2022). *Renewable Energy Capacity Statistics 2022*, International Renewable Energy Agency.
- International Renewable Energy Agency (2020). *Renewable Energy in Microgrids: Sustainable and Environmentally Friendly Solutions*, IRENA Publications, vol. 8, pp. 120-135.

- Katipamula, S., & Brambley, M. R. (2005). Advanced Energy Management Systems for Real-Time Monitoring and Control, *ASHRAE Journal*, vol. 10, pp. 77-85.
- Lasseter, R. H., Piagi, P., & Akhil, A. A. (2011). The CERTS Microgrid Concept, *International Journal of Distributed Energy Resources*, vol. 7, pp. 225-239.
- National Renewable Energy Laboratory (2019). Operational Flexibility in Smart Microgrids, *NREL Publications*, vol. 12, pp. 45-60.
- National Renewable Energy Laboratory (2019). Wind Energy Systems and Applications, *NREL Publications*, vol. 12, pp. 30-45.
- Ponce de León, C., Frías-Ferrer, A., González-García, J., Szánto, D. A., & Walsh, F. C. (2006). Redox flow cells for energy conversion, *Journal of Power Sources*, vol. 160, pp. 716-732.
- Syed, A. (2021). Industrial Waste Heat Recovery Systems, *Energy Efficiency Journal*, CRC Press, vol. 1, pp. 150-175
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2021). Cogeneration Systems and Applications, *Energy Systems Series*, vol. 8, pp. 55-72.
- Thollander, P., & Palm, J. (2013). Energy Efficiency in Industrial and Household Applications: LED Lighting, Efficient Motors, and Energy-Saving Appliances, *Springer*, vol. 5, pp. 45-67.
- Alvarez, G., & Sanchez, R.(2016). Advanced Energy Management Systems for Microgrids, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 8, pp. 451-465.
- Basso, T., & DeBlasio, R. (2004), Microgrids and the Integration of Renewable Energy Sources, *Smart Grid Journal*, vol. 15, pp. 50-65.
- Big Data Research (2023). Data Analysis Platforms for Enhanced Decision Making in Energy Systems, *Elsevier*, vol. 12, pp. 150-165.
- Hidayat (2019). Peran Sistem Baterai Penyimpan Energi dalam Transisi Energi, *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 8, pp. 89-102.
- IEEE Internet of Things Journal (2023). Real-time Data Collection with IoT Sensors in Energy Systems, *IEEE*, vol. 10, pp. 100-115.
- International Energy Agency (2021). "Energy Efficiency 2021: A Comprehensive Guide to Retrofit Energy Technologies, *International Energy Agency*, vol. 5, pp. 90-110.
- International Renewable Energy Agency (2020). Biomass for Power Generation, *IRENA Publications*, vol. 8, pp. 90-105, 2020.
- International Renewable Energy Agency (2019). Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050..

- Lasseter, R. H., Piagi, P., & Akhil, A. A. (2011). The CERTS Microgrid Concept, *International Journal of Distributed Energy Resources*, vol. 7, pp. 225-239.
- Navigant Research (2018). *Cost Reduction in Smart Microgrids: Optimizing Distributed Energy Resources*, Navigant Publications, vol. 15, pp. 70-85.
- Nugroho (2020). Pemanfaatan IoT dan Big Data dalam Sistem Energi Berkelanjutan, *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 14, pp. 105-118.
- Prasetyo (2021). Strategi Efisiensi Energi di Sektor Industri, *Jurnal Manajemen Energi*, vol. 12, pp. 77-92.
- Suprijanto (2018). Energi Terbarukan di Indonesia: Potensi dan Tantangan, *Jurnal Energi*, vol. 15, pp. 123-135.
- Wiratmo (2020). Implementasi Mikrogrid Cerdas di Indonesia, *Jurnal Teknologi Energi*, vol. 10, pp. 45-60.

