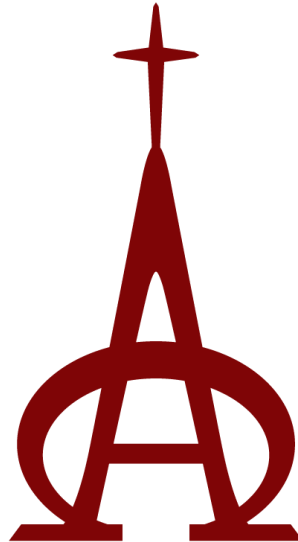


PROPOSAL CAMPUS BUILDING MANAGEMENT SYSTEM (C-BMS)

IEE4031



Martin Emmanuel Chang

212100199

Josh Allen Wu

202000171

Feivel Bryan Allegra

222101454

**INTERNET OF THINGS AND ELECTRICAL ENGINEERING
CALVIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY**

2024

DAFTAR ISI

| | |
|---|----|
| 1. Latar Belakang | 5 |
| 2. Detail Proyek | 7 |
| 2.1 Definisi Proyek | 7 |
| 2.2 Objektif Proyek | 7 |
| 2.3 Review Produk yang tersedia | 10 |
| 2.3.1 Advanced Energy Management System (AEMS) untuk Microgrid Kampus | 10 |
| 2.3.2 Living Lab Smart Energy System | 11 |
| 3. Strategi Proyek | 14 |
| 3.1 Performa yang dibutuhkan | 14 |
| 3.2 Kecerdasan yang akan digunakan | 15 |
| 3.3 Strategi untuk Mencapai Proyek | 17 |
| 4. Rencana Proyek | 19 |
| 4.1 List Pekerjaan | 19 |
| 4.2 Anggaran Biaya | 21 |
| 4.3 Tabel Biaya | 22 |
| 4.4 Tabel Rencana Jadwal | 24 |
| 4.5 Gantt Chart | 25 |
| 4.6 Requirement Diagram | 26 |
| 4.7 Block Definition Diagram | 26 |
| 5. User Experience (UX) | 27 |
| 5.1 UI dan Interactive Design | 27 |
| 5.1.1 Overall Design | 27 |
| 5.1.2 Design Bagian Energi | 29 |
| 5.1.3 Design Bagian HVAC Control | 30 |
| 5.1.4 Design Lighting Control | 31 |
| 5.1.5 Design AI Energy Insights Page | 32 |
| 5.1.6 Design Lantai-lantai Lain | 34 |
| 5.2 Interusability | 35 |
| 5.3 Service Design | 37 |
| 5.4 Industrial Design | 40 |

| | |
|---|----|
| 5.4.1 LoRa End Devices | 40 |
| 5.4.2 LoRa Gateway | 51 |
| 5.5 Platform Design | 52 |
| 5.5.1 Hardware | 52 |
| 5.5.2 Software | 53 |
| 5.5.3 Protokol Komunikasi | 53 |
| 5.5.4 Server | 54 |
| 5.5.5 Cloud | 54 |
| 8. Technical Specification | 56 |
| 8.1 Perangkat Keras (Hardware) | 56 |
| 8.2 Perangkat Lunak (Software) | 58 |
| 8.3 Protokol Komunikasi | 58 |
| 8.4 Server | 59 |
| 8.5 Arsitektur Sistem yang Terintegrasi | 59 |
| 9. Kesimpulan | 60 |
| 9.1 Executive Summary | 60 |
| 9.2 Future Product Development | 61 |
| 10. References | 62 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Figure 1: Gantt Chart | 25 |
| Figure 2: Requirement Diagram | 26 |
| Figure 3: DBB Diagram..... | 26 |
| Figure 4: UI Energy Tab | 29 |
| Figure 5: UI HVAC Tab | 30 |
| Figure 6: UI Lighting Tab..... | 31 |
| Figure 7: UI AI Tab | 32 |
| Figure 8: LoRa SX1278 Wireless | 40 |
| Figure 9: ESP8266 | 40 |
| Figure 10: PZEM-004T..... | 41 |
| Figure 11: 3D Model Energy Module..... | 41 |
| Figure 12: Motion Sensor | 44 |
| Figure 13: 3D Model Lighting Module | 45 |
| Figure 14: DHT22..... | 48 |
| Figure 15: 3D Model Temperature/Humidity Module | 48 |
| Figure 16: LoRa Gateway | 51 |
| Figure 17: Platform Design Diagram..... | 52 |

1. Latar Belakang

Pada era modern, kampus-kampus menghadapi peningkatan skala bangunan dan kompleksitas fasilitas yang terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan pertumbuhan populasi mahasiswa. Kampus sebagai pusat aktivitas akademik dan sosial, kini harus melayani kebutuhan ribuan orang setiap harinya. Akibatnya, konsumsi energi meningkat pesat untuk mendukung berbagai fasilitas seperti ruang kelas, asrama, laboratorium, dan area publik lainnya. Kondisi ini memunculkan tantangan besar dalam hal konsumsi energi yang tinggi dan kebutuhan akan efisiensi energi yang lebih baik.

Beberapa universitas di Indonesia menunjukkan tingginya beban konsumsi energi yang berimplikasi langsung pada biaya operasional yang signifikan. Sebagai contoh, Universitas Indonesia (UI) mencatat penggunaan energi listrik sebesar sekitar 22,4 juta kWh pada tahun 2014, dengan pengeluaran mencapai Rp23,18 miliar. Pada tahun 2015, anggaran ini meningkat menjadi Rp26,77 miliar seiring dengan kebutuhan energi yang terus bertambah untuk mendukung fasilitas di kampus utama UI di Depok dan kampus Salemba di Jakarta (Radityatama, 2021). Di Universitas Diponegoro (Undip), konsumsi energi pada tahun 2019 mencapai sekitar 20,25 juta kWh dengan biaya operasional sebesar Rp16,4 miliar. Studi lainnya di Universitas Lancang Kuning mencatat kebutuhan energi minimum rata-rata kampus mencapai 18,13 watt per meter persegi (Halilintar, 2019). Data ini menunjukkan skala konsumsi energi yang besar di lingkungan kampus serta besarnya beban biaya yang perlu dikelola dengan efektif.

Inisiatif untuk meningkatkan efisiensi energi kini menjadi kebutuhan mendesak bagi banyak universitas di Indonesia, tidak hanya untuk menekan biaya tetapi juga mengurangi dampak lingkungan. Kemajuan teknologi Internet of Things (IoT) dan sensor memberikan peluang besar untuk menghadapi tantangan ini dengan memperkenalkan sistem monitoring energi yang canggih. Sistem ini memungkinkan pemantauan penggunaan energi secara real-time, memberikan rekomendasi otomatis, serta mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat sesuai jadwal atau status penggunaannya. Keberhasilan implementasi IoT sangat bergantung pada antarmuka pengguna (UI) yang intuitif serta sistem manajemen terpusat yang andal, yang dapat mengintegrasikan data

dari berbagai sensor, menyajikannya dalam format yang mudah dipahami, dan memberikan visualisasi yang informatif.

Pemilihan dan penempatan sensor yang tepat merupakan aspek kunci untuk memperoleh data yang akurat, sehingga dapat mendukung pengelola kampus dalam membuat keputusan berbasis data. Melalui sistem manajemen energi bangunan yang efektif, kampus memiliki potensi untuk mengoptimalkan pola penggunaan energi, mengidentifikasi peluang penghematan, dan secara berkelanjutan mengurangi biaya operasional. Dengan pendekatan ini, kampus tidak hanya dapat meningkatkan efisiensi energi tetapi juga memperkuat kontribusi mereka terhadap keberlanjutan lingkungan di era yang semakin menuntut kesadaran lingkungan dan efisiensi sumber daya.

2. Detail Proyek

2.1 Definisi Proyek

Proyek *Campus Building Management System* (C-BMS) bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem manajemen bangunan cerdas yang berfokus pada peningkatan efisiensi energi di lingkungan kampus. C-BMS akan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) serta sistem manajemen terpusat guna memonitor dan mengelola konsumsi energi secara real-time. Dengan mengintegrasikan data dari berbagai sensor yang diposisikan strategis di seluruh fasilitas kampus, sistem ini memungkinkan pemantauan menyeluruh atas penggunaan energi di ruang kelas, laboratorium, asrama, dan area publik lainnya.

2.2 Objektif Proyek

1. Efisiensi Energi:

- **Pengurangan Konsumsi Energi Total:**
 - Target: Mengurangi konsumsi energi keseluruhan kampus sebesar 20% dalam waktu satu tahun. Sensor pengukur listrik dapat memberikan data setiap menit dengan 95% akurat
 - Metrik: Perbandingan penggunaan energi (kWh) sebelum dan sesudah implementasi selama 12 bulan.
- **Penggunaan Energi pada Kampus:**
 - Target: Mengurangi konsumsi energi pada bangunan tertentu, seperti asrama dan ruang kelas, sebesar 15%.
 - Metrik: Konsumsi energi (kWh) yang diukur per bulan.
- **Respons Sensor Pengukur Listrik:**
 - Target: Sensor Pengukur Listrik dapat mendeteksi arus dan tegangan yang lewat secara akurat setiap menit.
 - Metrik: Waktu dan akurasi respons dari Sensor Pengukur Listrik (menit).

2. Pengelolaan HVAC Otomatis:

- **Optimalisasi Penggunaan HVAC:**

- Target: Mengurangi waktu operasional sistem HVAC hingga 15% dengan penyesuaian otomatis berbasis jumlah penghuni dan suhu luar.
- Metrik: Waktu operasional (jam/hari) sebelum dan sesudah pengaturan otomatis diterapkan.

- **Pengaturan Suhu Cerdas:**

- Target: Mempertahankan suhu ruangan dalam kisaran nyaman (20°C-24°C) dengan variasi suhu tidak melebihi $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dari suhu target.
- Metrik: Rata-rata penyimpangan suhu ruangan dari suhu yang ditargetkan per minggu.

- **Efisiensi Penggunaan Energi HVAC:**

- Target: Meningkatkan efisiensi energi HVAC sebesar 15% melalui otomatisasi berbasis sensor.
- Metrik: Konsumsi energi HVAC (kWh) dibandingkan dengan tingkat kenyamanan suhu.

3. Optimasi Pencahayaan:

- **Reduksi Penggunaan Energi Pencahayaan:**

- Target: Mengurangi konsumsi energi pencahayaan hingga 25% dengan sistem pencahayaan cerdas yang mengatur intensitas berdasarkan kehadiran dan cahaya alami.
- Metrik: Konsumsi energi (kWh) dari sistem pencahayaan sebelum dan sesudah implementasi.

- **Respons Sensor Motion:**

- Target: Sensor Motion dapat mendeteksi pergerakan manusia. Sensor dapat membedakan pergerakan manusia dan objek.
- Metrik: Waktu respons sensor pencahayaan (detik).

4. Pemantauan Data Real-Time:

- **Pengumpulan dan Pengolahan Data:**

- Target: Menyediakan data energi secara real-time dengan latensi tidak lebih dari 3 detik.
- Metrik: Waktu latensi data (detik) dari sensor ke dashboard pengguna.
- **Ketersediaan Sistem:**
 - Target: Memastikan sistem berjalan dengan uptime 99.9% selama setahun.
 - Metrik: Total waktu downtime sistem dalam jam per tahun.

2.3 Review Produk yang tersedia

2.3.1 Advanced Energy Management System (AEMS) untuk Microgrid Kampus

Source: MDPI. (2022). *Sensors*, 22(6), 2345. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/6/2345>

AEMS adalah sistem manajemen energi yang dirancang untuk mengelola distribusi daya di kampus melalui microgrid. Microgrid ini mencakup sumber energi terbarukan seperti panel surya, sistem penyimpanan energi (baterai), dan perangkat kontrol beban berbasis algoritma optimasi. Sistem ini memanfaatkan data konsumsi real-time untuk menyesuaikan distribusi daya berdasarkan kebutuhan setiap saat.