CURRICULUM VITAE



Nama : Edi Leksono
Tempat/Tgl. Lahir : Sleman, 28 Desember 1959
Kel. Keahlian : Fisika Teknik
Alamat Kantor : Jl. Ganesa 10 Bandung 40132
Nama Istri : Hindrarti Kadarisman
Nama Anak : Anindita Cintyakumala Leksono
: Prabowo Listyanto Leksono
: WicaksonoTrihatmojo Leksono

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung, 1983
2. Master of Engineering, Control Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan, 1990
3. Ph. D. in Engineering, Electrical Engineering, Keio University, Japan, 1998

II. RIWAYAT PEKERJAAN DI ITB

1. Staf Pengajar Fakultas Teknologi Industri ITB, 1984-sekarang
2. Sebagai Ketua Tim Pendayagunaan Fasilitas Kontrol Proses, 2002
3. Kepala Laboratorium Instrumentasi & Kontrol, FTI ITB, 2003
4. Kepala Laboratorium Manajemen Energi, FTI ITB, 2008-sekarang
5. Ketua Tim Sertifikasi Engineering Pertamina, FTI ITB, 2004
6. Ketua Kelompok Keahlian/Keilmuan Teknik Fisika, FTI ITB, 2006-2011
7. Ketua Kelompok Keahlian/Keilmuan Teknik Fisika, FTI ITB, 2019-2022
8. Ketua Tim Hibah Daerah Provinsi Jawa Barat dan ITB tentang "Pengembangan Instalasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum di Kampus Institut Teknologi Bandung", 2021

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

1. CPNS, Golongan III/a, 1 Maret 1984
2. Penata Muda, Golongan III/a, 1 Juni 1985
3. Penata Muda Tk.1, Golongan III/b, 1 April 1986
4. Penata, Golongan III/c, 1 April 1991
5. Penata Tk. 1, Golongan III/d, 1 Oktober 2000
6. Pembina, Golongan IV/a, 1 Oktober 2002

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

1. Asisten Ahli Madya, 1 Juni 1985
2. Asisten Ahli, 1 April 1986
3. Lektor Muda, 1 Maret 1991
4. Lektor Madya, 1 April 1999
5. Lektor, 1 Januari 2001
6. Lektor Kepala, 1 Maret 2002
7. Guru Besar, 1 Agustus 2023

V. RIWAYAT ORGANISASI PROFESI

1. Himpunan Instrumentasi Indonesia, HimII
2. Persatuan Insinyur Indonesia, Badan Kejuruan Teknik Fisika, 1999-sekarang, IPM
3. Ketua Badan Kejuruan Teknik Fisika Persatuan Insinyur Indonesia, BKTF-PII, 2019-2022
4. The Institute of Electrical Engineer of Japan, IEEEJ, 1997-1998
5. Japan Society of Precision Engineer, JSPE, 1997-1998
6. ISA, Instrumentation, System and Automation, 2010 - 2019
7. IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014 - 2022

VI. KEGIATAN PENELITIAN

1. Pengembangan Sistem Manajemen Baterai (SMB) untuk ITB e-TRIKE dan e-BUS, RISPRO Invitasi LPDP, 2019
2. Pengembangan Sistem Manajemen Baterai untuk Lithium Ion Battery Pertamina, PT Pertamina RTC, 2020-2021

3. Pengembangan Manajemen Energi berbasis Edge Device untuk Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik (SPKL) terintegrasi Sistem Informasi Energi Listrik (SiElis), Riset Inovasi LPIK ITB, 2022
4. Pengembangan Sistem Manajemen Kegagalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis *Internet of Things* dan Pembelajaran Mesin, Riset Unggulan ITB, 2023
5. Pengembangan Platform Smart Battery Management System Berbasis *Cloud Native* dan *Edge Device* Untuk Sistem Penyimpanan Energi Stasioner dan Kendaraan Listrik, Kedaireka 2023
6. *Enhancing City Situational Awareness for Environmental Control: Air Pollution Mapping, Health Stress Indicator, Traffic Awareness, Citizen Health Awareness*, LPDP INSPIRASI, Kerja sama ITB-NTU Singapore, 2024-2028

VII. PUBLIKASI

A. JURNAL INTERNASIONAL

1. Reza Fauzi Iskandar, Hanadi, Hartono, **Edi Leksono**, Endra Joelianto (2024). Simultaneous Enhancement of Photovoltaic System Intermittency and Damping Load Variations in Noninverting Buck-Boost Converters Using Robust Weighted Mixed-Sensitivity Control, IEEE Open Access, Vol. 12, pp. 72473-72490
2. Hadi Christian, Koko Friansa, Justin Pradipta, Irsyad Nashirul Haq, and **Edi Leksono** (2024). Comparasion of HVAC Energy Consumption Prediction in an Academic Building using LSTM and DNN, Jurnal Ecotipe, Vol. 11, pp. 77-87
3. **Edi Leksono**, Auditio Mandhany, Irsyad Nashirul Haq, Justin Pradipta, Putu Handre Kertha Utama, Reza Fauzi Iskandar & Rezky Mahesa Nanda (2023). Development of Non-Intrusive Load Monitoring of Electricity Loads Classification with Low-Frequency Sampling Based on Support Vector Machine, Journal of Engineering and Technological Sciences, Institut Teknologi Bandung, Volume 55, Issue 2, Pages 109-119
4. Wasesa, Meditya.; Andariesta, Dinda Thalia; Afrianto, Mochammad Agus; Haq, Irsyad Nashirul; Pradipta, Justin;

- Siallagan, Manahana; **Edi Leksono**; Iskandar, Budi Permadia; Putro, Utomo Sarjono (2022). Predicting Electricity Consumption in Microgrid-Based Educational Building Using Google Trends, Google Mobility, and COVID-19 Data in the Context of COVID-19 Pandemic, *IEEE Access*, Volume 10, Pages 32255 - 32270
5. Yohannes S.M. Simamora*, Harijono A. Tjokronegoro, **Edi Leksono** & Irsan S. Brodjonegoro (2022). Compensation of INS/LBL Navigation Errors in a Polynomial Sound-Speed-Profile, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, Volume 54, Issue 2, Pages 383-404
 6. RF Iskandar, **E Leksono**, E Joelianto (2021). Q-learning hybrid type-2 fuzzy logic control approach for photovoltaic maximum power point tracking under varying solar irradiation exposure, *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, Vol. 14, No.5, pp. 199-208
 7. FX Nugroho Soelami*, Putu Handre Kertha Utama, Irsyad Nashirul Haq, Justin Pradipta, **Edi Leksono** & Meditya Wasesa (2021). "Data Driven Building Electricity Consumption Model Using Support Vector Regression, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, Volume 53, Issue 3, Pages 565-580
 8. Simamora, Y.S.M.*, Tjokronegoro, H.A., **Edi Leksono**, Brodjonegoro, I.S.(2019). "Compensation of time-varying clock-offset in a lbl navigation". *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, Volume 9, Issue 4, Pages 1364-1372
 9. Widjajanto, D., **Edi Leksono***, Widyotriatmo, A.(2019). Nanogrid reliability assessment study using loss of load expectation (Reliability Assessment Method of a Nanogrid Connected to Main Grid). *International Journal of Renewable Energy Research* Volume 9, Issue 4, Pages 2040-2052.
 10. Haq, I.N.*, Kurniadi, D., **Edi Leksono**, Yulianto, B., Soelami, F.X.N. (2019). Performance analysis of energy storage in smart microgrid based on historical data of individual battery temperature and voltage changes. *Journal of Engineering and Technological Sciences* Volume 51, Issue 2, Pages 149-169
 11. Simamora, Y.S.M., Tjokronegoro, H.A., **Edi Leksono** (2019) "Compensation of asynchronous time of flight measurements in a