Komponen Utama:

- Panel surya dan sumber energi terbarukan lainnya: Sebagai komponen utama untuk menghasilkan energi yang berkelanjutan.
- Baterai: Digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan, memastikan pasokan tetap stabil bahkan saat produksi menurun (misalnya, pada malam hari).
- Kontrol Beban: Perangkat berbasis algoritma optimasi yang memastikan distribusi daya efisien, termasuk prioritas daya ke area tertentu seperti ruang kelas atau laboratorium.

Teknologi yang Digunakan:

- IoT untuk pemantauan energi dan komunikasi antar perangkat.
- Algoritma optimasi yang dirancang untuk mengelola pola distribusi daya berdasarkan permintaan beban dan ketersediaan energi terbarukan.

Fungsi Utama:

- Menyeimbangkan pasokan dan permintaan energi di kampus.
- Mengurangi konsumsi energi dari jaringan utama dengan memaksimalkan penggunaan energi terbarukan.

- Memberikan data konsumsi energi untuk mendorong keputusan berbasis data terkait efisiensi operasional

Kekuatan:

- Meningkatkan efisiensi penggunaan energi dengan mengintegrasikan sumber daya terbarukan dan baterai penyimpanan.
- Mengurangi jejak karbon kampus dan biaya operasional listrik secara keseluruhan.
- Memberikan kontrol yang fleksibel atas kebutuhan daya di berbagai area kampus.

Kekurangan:

- Kompleksitas implementasi tinggi, terutama untuk integrasi dengan infrastruktur kampus lama.
- Membutuhkan investasi besar untuk perangkat keras dan pengembangan algoritma kontrol.

Perbandingan dengan C-BMS:

C-BMS menggunakan pendekatan modular berbasis IoT dengan fokus efisiensi energi melalui sensor yang memantau konsumsi real-time dan otomatisasi perangkat seperti HVAC dan pencahayaan. Meski serupa dalam tujuannya, AEMS lebih kompleks dengan fokus pada pengelolaan microgrid yang melibatkan sumber energi terbarukan. Sementara itu, C-BMS lebih terfokus pada peningkatan efisiensi perangkat energi di bangunan kampus menggunakan solusi berbasis IoT.

2.3.2 Living Lab Smart Energy System

Source: University College London (2022, March). *Living Lab study on Smart Energy Systems on campus*. Sustainable UCL. Retrieved from <https://www.ucl.ac.uk/sustainable/case-studies/2022/mar/living-lab-study-smart-energy-systems-campus>

Proyek Living Lab di University College London menggunakan pendekatan **digital twin** untuk menciptakan model virtual kampus. Model ini memanfaatkan data real-time dari sensor yang dipasang di infrastruktur kampus untuk mensimulasikan pengelolaan energi. Sistem ini dirancang

untuk mengintegrasikan solusi energi pintar dengan tujuan dekarbonisasi dan meningkatkan keberlanjutan.

Komponen Utama:

- **Digital Twin:** Model virtual yang mencerminkan infrastruktur fisik kampus untuk simulasi dan analisis skenario energi.
- **Sensor IoT:** Mengumpulkan data real-time tentang konsumsi energi, suhu, dan aktivitas di kampus.
- **Alat Simulasi seperti SimStock dan 3DStock:** Untuk menganalisis dan mengoptimalkan desain sistem energi berdasarkan data dari sensor.

Teknologi yang Digunakan:

- **IoT:** Digunakan untuk menghubungkan perangkat dan mengumpulkan data operasional.
- **Simulasi berbasis model:** Menganalisis potensi penghematan energi sebelum implementasi di dunia nyata.

Fungsi Utama:

- Membantu mengidentifikasi peluang penghematan energi melalui simulasi yang realistis.
- Memberikan rekomendasi berbasis data untuk integrasi energi terbarukan.
- Memungkinkan pengujian skenario tanpa mengganggu operasional kampus yang ada

Kekuatan:

- Simulasi realistis dengan digital twin membantu meminimalkan risiko implementasi.
- Fokus pada target dekarbonisasi kampus sejalan dengan kebutuhan keberlanjutan global.
- Dapat diaplikasikan untuk kampus dengan konteks serupa.

Kekurangan:

- Memerlukan waktu pengembangan panjang (4 tahun penelitian di UCL).
- Membutuhkan kolaborasi lintas departemen dan pendanaan besar.

Perbandingan dengan C-BMS:

Living Lab UCL mengedepankan perencanaan jangka panjang dan berbasis simulasi untuk integrasi energi pintar di kampus. C-BMS lebih praktis dengan solusi berbasis IoT modular yang dapat diterapkan dalam waktu lebih singkat. Selain itu, C-BMS menekankan pada optimalisasi penggunaan energi di fasilitas kampus melalui otomatisasi berbasis sensor.

3. Strategi Proyek

3.1 Performa yang dibutuhkan

1. Keakuratan dan Keandalan Data Sensor:

- Sistem harus mencapai tingkat akurasi data minimal 95% dari seluruh sensor IoT untuk memastikan keputusan berbasis data yang andal.
- Deteksi kesalahan dan koreksi otomatis harus diterapkan untuk mengurangi dampak kesalahan data yang dapat mempengaruhi pengambilan keputusan.

2. Pengumpulan dan Pembaruan Data dengan Frekuensi Tinggi:

- Sistem C-BMS harus mampu mengumpulkan data konsumsi energi setiap detik untuk memastikan pembaruan real-time.
- Frekuensi pengumpulan data harus dioptimalkan untuk meminimalkan beban jaringan tanpa mengurangi relevansi data.

3. Optimalisasi Penggunaan Energi:

- Sistem harus mengurangi konsumsi energi hingga 15% dalam satu tahun melalui otomatisasi dan penyesuaian penggunaan perangkat sesuai kebutuhan pengguna.
- Integrasi perangkat IoT harus memungkinkan pengaturan waktu operasional yang fleksibel untuk menghindari pemborosan energi di waktu yang tidak diperlukan.

4. Efisiensi Biaya Operasional:

- Target penghematan biaya operasional kampus sebesar 10% harus dicapai melalui manajemen energi yang optimal dan efisien.
- Pengaturan otomatis perangkat harus memungkinkan pengurangan penggunaan listrik saat ruangan tidak aktif, terutama di area publik dan laboratorium.

5. Ketahanan Operasional 24/7:

- Sistem harus beroperasi secara terus-menerus dalam berbagai kondisi lingkungan kampus dengan kinerja yang stabil dan andal.
- Semua perangkat dan sistem harus dirancang untuk bekerja dalam rentang suhu lingkungan kampus dan dapat beradaptasi dengan fluktuasi suhu, kelembaban, serta potensi gangguan daya listrik.

6. Akses Kontrol Jarak Jauh dan Pemantauan Real-Time:

- Sistem harus memungkinkan akses kontrol bagi manajer bangunan kapanpun dan dimanapun melalui aplikasi yang aman.
- Sistem harus memberikan notifikasi real-time pada pengguna yang berwenang untuk merespons cepat terhadap potensi masalah atau peringatan sistem.

7. Keamanan dan Proteksi Data:

- Data sensor yang dikumpulkan dan disimpan harus dienkripsi untuk melindungi dari akses yang tidak sah.
- Sistem harus memiliki autentikasi berlapis untuk akses perangkat dan aplikasi guna mencegah peretasan dan melindungi privasi data kampus.

3.2 Kecerdasan yang akan digunakan

1. Prediksi Konsumsi Energi

Sistem CBMS akan menggunakan model machine learning berbasis data historis untuk memprediksi kebutuhan energi. Berikut adalah penjelasan detailnya:

- **Pengumpulan Data:**
 - Data konsumsi energi dikumpulkan dari sensor PZEM-004T pada berbagai lokasi (ruangan, lantai) secara berkala.
 - Data lain seperti jadwal operasional, cuaca, dan jumlah orang di gedung dapat ditambahkan untuk meningkatkan akurasi prediksi.
- **Pemrosesan Data:**

- Data yang terkumpul akan dibersihkan (data cleansing) untuk menghilangkan noise atau data yang tidak relevan.
- Fitur penting seperti waktu (hari kerja/libur), musim, suhu luar ruangan, dan pola konsumsi sebelumnya diidentifikasi.
- **Pelatihan Model:**
 - Model seperti *Linear Regression*, *Recurrent Neural Networks (RNN)*, atau *Gradient Boosting Machines* dapat digunakan untuk memprediksi konsumsi energi berdasarkan data tersebut.
 - Model ini dilatih menggunakan data historis kampus untuk mengenali pola penggunaan energi.
- **Prediksi Real-Time:**
 - Model memberikan prediksi kebutuhan energi untuk hari, minggu, atau bulan berikutnya.
 - Output ini membantu manajemen kampus merencanakan distribusi energi dan menghindari beban puncak (*peak load*).

2. Peningkatan Efisiensi Energi

Sistem ini akan menggunakan AI untuk memberikan rekomendasi yang meminimalkan konsumsi energi tanpa mengorbankan kenyamanan.

- **Analisis Pola Penggunaan:**
 - AI akan memantau penggunaan HVAC dan pencahayaan berdasarkan aktivitas pengguna dan waktu operasional.
 - AI dapat mengidentifikasi ruangan yang sering kosong namun memiliki HVAC atau pencahayaan yang aktif, lalu memberikan rekomendasi untuk mematikan perangkat tersebut.
- **Optimasi Operasional HVAC:**
 - Sistem AI dapat menentukan suhu optimal yang mempertimbangkan kenyamanan pengguna, suhu luar ruangan, dan jumlah orang di dalam ruangan.
 - AI juga dapat mengatur pengoperasian HVAC berdasarkan prediksi cuaca (misalnya, mengurangi penggunaan pendingin saat hujan).
- **Pengaturan Pencahayaan Otomatis:**

- Dengan data dari sensor PIR dan jadwal penggunaan ruangan, AI akan menyesuaikan pencahayaan hanya saat ruangan digunakan.
- AI dapat merekomendasikan tingkat pencahayaan minimum yang sesuai dengan standar keamanan dan produktivitas.
- **Rekomendasi Jadwal Pemeliharaan:**
 - Berdasarkan data penggunaan perangkat, AI dapat memperkirakan kapan perangkat seperti AC atau lampu memerlukan perawatan untuk menjaga efisiensi operasional.

Manfaat Langsung dari Kecerdasan AI dalam CBMS

- **Efisiensi Energi Maksimal:** Mengurangi pemborosan energi secara signifikan dengan pengaturan otomatis yang berbasis data.
- **Penghematan Biaya:** Manajemen energi yang lebih cerdas berujung pada penurunan tagihan listrik.
- **Keberlanjutan:** Dengan konsumsi energi yang lebih efisien, kampus dapat mendukung inisiatif ramah lingkungan

3.3 Strategi untuk Mencapai Proyek

Untuk mencapai objektif dari proyek Campus Building Management System (C-BMS), tim kami akan memulai dengan merancang dan mengintegrasikan komponen utama sistem, yaitu sensor energi, pengontrol terpusat, dan antarmuka pengguna berbasis aplikasi. Kami akan memasang sensor-sensor dengan akurasi tinggi di titik-titik strategis seperti ruang kelas, laboratorium, asrama, dan area publik, memastikan cakupan pemantauan yang menyeluruh atas konsumsi energi kampus. Sensor-sensor ini termasuk sensor Pengukur Listrik yang mampu mendeteksi dan mengukur penggunaan energi setiap menit, motion sensor untuk sistem otomatis lampu dan sensor temperatur dan kelembaban untuk pengontrolan HVAC. Sensor-sensor ini akan memberikan data real-time yang akurat untuk pengelolaan energi yang efisien. Setiap sensor akan terhubung dengan mikrokontroler dan akan mengirim data dengan menggunakan Protokol komunikasi LoRa. Data ini akan diterima oleh Gateway.

Kami akan mengembangkan prototipe awal dengan sistem modular, memungkinkan pengujian fleksibel dan penyesuaian cepat pada konfigurasi sensor dan perangkat lunak. Data mentah dari sensor akan dikirim ke pengontrol pusat yang dirancang untuk mengolah informasi dengan kecepatan tinggi. Pengontrol ini akan menjalankan algoritma optimasi berbasis data, yang memungkinkan pengaturan otomatis perangkat listrik seperti pendingin ruangan dan lampu, sehingga penggunaan energi bisa disesuaikan secara dinamis berdasarkan kebutuhan aktual. Dengan teknologi ini, kami bertujuan mengurangi konsumsi energi hingga 15% dalam setahun, seperti yang telah ditargetkan.