- long baseline navigation", SN Applied Sciences, Volume 1, Issue 3, Pages
12. Murti, M.A^{*}, Tjokronegoro, H.A., **Edi Leksono**, Agung, W. (2017). Statistic model of dynamic delay and dropout on cellular data networked control system. Journal of Engineering Science and Technology Volume 12, Issue 7, Pages 1855-1870
 13. Muhammad Ary Murti^{*}, Harijono A. Tjokronegoro, **Edi Leksono**, Wiseto Agung (2016). Performance Analysis of HSPA Technology for Networked Control System Application. International Journal of Computer and Communication Engineering (IJCCE) 2016 Vol.5(3): 165-175
 14. Gunawan^{*}, Tjokronegoro, H.A., **Edi Leksono**, Nugraha, N.(2015). Nonadiabatic Condition on the Natural Gas Energy Custody Transfer Using Orifice Flow Meter. Mapan - Journal of Metrology Society of India, Volume 30, Issue 2, Pages 77-84
 15. **Edi Leksono**^{*}, Justin Pradipta, Tua Agustinus Tamba (2012), "Modelling and Identification of Oxygen Excess Ratio of Self-Humidified Pemfuel Cell System", Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology (MEV), vol. 3, no. 1, Pages 39-48
 16. Simamora, Y.S.M.^{*}, Tjokronegoro, H.A., **Edi Leksono** (2014). On active surge control of compression systems via characteristic linearization and model nonlinearity cancellation". Journal of Engineering and Technological Sciences Volume 46, Issue 3, 2014, Pages 342-359
 17. Patar Ebenezer Sitorus, Yul Yunazwin Nazaruddin, **Edi Leksono** & Agus Budiyo^{*}(2009). Design and Implementation of Paired Pectoral Fins Locomotion of Labriform Fish Applied to a Fish Robot, Journal of Bionic Engineering Volume 6, Issue 1, Pages 37-45
 18. Handoko, Y.^{*}, Riyanto, B., Nazaruddin, Y.Y., **Edi Leksono** (2009). Designing embedded fish sensor for underwater robot, Indian Journal of Marine Sciences Volume 38, Issue 3, Pages 308-315.

B. JURNAL NASIONAL

1. **Edi Leksono** , Robi Sobirin , Reza Fauzi Iskandar, Putu Handre Kertha Utama, Mochammad Iqbal Bayeqi, Muhammad Fatih Hasan, Irsyad Nashirul Haq, Justin Pradipta (2023). MPPT Modeling and Simulation in PV Systems Using the DNN Method, Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Volume 12, No. 4, Halaman EN265-EN273
2. FX Nugroho Soelami*, **Edi Leksono**, Irsyad Nashirul Haq, Justin Pradipta, Putu Handre Kertha Utama, Aretha Fieradiella Pahrevi, Faizatuzzahrah Rahmaniah, Meditya Wasesa (2020). Pemodelan Manajemen Energi Microgrid pada Sistem Bangunan Cerdas. Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Vol. 9, No. 4 hal. 414-422
3. T. U. Putri, I. B. Ardhana Putra, **Edi Leksono** (2017). Perancangan Fitur Aplikasi pada Perangkat Mobile untuk Pengukuran Bising Lingkungan dan Posisi, Jurnal Otomasi Kontrol dan Insrumentasi (JOKI), Vol. 7, No. 2, Halaman 89
4. M Zilmi Al Faruqi, **Edi Leksono**, Rahmat Romadhon (2017). Perancangan Mobile Application untuk Pemantauan Boiler dan Heat Exchanger Training System Berbasis Web dengan Framework Jquery Mobile, Jurnal Otomasi Kontrol dan Insrumentasi (JOKI), Vol. 7, No. 2, Halaman 97
5. Elbert Teguh Indarto, **Edi Leksono**, Eko Mursito Budi (2015), Perancangan Sistem Pendeteksi Kehadiran Manusia Menggunakan Sensor Kinect, Jurnal Otomasi Kontrol dan Insrumentasi (JOKI), Vol. 7, No. 1, Halaman 27
6. Nur Havid Yulianto, Parsaulian Ishaya Siregar, **Edi Leksono** (2015). Studi Pemodelan Bond Graph dan Perancangan Pengontrol Proportional + Integral untuk Level Boiler dan Temperatur Penukar Kalor pada Sistem Miniplant, Jurnal Otomasi Kontrol dan Insrumentasi (JOKI), Vol. 7, No. 1, Halaman 53
7. Pratikto*, Yul Yunazwin Nazaruddin, **Edi Leksono**, Zainal Abidin (2010), Pengembangan Sistem Kontrol Traksi Mobil Elektrik Berbasis Rekonstruksi Keadaan Kecepatan Model Roda, Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology (MEV), Vol. 1, No. 2, Halaman 35-42