Pada tahap selanjutnya, kami akan menghubungkan seluruh sistem ke server backend dan penyimpanan cloud. Data yang dikumpulkan dari sensor akan disimpan di cloud, memungkinkan akses cepat untuk analisis performa dan laporan energi yang dapat diakses oleh manajer bangunan dari mana saja. Setelah arsitektur sistem lengkap, kami akan menguji C-BMS dalam kondisi operasional nyata di lingkungan kampus. Pengujian ini akan mengevaluasi keandalan sistem, termasuk bagaimana algoritma merespons pola penggunaan energi yang berubah-ubah sepanjang hari, dan memastikan semua perangkat berfungsi optimal. Kami juga akan meninjau respons aplikasi, yang memungkinkan pengguna untuk memonitor dan mengontrol sistem secara real-time dari perangkat seluler atau desktop.

Proses ini memastikan bahwa sebelum implementasi penuh, semua spesifikasi performa dipenuhi. Kami akan terus memantau dan menyempurnakan sistem berdasarkan umpan balik dari pengujian operasional, menjadikannya solusi yang efisien dan tangguh untuk mendukung tujuan keberlanjutan energi di kampus.

4. Rencana Proyek

4.1 List Pekerjaan

1. Persiapan dan Pengumpulan Perangkat Keras:

- Mengidentifikasi dan mengumpulkan semua perangkat keras yang diperlukan, seperti sensor lalu lintas, kamera pengenalan plat nomor, modul deteksi suara, mikrokontroler, modul komunikasi, catu daya, dan material pelindung tahan cuaca untuk prototipe.

2. Riset Teknologi Sensor dan Pemrosesan Data:

- Melakukan riset literatur tentang teknologi deteksi kendaraan, algoritma AI untuk pengaturan sinyal lalu lintas, dan solusi untuk mengurangi latensi pemrosesan data.

3. Pemilihan dan Pengujian Komponen dan Protokol Komunikasi:

- Memilih sensor yang mampu beroperasi dengan akurasi minimal 90% dan sesuai dengan kebutuhan operasional 24/7 dalam berbagai kondisi.
- Memasang gateway LoRa dan memastikan data dapat ditransmisi dengan baik

4. Perancangan Sistem Modular:

- Membuat sketsa dan merancang sistem berbasis platform modular untuk memudahkan perakitan dan pengujian komponen yang fleksibel.
- Menghitung konfigurasi awal sistem dan menyusun rencana instalasi.

5. Merakit Komponen dan Integrasi Mikrokontroler untuk Sistem Monitoring Energi:

- Pasang sensor arus/tegangan ke mikrokontroler untuk mengukur konsumsi energi.
- Uji pengiriman data energi ke sistem monitoring.

6. Merakit Komponen dan Integrasi Mikrokontroler untuk Sistem Kontrol Otomatis HVAC:

- Pasang sensor suhu/kelembapan dan koneksi ke aktuator HVAC.
- Program otomatisasi suhu/kelembapan dan uji respons sistem.

7. Merakit Komponen dan Integrasi Mikrokontroler untuk Sistem Kontrol Lampu Otomatis:

- Hubungkan sensor cahaya/gerak untuk otomatisasi lampu.

- Program kontrol lampu dan uji respons sensor terhadap lingkungan.

8. Pengujian dan Kalibrasi:

- Menguji kecepatan pemrosesan data dan akurasi deteksi kendaraan dalam berbagai skenario lalu lintas.
- Melakukan penyesuaian pada algoritma dan komponen untuk memenuhi spesifikasi performa, termasuk pengolahan data dalam waktu kurang dari 1 detik.

9. Penyempurnaan Prototipe

- Mengembangkan prototipe dengan desain komponen yang lebih terintegrasi dan tahan lama.
- Melakukan perakitan final dan persiapan untuk pengujian lapangan.

10. Integrasi Sistem Penyimpanan Data dan Keamanan:

- Menyiapkan penyimpanan data berbasis cloud dan server backend untuk pengelolaan data real-time.
- Mengimplementasikan enkripsi data dan protokol autentikasi untuk melindungi data sensor dan komunikasi.

11. Pengembangan Antarmuka Pengguna:

- Mengembangkan aplikasi yang memungkinkan manajer lalu lintas untuk mengakses data secara real-time, mengontrol sistem, dan menerima notifikasi darurat.

12. Pengujian Lapangan dan Implementasi:

- Menguji prototipe dalam kondisi lalu lintas nyata untuk mengevaluasi performa keseluruhan, termasuk ketahanan terhadap cuaca ekstrem.
- Melakukan pengujian penuh untuk memastikan sistem siap diimplementasikan di lapangan.

Waktu Penyelesaian:

- Total waktu pengerjaan proyek adalah 4 bulan (16 minggu), mencakup seluruh tahapan mulai dari persiapan, pengembangan, hingga implementasi.

4.2 Anggaran Biaya

1. Pengembangan Sistem Energi, Kontrol Cahaya, Kontrol HVAC dan Pemrosesan:

- Hardware: Sensor Pengukur Listrik PZEM-004T , Motion Sensor, DHT22 Temperature and Humidity sensor, Mikrokontroler ESP8266 + LoRa communication module, LoRa Gateway
- Biaya: Rp8.000.000

2. Algoritma AI dan Pemrosesan Data:

- Software: Algoritma reinforcement learning untuk pengaturan energi, cahaya dan HVAC
- Biaya: Rp1.000.000.

3. Sistem Penyimpanan Data dan Keamanan:

- Software: Pengembangan backend, enkripsi data, cloud storage, Server
- Biaya: Rp9.000.000.

4. Antarmuka Aplikasi Pengguna:

- Software: Pengembangan antarmuka aplikasi.
- Biaya: Rp2.500.000.

Total Biaya: Rp20.500.000.

4.3 Tabel Biaya

| No. | Nama Anggaran | Nama Barang | Harga Barang | Kategori | Estimasi Total Biaya |
|-----|--|--|------------------|----------|----------------------|
| 1 | Pengembangan Sistem Deteksi dan Pemrosesan | Sensor Pengukur Listrik PZEM-004T (10 PCS) | IDR 1.000.000,00 | Hardware | IDR 8.000.000,00 |
| | | Sensor Motion (10 PCS) | IDR 1.000.000,00 | Hardware | |
| | | Sensor Temperatur dan Humiditas (10 PCS) | IDR 1.000.000,00 | Hardware | |
| | | Mikrokontroler ESP8266 + LoRa Communication Module | IDR 2.500.000,00 | Hardware | |
| | | LoRa Gateway | IDR 2.500.000,00 | Hardware | |
| 2 | Algoritma AI dan Pemrosesan Data | Algoritma Reinforcement Learning | IDR 1.000.000,00 | Software | IDR 1.000.000,00 |
| 3 | Sistem Penyimpanan | Back-end + Server | IDR 4.500,000 | Software | IDR 9.000.000,00 |

| | | | | | |
|-------|-----------------------------------|----------------|-------------------------------|----------|---------------------|
| | Data dan Keamanan | Enkripsi Data | IDR 1.500.000,00 | | |
| | | Cloud Storage | IDR 3.000.000,00 per tahun | | |
| 4 | Antarmuka Aplikasi untuk Pengguna | User Interface | IDR 2.500.000,00 | Software | IDR 2.500.000,00 |
| Total | | | | | IDR 20.500.000 |

4.4 Tabel Rencana Jadwal

| No. | Aktivitas Proyek | Durasi (Minggu) | Tanggal Mulai | Tanggal Selesai |
|-----|--|--------------------|------------------|-----------------|
| 1 | Persiapan dan Pengumpulan Perangkat Keras | 2 minggu | 12-Nov-24 | 25-Nov-24 |
| 2 | Riset Teknologi Sensor dan Pemrosesan Data | 2 minggu | 26-Nov-24 | 9 Des 2024 |
| 3 | Pemilihan dan Pengujian Komponen dan Protokol Komunikasi | 2 minggu | 10 Des 2024 | 23 Des 2024 |
| 4 | Perancangan Sistem Modular | 2 minggu | 24 Des 2024 | 6-Jan-25 |
| 5 | Merakit Komponen dan Integrasi Mikrokontroler untuk Sistem Monitoring Energi | 2 minggu | 7-Jan-25 | 20-Jan-25 |
| 6 | Merakit Komponen dan Integrasi Mikrokontroler untuk Sistem HVAC | 3 minggu | 7-Jan-25 | 20-Jan-25 |
| 7 | Merakit Komponen dan Integrasi Mikrokontroler untuk Sistem Lampu | 3 minggu | 7-Jan-25 | 20-Jan-25 |
| 8 | Pengujian dan Kalibrasi | 2 minggu | 14-Feb-25 | 24-Feb-25 |
| 9 | Penyempurnaan Prototipe | 1 minggu | 25-Feb-25 | 3-Mar-25 |

| | | | | |
|----|--|----------|-----------|-----------|
| 10 | Integrasi Sistem Penyimpanan Data dan Keamanan | 2 minggu | 7-Jan-25 | 20-Jan-25 |
| 11 | Pengembangan Antarmuka Pengguna | 2 minggu | 21-Jan-25 | 3-Feb-25 |
| 12 | Pengujian Lapangan dan Implementasi | 2 minggu | 24-Feb-25 | 9-Mar-25 |

4.5 Gantt Chart

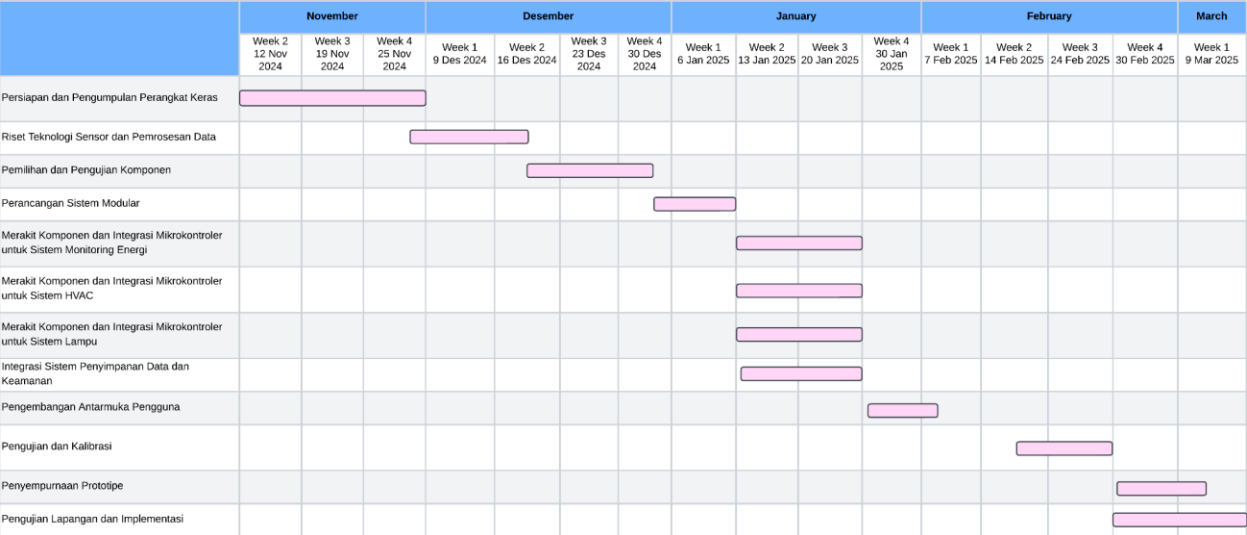


Figure 1: Gantt Chart

4.6 Requirement Diagram

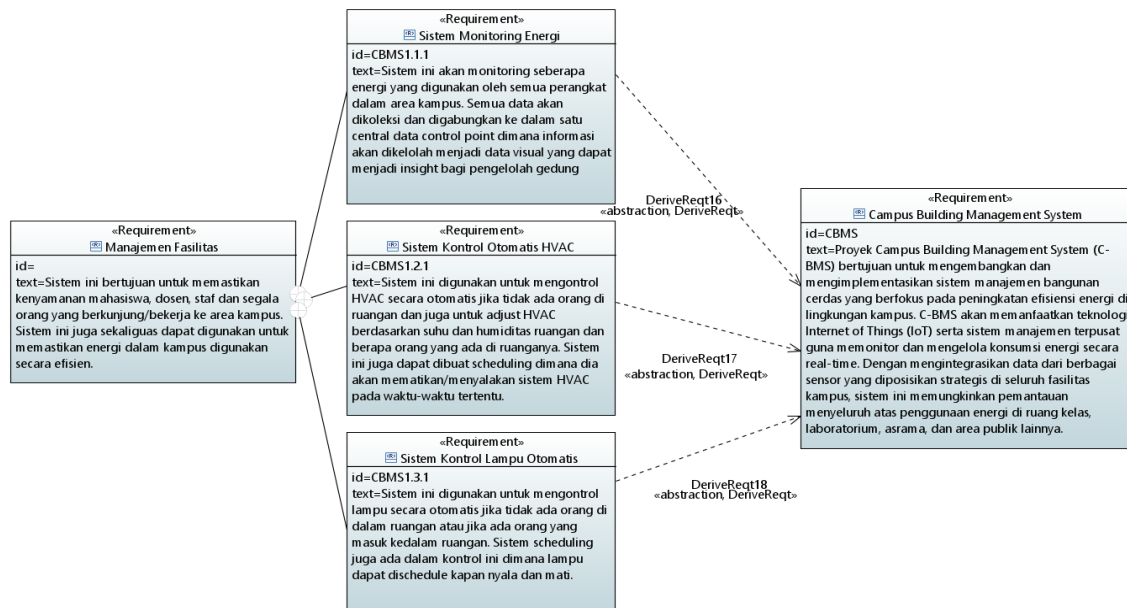


Figure 2: Requirement Diagram

4.7 Block Definition Diagram

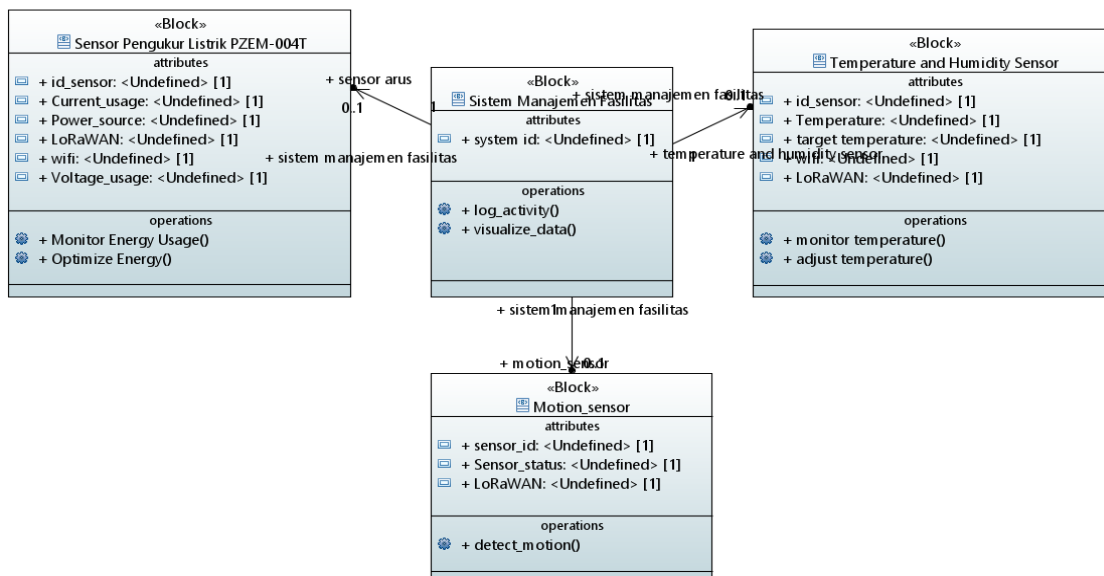
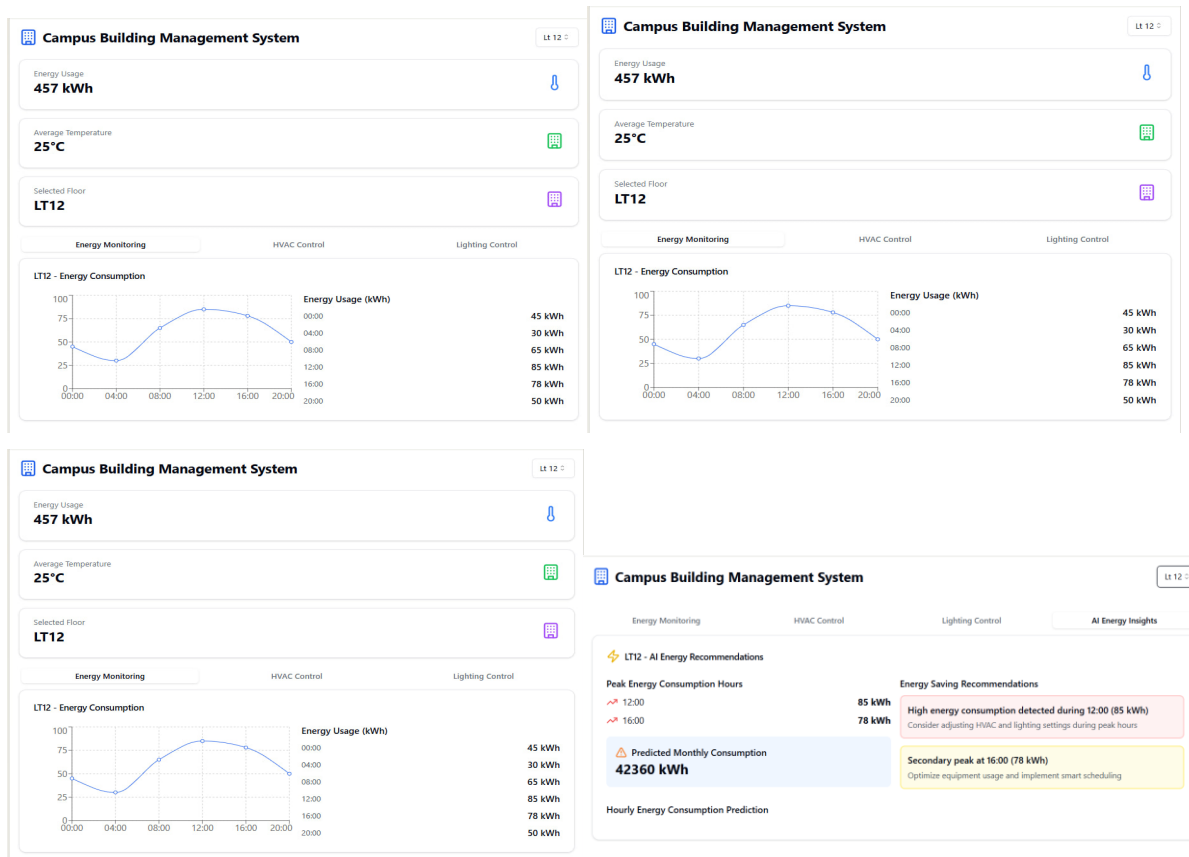


Figure 3: DBB Diagram

5. User Experience (UX)

5.1 UI dan Interactive Design

5.1.1 Overall Design



Desain Visual:

- Pemilihan Warna: Warna biru mendominasi untuk teks, ikon, dan elemen garis. Ini memberikan kesan profesional dan modern serta sering diasosiasikan dengan teknologi dan kepercayaan.
- Kontras antara latar belakang putih dengan teks dan elemen visual lainnya (biru, abu-abu) memberikan keterbacaan tinggi.
- Penggunaan warna sekunder (hijau untuk suhu dan ungu untuk floor selection) mempermudah pengguna membedakan kategori atau fungsi yang berbeda.

Tata Letak:

- Desain clean dan minimalis dengan pembagian area yang jelas.
- Informasi disusun dalam bentuk hirarki visual:
- Informasi utama seperti "Energy Usage" dan "Average Temperature" ditempatkan di bagian atas untuk menarik perhatian pengguna terlebih dahulu.
- Grafik dan data yang lebih mendetail ditampilkan di bawahnya.

Font dan Tipografi:

- Font sederhana dengan ukuran yang cukup besar untuk angka-angka penting seperti "457 kWh" memastikan informasi utama terlihat dengan jelas.
- Penggunaan font bold untuk informasi utama membuatnya menonjol dibanding teks lainnya.

Ikun:

- Ikon digunakan untuk memperkuat konteks masing-masing bagian, misalnya ikon termometer untuk suhu dan ikon rantai untuk "Selected Floor". Ini membantu pengguna memahami fungsi dengan cepat tanpa membaca teks.

Desain Interaksi:

- Navigasi Tab: Terdapat tiga tab utama: *Energy Monitoring*, *HVAC Control*, dan *Lighting Control*.
 - Fungsi: Memungkinkan pengguna untuk berpindah fokus antara berbagai aspek pengelolaan energi dengan klik.
 - User-friendly: Meminimalkan kebingungan karena hanya menampilkan informasi terkait tab yang dipilih.
- Pemilihan Lantai (Selected Floor):
 - Drop-down atau pilihan klik pada bagian ini memungkinkan pengguna untuk memilih lantai yang ingin dipantau, meningkatkan fleksibilitas sistem.

Alasan mengapa desain ini efektif:

- Fokus pada Data Penting:
 - Informasi kunci seperti "Energy Usage" dan "Average Temperature" diberi prioritas, sehingga memudahkan pengguna mendapatkan wawasan dengan cepat.
- Hierarki Visual yang Baik:
 - Penempatan elemen-elemen sesuai prioritas membuat pengguna tidak kesulitan memahami antarmuka.
- Kemudahan Interaksi:
 - Antarmuka sederhana dengan minimal elemen interaktif, mengurangi potensi kebingungan dan memastikan semua pengguna, termasuk yang kurang mahir teknologi, dapat menggunakannya dengan lancar.
- Estetika yang Konsisten:
 - Palet warna yang konsisten, penggunaan font yang seragam, dan ikon yang relevan menciptakan kesan profesional.

5.1.2 Design Bagian Energi

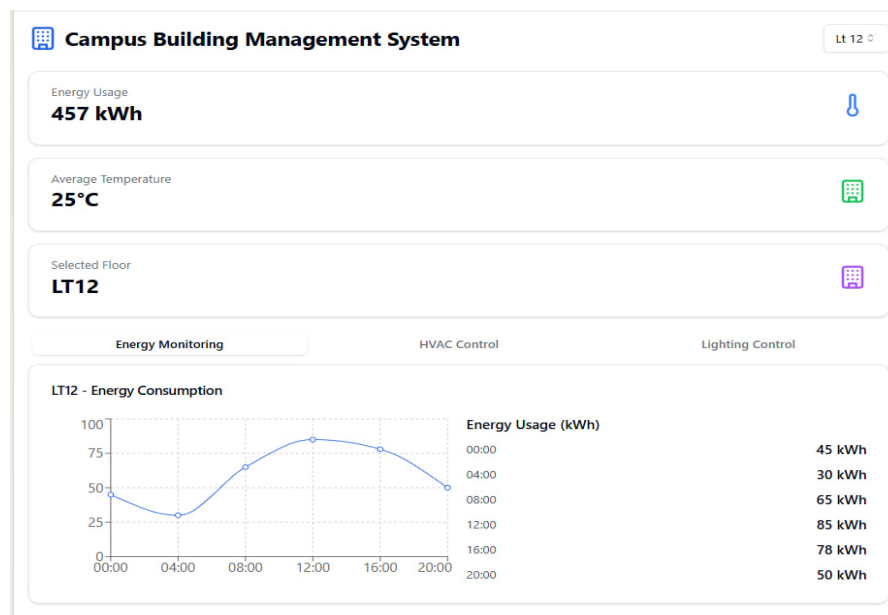


Figure 4: UI Energy Tab

Desain Interaksi:

- **Grafik Interaktif:**

- Grafik energi menunjukkan data waktu-ke-waktu. Ini kemungkinan besar dapat di-hover atau di-klik untuk melihat detail angka pada waktu tertentu, meningkatkan pengalaman analisis pengguna.
- Teks penjelasan seperti "Energy Usage (kWh)" memastikan pengguna memahami isi grafik.