C. SEMINAR INTERNASIONAL

1. Paul Lawrence; Trendy Prima Wijaya; **Edi Leksono**; Justin Pradipta; Irsyad Nashirul Haq (2022). Pack-to-Multicell Equalization of Lithium Battery String Based on Series-Parallel Topology of Switched-Capacitor Circuit, 7th International Conference on Electric Vehicular Technology, ICEVT 2022 - Proceeding, Pages 76 - 78
2. Suhono Harso Supangkat; **Edi Leksono**; Agus Ramelan; Ayu Latifah (2022). Architecture Open Workspace Concept for Prescriptive Model of Digital Twin, 9th International Conference on ICT for Smart Society: Recover Together, Recover Stronger and Smarter Smartization, Governance and Collaboration, ICISS 2022 - Proceeding, 2022 9th International Conference on ICT for Smart Society, ICISS 2022, Bandung 10 August 2022 - 11 August 2022, Code 183652
3. Putu Handre Kertha Utama; Hilda Hamdah Husniyyah; Irsyad Nashirul Haq; Justin Pradipta; **Edi Leksono** (2021). State of Charge (SoC) Estimation of Battery Energy Storage System (BESS) Using Artificial Neural Network (ANN) Based on IoT- Enabled Embedded System, Proceedings of the 2021 International Conference on Instrumentation, Control, and Automation, ICA 2021, Pages 77 - 82
4. Simamora, Y.S.M., Tjokronegoro, H.A., **Edi Leksono**, Brodjonegoro, I.S.(2020). Compensation of INS Errors based on LBL references in a quadratic sound-speed-profile, Proceeding - 6th Information Technology International Seminar, ITIS 2020 14 October 2020, Article number 9321079, Pages 51-56
5. **Edi Leksono**, Haq, I.N., Juliastuti, E., Zaky Fahran, L.G., Nabhan, F.M.(2019). Development of Active Cell to Cell Battery Balancing System for Electric Vehicle Applications, ICEVT 2019 - Proceeding: 6th International Conference on Electric Vehicular Technology 2019 November 2019, Article number 8993982, Pages 4-10
6. Bandong, S., **Edi Leksono**, Purwarianti, A., Joelianto, E (2019). Performance Ratio Estimation and Prediction of Solar Power Plants Using Machine Learning to Improve Energy Reliability, Proceedings of the 2019 6th International Conference on