- **Responsif:**

- Desain ini terlihat dirancang untuk bisa digunakan di berbagai perangkat (desktop/tablet). Struktur modular memastikan kompatibilitas yang baik dengan layar kecil maupun besar.

5.1.3 Design Bagian HVAC Control

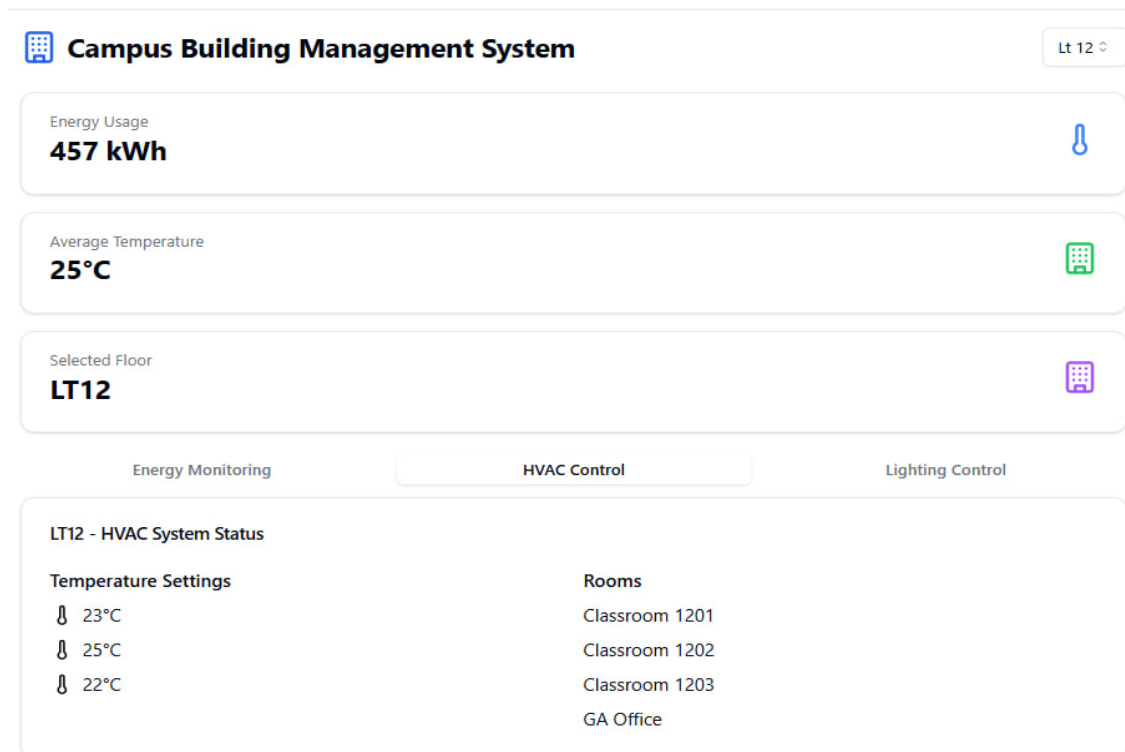


Figure 5: UI HVAC Tab

Desain Interaski:

- **Temperature Settings:**

- Informasi suhu untuk masing-masing ruangan (Classroom 1201, 1202, 1203, dan GA Office) ditampilkan secara terorganisir.
- Kemungkinan besar interaktif: pengguna bisa memilih atau mengatur suhu untuk masing-masing ruangan.

- **Rooms:**

- Pengelompokan nama ruangan di sebelah kanan memudahkan pengguna mengenali lokasi suhu yang ditampilkan.

5.1.4 Design Lighting Control

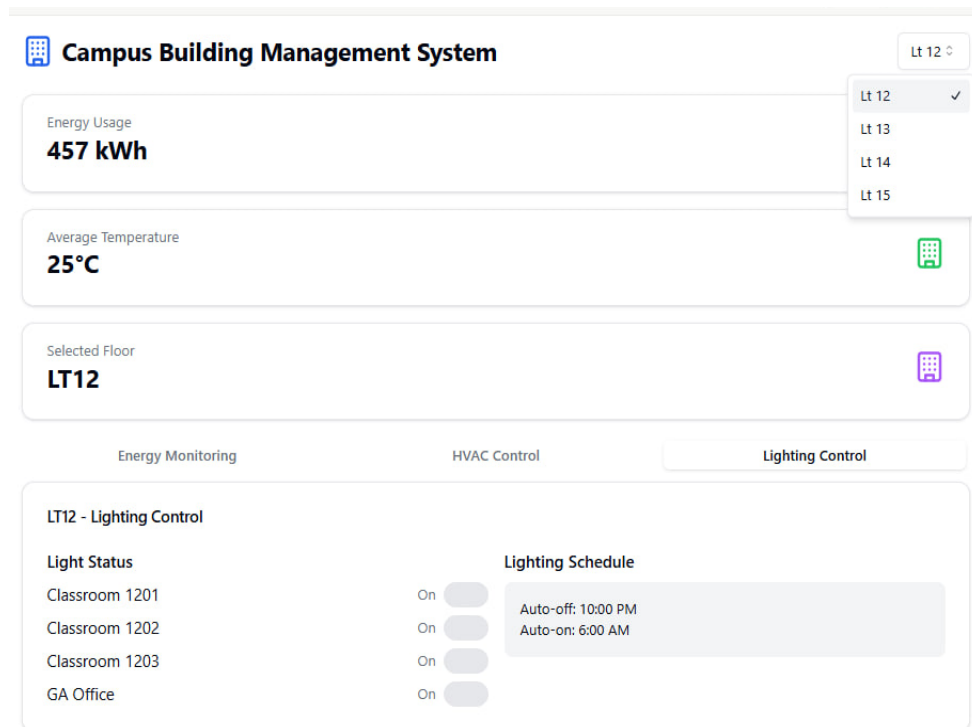


Figure 6: UI Lighting Tab

Desain Interaksi:

Lighting Status (Light Control):

- Status pencahayaan setiap ruangan ditampilkan dengan tombol *toggle*:
 - **On/Off Status:** Pengguna dapat mengklik tombol untuk mengubah status pencahayaan pada ruangan tertentu.
 - **Respons Cepat:** Tombol ini dirancang untuk memberikan aksi instan (tanpa membuka jendela tambahan).

Lighting Schedule:

- Jadwal otomatisasi pencahayaan ditampilkan secara jelas ("Auto-off: 10:00 PM", "Auto-on: 6:00 AM"), memungkinkan pengguna memahami waktu pengaturan secara sekilas.

5.1.5 Design AI Energy Insights Page

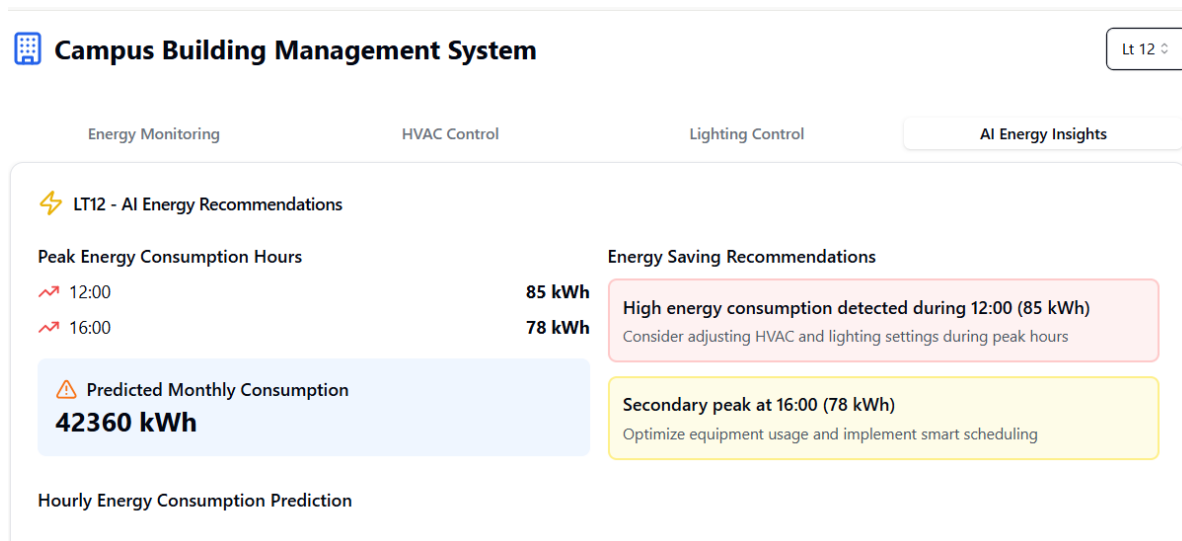


Figure 7: UI AI Tab

Desain interaksi:

Peak Energy Consumption Hours:

- Interaksi:
 - Informasi visual tentang jam puncak konsumsi energi disajikan dalam daftar yang terstruktur.
 - Ikon grafik naik merah menandakan jam-jam dengan konsumsi tinggi untuk menarik perhatian pengguna.

- Respons:
 - Jam konsumsi puncak dan jumlah energi (dalam kWh) langsung terlihat, memudahkan pengambilan keputusan cepat untuk mengoptimalkan penggunaan energi.

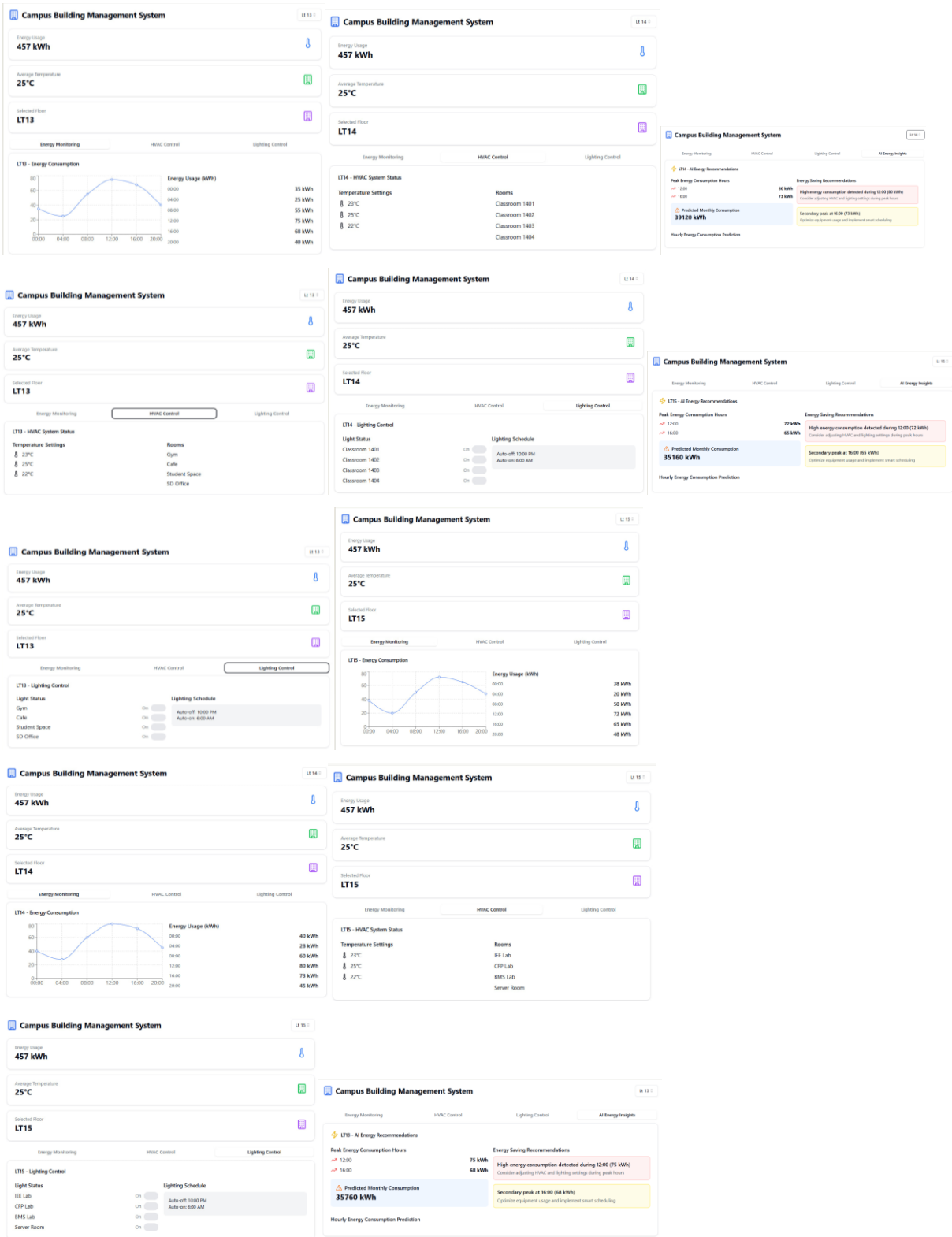
Predicted Monthly Consumption:

- Interaksi:
 - Ditampilkan dengan latar belakang biru muda untuk menarik perhatian pada estimasi konsumsi bulanan.
 - Informasi singkat dan angka besar mempermudah pengguna memahami potensi konsumsi total dengan cepat.
- Respons:
 - Pengguna dapat memonitor apakah konsumsi saat ini sesuai target hemat energi.

Energy Saving Recommendations:

- Interaksi:
 - Rekomendasi ditampilkan dalam kartu berwarna (merah untuk urgensi tinggi, kuning untuk urgensi sedang).
 - Setiap rekomendasi mencakup penjelasan masalah dan saran tindakan.
- Respons:
 - Warna yang mencolok (merah atau kuning) membantu memprioritaskan tindakan yang perlu dilakukan segera.

5.1.6 Design Lantai-lantai Lain



5.2 Interusability

CBMS dirancang untuk mengintegrasikan berbagai perangkat IoT dan platform secara kohesif, sehingga pengguna dapat merasakan pengalaman layanan yang mulus, meskipun perangkat-perangkat tersebut memiliki kemampuan input/output dan *form factor* yang berbeda. Desain interusability dalam CBMS memastikan bahwa setiap perangkat saling mendukung dalam sistem terpadu. Berikut adalah penjelasan lebih rinci:

1. Sensor

- **Fungsi:** Mengumpulkan data dari lingkungan untuk mendukung sistem otomatisasi dan analitik.
- **Detail:**
 - **Sensor PZEM-004T:** Mengukur konsumsi energi listrik dan mengirimkan data ke mikrokontroler ESP8266.
 - **Sensor PIR Motion:** Mendeteksi pergerakan untuk mengaktifkan modul pencahayaan otomatis.
 - **Sensor DHT22:** Memantau suhu dan kelembapan untuk mendukung pengendalian lingkungan.
 -

2. Mikrokontroler ESP8266 dengan Modul LoRa SX1278

- **Fungsi:** Bertindak sebagai pusat pemrosesan data dari berbagai sensor.
- **Detail:**
 - Data sensor diproses dan dikirim melalui protokol LoRa ke *gateway* untuk komunikasi jarak jauh.
 - Menjamin kompatibilitas dan sinkronisasi antar perangkat.
 -

3. Gateway LoRa

- **Fungsi:** Menghubungkan perangkat IoT dengan server pusat.
- **Detail:**
 - Mengumpulkan data dari perangkat berbasis LoRa dan meneruskannya ke server cloud melalui koneksi Wi-Fi.

- Memastikan data dari berbagai sumber dapat disatukan dalam satu jalur komunikasi.

-

4. Server Cloud

- **Fungsi:** Penyimpanan, analitik, dan distribusi data.
- **Detail:**
 - Data yang diterima dianalisis dan disimpan untuk pengambilan keputusan strategis.
 - Hasil analitik ditampilkan secara real-time melalui aplikasi web atau mobile, memastikan kompatibilitas antar perangkat.

-

5. Dashboard Pengguna

- **Fungsi:** Menyediakan akses pengguna ke informasi dan kontrol sistem.
- **Detail:**
 - Aplikasi web dan mobile dirancang dengan antarmuka yang koheren, memungkinkan pengguna untuk berpindah perangkat tanpa kehilangan konsistensi pengalaman.

Mengintegrasikan Interusability

CBMS mendesain pengalaman pengguna yang mulus dengan mempertimbangkan elemen berikut:

- **Fungsi Perangkat yang Tertentu:** Setiap perangkat memiliki peran spesifik untuk mendukung operasional sistem secara keseluruhan.
- **User Flows Antar Perangkat:** Alur interaksi dirancang agar pengguna dapat dengan mudah mengakses fitur utama, seperti melihat laporan energi atau mengontrol HVAC, baik dari web maupun perangkat seluler.
- **Panduan Desain yang Koheren:** Panduan penggunaan yang dirancang untuk semua perangkat, termasuk manual cetak dan digital, memastikan konsistensi dalam penggunaan.
- **UI Konsisten:** Antarmuka dirancang dengan elemen visual dan interaksi yang seragam di berbagai perangkat, memberikan pengalaman pengguna yang intuitif.

Desain ini memungkinkan CBMS mendukung integrasi multi-perangkat dan menciptakan pengalaman layanan yang menyeluruh, tanpa mengorbankan fungsionalitas individu perangkat.

5.3 Service Design

Campus Building Management System (CBMS) menyediakan layanan inovatif yang mendukung pengguna setelah implementasi sistem, dengan fitur dan layanan tambahan yang meningkatkan pengalaman pengguna. Berikut adalah deskripsi layanan beserta manfaatnya:

1. After sales Service

- **Deskripsi Layanan:**

Menyediakan dukungan teknis pasca-instalasi, termasuk layanan pemeliharaan rutin, pembaruan perangkat lunak, dan bantuan teknis 24/7 melalui saluran telepon, email, atau aplikasi seluler.

- **Manfaat:**

Membantu pengguna menjaga performa sistem tetap optimal dan meminimalkan gangguan operasional. Respons cepat memastikan masalah dapat diselesaikan dengan efisien.

2. Fitur Multi-Perangkat dan Aksesibilitas

- **Deskripsi Layanan:**

CBMS dapat diakses melalui berbagai perangkat, seperti smartphone, tablet, atau desktop, dengan antarmuka yang ramah pengguna. Sistem juga mendukung hingga beberapa perangkat untuk penggunaan kolektif.

- **Manfaat:**

Memungkinkan fleksibilitas akses kapan saja dan di mana saja, mendukung koordinasi antar-tim, dan meningkatkan kenyamanan pengguna.

3. Notifikasi dan Alarm

- **Deskripsi Layanan:**

Sistem memberikan notifikasi real-time untuk masalah teknis, kebutuhan

pemeliharaan, atau situasi darurat. Alarm disediakan untuk skenario seperti kebakaran, kebocoran gas, atau lonjakan konsumsi energi.

- **Manfaat:**

Membantu pengguna merespons lebih cepat terhadap potensi masalah, mengurangi risiko, dan meningkatkan keamanan operasional.

4. **Manual dan Panduan Pengguna**

- **Deskripsi Layanan:**

Disediakan manual pengguna yang mencakup panduan instalasi, pengaturan fitur, dan pemecahan masalah. Manual tersedia dalam format cetak dan digital yang dapat diakses melalui aplikasi CBMS.

- **Manfaat:**

Memberikan referensi mudah bagi pengguna untuk memahami dan memaksimalkan fungsi sistem, serta mengurangi kebutuhan untuk intervensi teknis sederhana.

5. **Laporan Personal dan Analitik**

- **Deskripsi Layanan:**

Sistem menyediakan laporan personal yang dapat diakses secara online, mencakup riwayat penggunaan, laporan efisiensi, dan rekomendasi optimalisasi.

- **Manfaat:**

Membantu pengguna memahami pola penggunaan dan merencanakan langkah strategis untuk meningkatkan efisiensi operasional.

6. **Program Pelatihan dan Workshop**

- **Deskripsi Layanan:**

Menyediakan pelatihan untuk pengguna baru dan workshop berkala untuk meningkatkan pemahaman tentang fitur baru atau optimalisasi sistem.

- **Manfaat:**

Meningkatkan kapasitas pengguna untuk memanfaatkan sistem secara maksimal, sehingga menghasilkan operasional yang lebih efisien.

7. Integrasi dengan Ekosistem IoT Lain

- **Deskripsi Layanan:**

Sistem mendukung integrasi dengan perangkat IoT lain, seperti smart locks, smart cameras, atau smart alarms, untuk menciptakan ekosistem kampus yang lebih terpadu.

- **Manfaat:**

Memberikan fleksibilitas untuk mengembangkan layanan tambahan sesuai kebutuhan spesifik kampus.

8. Portal Layanan Pelanggan (Customer Service Portal)

- **Deskripsi Layanan:**

Platform digital untuk pengguna mengakses bantuan teknis, melacak riwayat perbaikan, mengajukan keluhan, atau meminta fitur tambahan.

- **Manfaat:**

Memberikan transparansi dan kemudahan bagi pengguna dalam mengelola interaksi dengan layanan CBMS.

9. Sistem Umpan Balik Pengguna

- **Deskripsi Layanan:**

Sistem ini mengumpulkan umpan balik pengguna secara berkala untuk meningkatkan kualitas layanan.

- **Manfaat:**

Mendukung pengembangan layanan yang lebih sesuai dengan kebutuhan dan preferensi pengguna.

5.4 Industrial Design

5.4.1 LoRa End Devices



Figure 8: LoRa SX1278 Wireless



Figure 9: ESP8266

ESP8266 + Module LoRa SX1278 wireless: ESP8266 + Modul LoRa SX1278 Wireless adalah kombinasi perangkat keras yang ideal untuk membangun sistem IoT berbasis komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. ESP8266 adalah mikrokontroler berbasis WiFi yang dilengkapi dengan fitur GPIO, SPI, dan UART, serta kemampuan koneksi internet, sedangkan LoRa SX1278 adalah modul komunikasi berbasis teknologi LoRa (Long Range) yang bekerja pada frekuensi 433 MHz (atau sesuai regional). Modul SX1278 memungkinkan pengiriman data jarak jauh hingga beberapa kilometer dengan tingkat gangguan yang rendah, menjadikannya cocok untuk aplikasi seperti pemantauan jarak jauh atau sistem nirkabel di area luas. Kombinasi ini memungkinkan ESP8266 untuk memproses data dari sensor, mengirimkannya melalui LoRa ke gateway atau perangkat lain, serta menggunakan koneksi WiFi untuk integrasi dengan server

atau platform cloud, memberikan solusi yang fleksibel dan efisien untuk jaringan IoT. Kombinasi ini akan dipakai untuk setiap module sensor.

5.4.1.1 Module Sensor Energi



Figure 10: PZEM-004T

PZEM-004T adalah **modul pengukur energi** yang dirancang untuk mengukur konsumsi daya listrik pada sistem AC (arus bolak-balik). Modul ini dapat mengukur beberapa parameter listrik seperti **tegangan**, **arus**, **daya aktif**, dan **energi** (kWh). PZEM-004T sering digunakan dalam aplikasi pemantauan energi untuk mengukur konsumsi listrik rumah tangga atau peralatan industri.

3D Model:

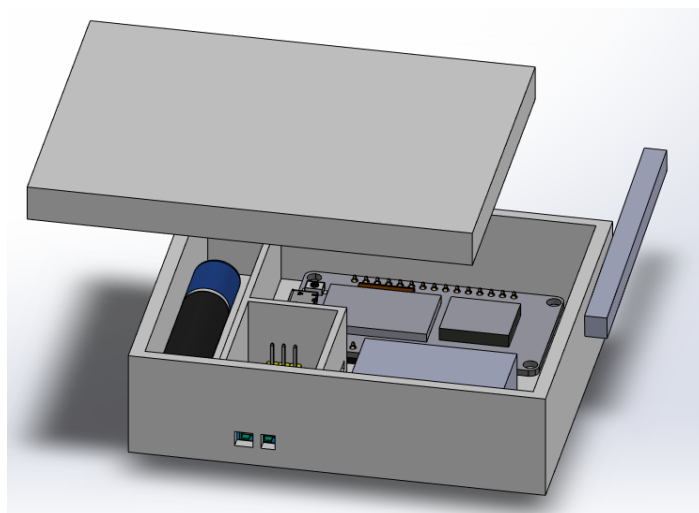


Figure 11: 3D Model Energy Module

1. Bagian Atas:

- **Penutup yang Dapat Dilepas:**

- Desain ini dilengkapi dengan penutup atas yang dapat dilepas, memberikan akses mudah ke komponen internal untuk perakitan, perawatan, atau penggantian komponen.
- Penutup dirancang untuk menutup rapat guna melindungi elektronik internal.