- Instrumentation, Control, and Automation, ICA 2019 July 2019, Article number 8916687, Pages 36-41
7. Rismi, F.N., Haq, I.N., **Edi Leksono**, Soelami, F.X. N.(2019). Battery Thermal Characteristics Estimation Using Finite Element Method, ICEVT 2019 - Proceeding: 6th International Conference on Electric Vehicular Technology 2019 November 2019, Article number 8993966, Pages 372-377
 8. Simamora, Y.S.M., Brodjonegoro, I.S., Tjokronegoro, H.A., **Edi Leksono** (2019). On Pseudorange Estimation in a Quadratic Sound Speed Profile, 2019 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technologies, CSUDET 2019 November 2019, Article number 9214694, Pages 284-289
 9. Selvi, L.*, Joelianto, E., **Edi Leksono** (2019). Time Optimization Analysis Using Hybrid Simulated Annealing and Genetics Algorithm for CNC Punching Machine, Journal of Physics: Conference Series Volume 1230, Issue 1, 6 September 2019, Article number 012089
 10. Islameka, M.*, **Edi Leksono**, Yuliarto, B (2019). Modelling of regenerative braking system for electric bus, Journal of Physics: Conference Series Volume 1402, Issue 4, 16 December 2019, Article number 044054.
 11. Saputra, L.H., Haq, I.N., **Edi Leksono**, Romadhon, R., Kurniadi, D., Yuliarto, B (2018). Development of battery thermal management system for LiFeMnPO₄ module using air cooling method to minimize cell temperature differences and parasitic energy, Proceeding - 4th International Conference on Electric Vehicular Technology, ICEVT 2017 Volume 2018-January, 23 March 2018, Article number 8323540, Pages 87-92
 12. Edison, F., Haq, I.N., **Edi Leksono**, Tapran, N., Kurniadi, D., Yuliarto, B (2018). State of energy (SOE) estimation of LiNiCoAlO₂ battery module considering cells unbalance and energy efficiency. Proceeding - 4th International Conference on Electric Vehicular Technology, ICEVT 2017 Volume 2018-January, 23 March 2018, Article number 8323542, Pages 100-106
 13. Budiarto, T.*, Esche, E., Repke, J.U., **Edi Leksono** (2017). Dynamic Model of Chloralkali Membrane Process, Procedia Engineering Volume 170, Pages 473-481

14. Yohannes S.M. Simamora, Harijono A. Tjokronegoro, Edi Leksono (2017), Uncertainties and Their Estimations in Long Baseline Acoustic Positioning Systems for Autonomous Underwater Vehicle Navigation—A Review, The 2017 International Seminar on Sensors, Instrumentation, Measurement and Metrology (ISSIMM 2017), Surabaya, Indonesia, August 25th
15. Anang, Hadisupadmo, S., **Edi Leksono** (2017). Model predictive control design and performance analysis of a pasteurization process plant, Proceedings of the 2016 International Conference on Instrumentation, Control, and Automation, ICA 2016 9 January 2017, Article number 7811480, Pages 81-87
16. Maulana, Y.Z., Hadisupadmo, S., **Edi Leksono** (2017). Performance analysis of PID controller, fuzzy and ANFIS in pasteurization process. Proceedings of the 2016 International Conference on Instrumentation, Control, and Automation, ICA 2016 9 January 2017, Article number 7811496, Pages 171-177
17. Haq, I.N., Saputra, R.H., Edison, F., Kurniadi, D., **Edi Leksono**, Yuliarto, B (2016). State of charge (SoC) estimation of LiFePO₄ battery module using support vector regression, Proceedings - Joint International Conference on Electric Vehicular Technology and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering, ICEVT 2015 and IMECE 2015 20 June 2016, Article number 7496640, Pages 16-21
18. Haq, I.N., **Edi Leksono**, Iqbal, M., Sodami, F.X.N., Nugraha, Kurniadi, D., Yuliarto, B (2015). Development of battery management system for cell monitoring and protection, Proceedings of 2014 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science, ICEECS 2014 18 February 2015, Article number 7045246, Pages 203-208
19. Nugraha, P.Y., Widyotriatmo, A.*, **Edi Leksono** (2015). Optimization of a grid-tied microgrid configuration using dual storage systems, ICCAS 2015 - 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems, Proceedings 23 December 2015, Article number 7364896, Pages 147-152
20. **Edi Leksono**, Haq, I.N., Iqbal, M., Soelami, F.X.N., Merthayasa, I.G.N (2013). State of charge (SoC) estimation on LiFePO₄ battery module using Coulomb counting methods with modified Peukert,