Tata Letak Internal: Kompartemen internal diatur menjadi tiga bagian utama untuk organisasi yang efektif:

2. Bagian Kiri:

- Slot Komponen Baterai: Digunakan untuk power source module yaitu baterai.

3. Bagian Tengah:

- Dudukan Mikrokontroler: Kompartemen berbentuk persegi panjang yang dirancang untuk menampung mikrokontroler utama dan module Lora (yang direpresentasikan dengan kotak abu-abu).
- Penempatan Sensor: Ruang ini mencakup tempat untuk mengintegrasikan sensor pengukur listrik PZEM-004T. Pengaturan yang rapi memastikan pengkabelan yang mudah. Juga ada dua lubang untuk pemasangan kabel ke kabel listrik kampusnya.

4. Bagian Kanan:

- Tersedia tempat untuk memasang antena untuk komunikasi LoRa. Ada representasi antenanya seharusnya diletakan dimana dalam 3D model.

5. Aksesibilitas:

- **Penutup yang Dapat Dilepas:**

Memberikan akses yang nyaman untuk peningkatan, penggantian komponen, atau penyesuaian kabel.

- **Bukaan yang Didedikasikan:**

Beberapa slot dan port pada casing memungkinkan koneksi eksternal, kemungkinan untuk suplai daya, keluaran data, atau kabel sensor.

6. Kekuatan Desain:

1. **Organisasi Komponen:**

- Kompartemen yang terpisah dengan jelas mengisolasi fungsi, seperti manajemen daya, pengukuran, dan komunikasi, sehingga mempermudah pemecahan masalah.

2. **Kemudahan Perakitan:**

- Penutup yang dapat dilepas dan tata letak internal yang mudah diakses menyederhanakan perakitan awal dan perawatan.

3. **Kompak dan Fungsional:**

- Pemanfaatan ruang internal yang efisien memastikan casing tetap kecil tetapi mampu menampung semua komponen penting.
-

7. Materi Casing

Materi yang digunakan untuk casing module ini adalah Polylactic acid (PLA). Bahan ini dipilih karena beberapa alasan:

- **Ringan:**

- Meningkatkan portabilitas, cocok untuk aplikasi IoT atau perangkat pengukuran mandiri.

- **Non-Konduktif:**

- Memberikan isolasi listrik untuk mencegah korsleting.

- **Biaya Rendah:**

- PLA adalah bahan yang ekonomis untuk prototipe dan produksi skala kecil.
- **Mendukung Pencetakan 3D:**
 - Desain kompartemen yang rumit dapat dengan mudah diwujudkan dengan PLA menggunakan pencetakan 3D.
- **Ramah Lingkungan:**
 - PLA bersifat biodegradable dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan plastik lainnya.
- **Ketahanan yang Memadai:**
 - Memberikan perlindungan yang cukup untuk penggunaan di dalam ruangan atau lingkungan dengan tekanan mekanis rendah.

5.4.1.2 Module Sensor Motion



Figure 12: Motion Sensor

PIR Motion Sensor: Sensor Motion PIR (Passive Infrared) adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi pergerakan berdasarkan perubahan radiasi inframerah di sekitarnya. PIR bekerja dengan mendeteksi panas tubuh manusia atau hewan yang bergerak dalam jangkauannya.

3D Model:

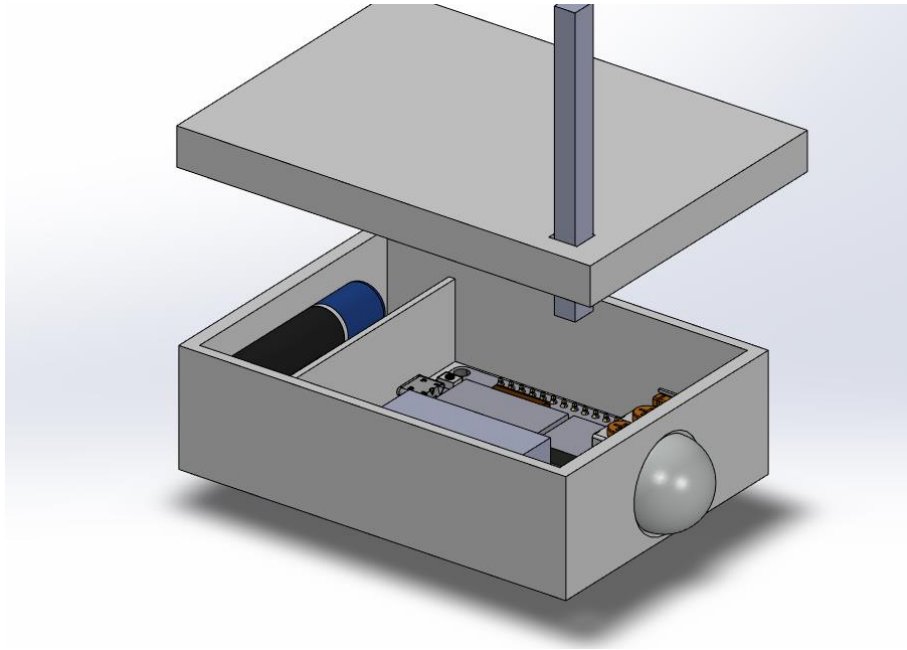


Figure 13: 3D Model Lighting Module

1. Bagian Atas:

- **Penutup yang Dapat Dilepas:**

- Penutup yang Dapat Dilepas: Desain ini dilengkapi dengan penutup atas yang dapat dilepas, yang menyederhanakan akses ke komponen internal untuk perawatan dan perakitan.
- Antena Eksternal: Permukaan atas mencakupudukan eksternal, yang menunjukkan integrasi dengan modul komunikasi (misalnya, LoRa atau WiFi). Penempatan ini mengoptimalkan kekuatan sinyal dengan meminimalkan gangguan dari elektronik internal.

Tata Letak Internal: Kompartemen internal diatur menjadi tiga bagian utama untuk organisasi yang efektif:

2. Bagian Kiri:

- Slot Komponen Baterai: Digunakan untuk power source module yaitu baterai.

3. Bagian Tengah:

- Berisi kompartemen persegi panjang yang cocok untuk papan mikrokontroler ESP8266 dan module Lora (yang direpresentasikan dengan kotak abu-abu. Tata letaknya menyarankan jalur perutean kabel untuk pengkabelan yang rapi dan kemudahan koneksi.

4. Bagian Kanan:

- Dirancang untuk ruang bagi sensor, kemungkinan sensor gerak PIR atau perangkat terkait lainnya, terlihat melalui tonjolan yang terintegrasi pada casing.
-

5. Aksesibilitas:

- **Penutup yang Dapat Dilepas:** Memberikan akses langsung untuk penggantian atau peningkatan komponen.
 - **Cable Management:** Slot atau saluran bawaan dirancang untuk manajemen kabel yang rapi dan aman, mencegah kabel kusut atau gangguan dengan menyediakan tempat yang luas dalam casing.
-

6. Penempatan Antena:

- **Sinyal yang Dioptimalkan:** Dudukan antena eksternal memastikan penghalang berkurang dan jangkauan meningkat, penting untuk komunikasi jarak jauh dalam aplikasi IoT.
-

7. Kekuatan Desain:

1. Modularitas:

Kompartemen yang terorganisasi mengisolasi fungsi (misalnya, daya, komunikasi, dan sensor) untuk menyederhanakan pemecahan masalah dan memastikan operasi yang efisien.

2. **Optimasi Sinyal:**

Antena eksternal meningkatkan rasio sinyal terhadap gangguan untuk komunikasi nirkabel.

3. **Mudah Dirawat:**

Penutup yang dapat dilepas memastikan akses cepat untuk perakitan, debugging, dan peningkatan.

4. **Kompak:**

Desain yang hemat ruang meminimalkan ukuran sambil menampung semua perangkat keras yang diperlukan.

7. **Materi Casing**

Materi yang digunakan untuk casing module ini adalah Polylactic acid (PLA). Bahan ini dipilih karena beberapa alasan:

- **Ringan:**

- Meningkatkan portabilitas, cocok untuk aplikasi IoT atau perangkat pengukuran mandiri.

- **Non-Konduktif:**

- Memberikan isolasi listrik untuk mencegah korsleting.

- **Biaya Rendah:**

- PLA adalah bahan yang ekonomis untuk prototipe dan produksi skala kecil.

- **Mendukung Pencetakan 3D:**

- Desain kompartemen yang rumit dapat dengan mudah diwujudkan dengan PLA menggunakan pencetakan 3D.

- **Ramah Lingkungan:**

- PLA bersifat biodegradable dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan plastik lainnya.

- **Ketahanan yang Memadai:**

- Memberikan perlindungan yang cukup untuk penggunaan di dalam ruangan atau lingkungan dengan tekanan mekanis rendah.

5.4.1.3 Module Sensor Temperature/Humidity



Figure 14: DHT22

DHT22 Sensor: DHT22, juga dikenal sebagai AM2302, adalah sensor digital yang dirancang untuk mengukur suhu dan kelembapan relatif dengan akurasi yang baik.

3D Model:

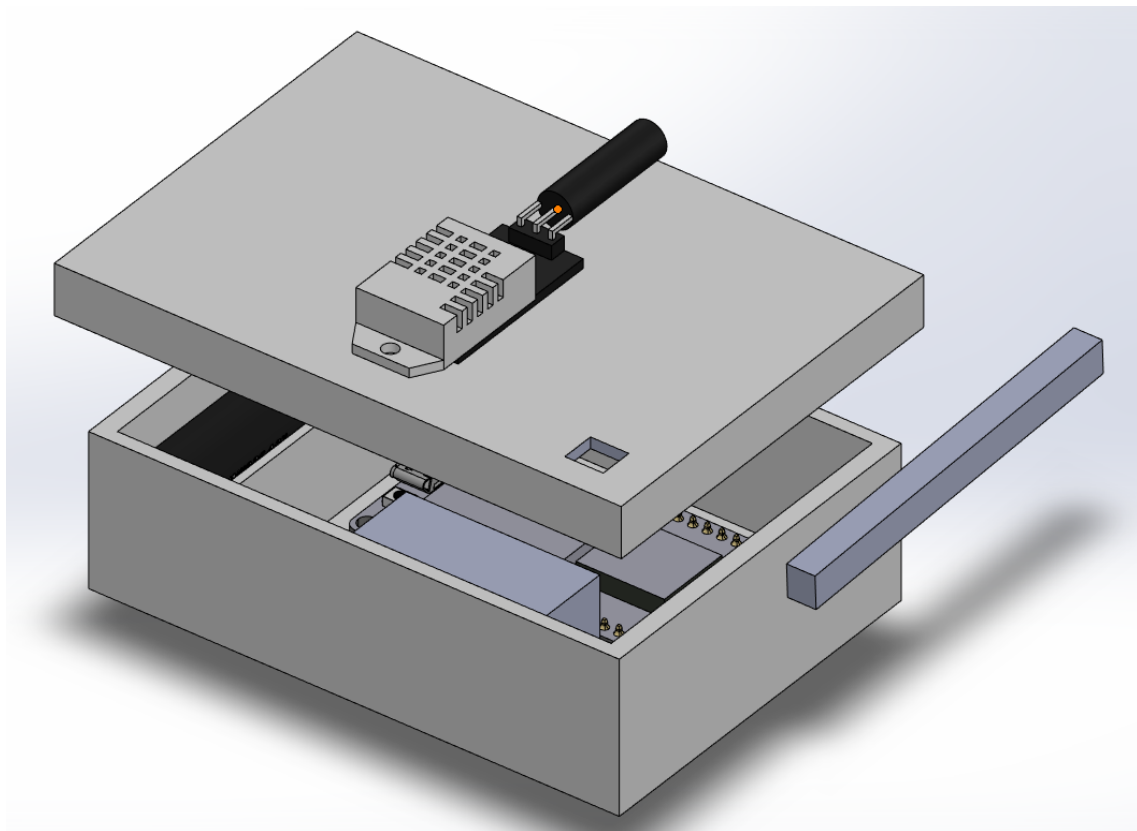


Figure 15: 3D Model Temperature/Humidity Module

1. Bagian Atas:

- **Penutup yang Dapat Dilepas:**

- Casing ini memiliki penutup yang dapat dilepas dengan dudukan antena eksternal untuk memastikan transmisi sinyal yang baik.
- Sensor DHT22 akan diletakan di atas tutup untuk dapat mengukur temperatur dan kelembaban dengan akurat. Ada lubang di casing untuk menghubungkan kabel dari mikrokontroler ke sensor.