Proceedings of the 2013 Joint International Conference on Rural Information and Communication Technology and Electric-Vehicle Technology, rICT and ICEV-T 2013; Bandung, Bali; Indonesia; 26 November 2013 through 28 November 2013

21. Murti, M.A., Tjokonegoro, H.A., **Edi Leksono**, Agung, W.(2013). Multi-delay multi-dropout model of M2M data network for Networked Control System, 2013 19th Asia-Pacific Conference on Communications, APCC 2013 2013, Article number 6766001, Pages 509-513
22. Anbya, M.F.B.*, Salehuddin, M., Hadisupadmo, S., **Edi Leksono** (2012). Wireless sensor network for single phase electricity monitoring system via Zigbee protocol, Proceedings of 2012 IEEE Conference on Control, Systems and Industrial Informatics, ICCSII 2012 2012, Article number 6470512, Pages 261-266
23. Barus, R.P.P.*, Tjokronegoro, H.A., **Edi Leksono**, Ismunandar (2014). Nonlinear modelling of polymer electrolyte membrane fuel cell stack using nonlinear cancellation technique, AIP Conference Proceedings Volume 1617, Pages 71-74
- Tamba, T.A., **Edi Leksono** (2010). Adaptive backstepping for stabilization of switched nonlinear systems, Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control 2010, Article number 5717241, Pages 1293-1297
24. Yeffry Handoko, Yul.Y. Nazaruddin, Bambang Riyanto, **Edi Leksono** (2007). Body Construction of Fish Robot in order to Gain Optimal Thrust Speed, Proceedings of International Conference on Intelligent Unmanned Systems vol. 3.20.
25. **Edi Leksono**, Pratikto (2004). Adaptive speed control of induction motor with DSP implementation, IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference) Volume 2, Pages 1423 - 1428

D. SEMINAR NASIONAL

1. Pratikto*, Yul Yunazwin Nazaruddin, **Edi Leksono**, Zainal Abidin (2010). Kontrol Traksi Mobil Elektrik Berbasis Model Kendaraan Tanpa Slip, Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWSN 2010). vol 1 hlm 17.1-17.6. Industrial Research

Workshop & Seminar Nasional Sains Terapan 2010, Rabu 27 Oktober 2010, Gedung P2T (Pusat Pengembangan Teknologi) POLBAN.

2. Yeffry Handoko, Yul.Y. Nazaruddin, Bambang Riyanto, **Edi Leksono** (2006). Designing Fish-Like Swimming Boat Robot with Two Speed Modes Based on Proximity Sensor”, Prosiding Seminar Nasional Ilmu Komputer dan Aplikasinya vol 1, No. 1, November 2006; Seminar Nasional Ilmu Komputer dan Aplikasinya – SNIKA (2006 09/11/2006). ISSN 1907-882X

VIII. PENGHARGAAN

1. Satya Lencana Karya Satya 20 Tahun, Pemerintah Republik Indonesia
2. Satya Lencana Karya Satya 30 Tahun, Pemerintah Republik Indonesia
3. Penghargaan 35 Tahun ITB, Rektor ITB, 2019
4. Dosen Berprestasi di Bidang Karya Inovasi, ITB, 2017

IX. SERTIFIKASI

1. Sertifikasi Dosen, Kementerian Pendidikan Nasional
2. Sertifikasi Insinyur Profesional, Persatuan Insinyur Indonesia, 1999

ITB PRESS

📍 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

**Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132
E-mail: sekretariat-fgb@itb.ac.id
Telp. (022) 2512532
🌐 fgb.itb.ac.id 📘 FgbItb 🐦 FGB_ITB
📱 @fgbitb_1920 📺 Forum Guru Besar ITB

ISBN 978-623-297-507-1