2. Bagian Kiri:

- Slot Komponen Baterai: Digunakan untuk power source module yaitu baterai.

3. Bagian Tengah:

- Berisi kompartemen persegi panjang yang cocok untuk papan mikrokontroler ESP8266 dan module Lora (yang direpresentasikan dengan kotak abu-abu. Tata letaknya menyarankan jalur perutean kabel untuk pengkabelan yang rapi dan kemudahan koneksi.

4. Bagian Kanan:

- Tersedia tempat untuk memasang antena untuk komunikasi LoRa. Ada representasi antenanya seharusnya diletakan dimana dalam 3D model.

5. Aksesibilitas:

- **Penutup yang Dapat Dilepas:** Desain ini mencakup penutup yang dapat dilepas, memberikan akses mudah ke komponen internal untuk perawatan atau penggantian.
 - **Cable Management:** Slot atau saluran bawaan dirancang untuk manajemen kabel yang rapi dan aman, mencegah kabel kusut atau gangguan dengan menyediakan tempat yang luas dalam casing.
-

6. Penempatan Antena:

Antena dipasang secara eksternal di permukaan atas untuk memastikan kekuatan sinyal yang optimal dalam komunikasi LoRa.

7. Kekuatan Desain:

1. **Modularitas:**

Tata letak internal yang tersegmentasi dengan jelas memudahkan pengorganisasian dan isolasi komponen seperti sensor arus, baterai, dan mikrokontroler.

2. **Kemudahan Perawatan:**

Penutup yang dapat dilepas dan kompartemen internal yang mudah diakses menyederhanakan perakitan dan pemecahan masalah.

3. **Optimasi Sinyal:**

Penempatan antena eksternal meningkatkan kualitas sinyal untuk komunikasi jarak jauh.

4. **Bentuk yang Kompak:**

Pemanfaatan ruang internal yang efisien memastikan casing tetap ringkas sambil menampung semua komponen yang diperlukan.

7. Materi Casing

Materi yang digunakan untuk casing module ini adalah Polylactic acid (PLA). Bahan ini dipilih karena beberapa alasan:

1. **Ringan:** Membuat casing menjadi portable dan mudah digunakan, cocok untuk aplikasi IoT.
2. **Non-Konduktif:** Memastikan keamanan dengan mengurangi resiko korsleting pada komponen elektronik di dalamnya.
3. **Biaya Rendah:** Plastik PLA terjangkau dan cocok untuk produksi massal, menjaga anggaran proyek tetap rendah.

4. **Mudah Diproduksi:** Dapat dengan mudah dibentuk dan disesuaikan menggunakan pencetakan 3D, memungkinkan prototipe cepat dan skalabilitas.
5. **Fleksibilitas Desain:** Memungkinkan desain presisi, termasuk kompartemen untuk komponen, slot pemasangan, lubang ventilasi, danudukan antena.
6. **Ramah Lingkungan:** PLA bersifat biodegradable dan lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan plastik lainnya.
7. **Tahan Lama:** Cukup kuat untuk penggunaan dalam ruangan dan memberikan perlindungan yang memadai untuk elektronik internal.

5.4.2 LoRa Gateway



Figure 16: LoRa Gateway

Gateway LoRa Merk Dragino: LoRa Gateway Dragino adalah perangkat yang berfungsi sebagai penghubung (gateway) antara perangkat-perangkat LoRa (Long Range) yang ada di jaringan lokal dengan internet atau jaringan komunikasi lainnya melalui protokol seperti TCP/IP. Perangkat ini banyak digunakan dalam aplikasi IoT (Internet of Things) untuk mengumpulkan data dari sensor atau node LoRa dan meneruskannya ke server atau platform IoT (misalnya, AWS IoT, The Things Network, atau platform IoT lokal).

5.5 Platform Design

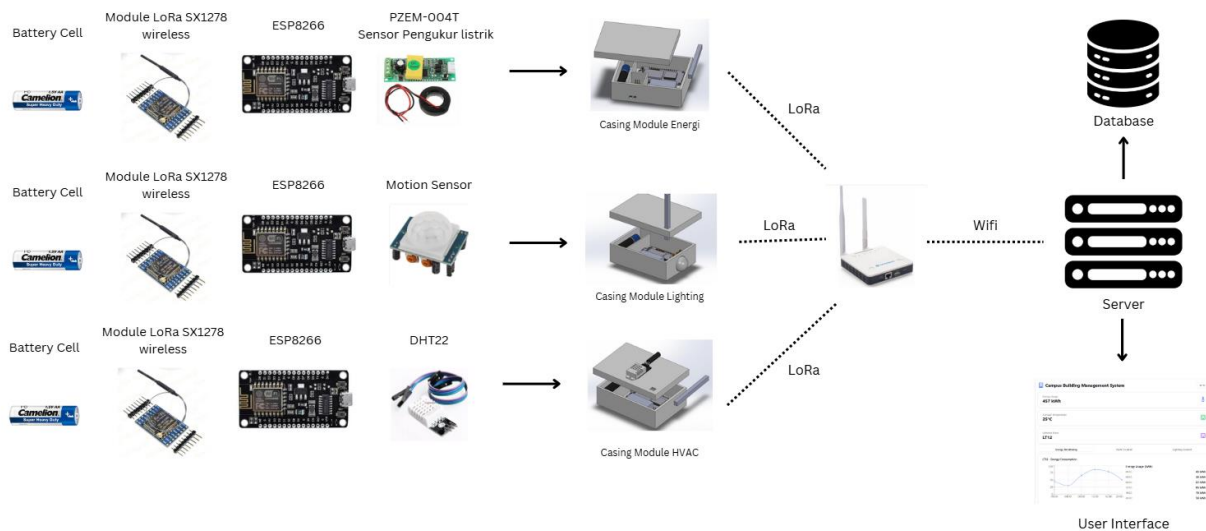


Figure 17: Platform Design Diagram

5.5.1 Hardware

Sensor:

- **PZEM-004T:** Mengukur konsumsi energi (tegangan, arus, daya aktif, dan energi total). Sensor ini memberikan data real-time untuk analitik dan pelaporan efisiensi energi.
- **DHT22:** Sensor suhu dan kelembapan dengan akurasi tinggi, digunakan untuk memantau kondisi lingkungan ruangan. Data ini membantu pengaturan HVAC secara otomatis untuk kenyamanan dan efisiensi.
- **PIR Motion Sensor:** Digunakan untuk mendeteksi aktivitas manusia di suatu ruangan, memungkinkan pengaturan pencahayaan dan HVAC berdasarkan keberadaan pengguna.

Mikrokontroler:

- **ESP8266:** Mengolah data dari sensor dan mengirimkannya melalui Wi-Fi atau LoRa ke gateway. Mikrokontroler ini juga mendukung logika lokal untuk otomatisasi perangkat.
- **LoRa SX1278:** Modul komunikasi jarak jauh yang bekerja pada frekuensi rendah, memungkinkan konektivitas antar perangkat IoT di area kampus yang luas dengan konsumsi daya rendah.

Gateway:

- Dragino LoRa Gateway: Menghubungkan jaringan perangkat LoRa dengan server cloud melalui internet. Gateway ini bertindak sebagai penghubung utama antara perangkat di lapangan dengan sistem backend untuk pengolahan lebih lanjut.

5.5.2 Software

Aplikasi Backend:

- Drinking menggunakan Wifi untuk pengambilan dan pengiriman data.
- Backend ini memproses data dari gateway, menyimpannya di database, dan mengelolanya untuk analitik, notifikasi, serta integrasi AI.

Aplikasi Frontend:

Dashboard berbasis web dan aplikasi mobile memberikan akses real-time kepada pengguna untuk:

- Memantau konsumsi energi per lantai atau ruangan.
- Mengatur parameter HVAC atau pencahayaan.
- Menerima notifikasi anomali atau rekomendasi penghematan energi.
- Antarmuka dirancang user-friendly dengan visualisasi data menggunakan grafik interaktif, tabel, dan ikon kontekstual.

5.5.3 Protokol Komunikasi

LoRa:

- Memungkinkan pengiriman data sensor jarak jauh (hingga beberapa kilometer) dengan konsumsi daya rendah. Ini ideal untuk kampus dengan banyak gedung atau lokasi yang tersebar luas.
- LoRa juga tahan terhadap interferensi, menjadikannya andal untuk transmisi di lingkungan kompleks.

Wi-Fi:

- Digunakan oleh gateway untuk menghubungkan perangkat ke server cloud. Kecepatan dan kapasitas tinggi Wi-Fi memastikan data dari berbagai perangkat dapat dikirim secara efisien.

5.5.4 Server**Database:**

- Menyimpan data historis dari sensor untuk keperluan analitik, pelaporan, dan pelatihan model machine learning.
- Database ini dirancang untuk menangani skala besar, mendukung pertumbuhan perangkat di masa depan.

Sistem Analitik:

- Mengolah data sensor untuk menghasilkan wawasan, prediksi konsumsi energi, dan rekomendasi efisiensi.
- Analitik ini mendukung sistem AI untuk pengambilan keputusan otomatis, seperti menyesuaikan HVAC berdasarkan prediksi cuaca atau tingkat hunian ruangan.

5.5.5 Cloud**Layanan Cloud:**

- Platform seperti AWS IoT Core atau Google IoT Core digunakan untuk menyimpan, mengelola, dan menganalisis data sensor di lingkungan terpusat.

Layanan ini memberikan:

- Skalabilitas: Kemampuan untuk menambah jumlah perangkat IoT tanpa mengorbankan performa.
- Aksesibilitas: Data dapat diakses dari mana saja melalui dashboard berbasis web atau mobile.

- Integrasi AI: Cloud menyediakan infrastruktur komputasi untuk menjalankan model machine learning dan AI untuk analitik lanjutan.

5.5.3 Arsitektur yang Terintegrasi

- Sensor mengumpulkan data real-time dari berbagai lokasi di kampus.
- Mikrokontroler memproses dan mengirim data ke gateway melalui LoRa.
- Gateway meneruskan data ke server cloud untuk penyimpanan dan analitik.
- Dashboard pengguna memberikan akses data, pengaturan sistem, dan notifikasi, sementara sistem AI membantu meningkatkan efisiensi energi melalui rekomendasi otomatis.
- Dengan desain ini, CBMS tidak hanya memastikan pengelolaan energi yang efisien tetapi juga mendukung keberlanjutan dan kenyamanan dalam operasional kampus.

8. Technical Specification

8.1 Perangkat Keras (Hardware)

8.1.1. Sensor

- **PZEM-004T**

- Fungsi: Mengukur konsumsi energi seperti tegangan, arus, daya aktif, dan energi total secara real-time.
- Spesifikasi:
 - Tegangan Operasi: 80–260V AC
 - Rentang Arus: 0–100A
 - Akurasi: $\pm 0.5\%$
- Manfaat: Memberikan data akurat untuk analitik energi dan pelaporan efisiensi, mendukung identifikasi peluang penghematan energi.

- **DHT22**

- Fungsi: Sensor suhu dan kelembapan untuk memantau kondisi lingkungan ruangan.
- Spesifikasi:
 - Rentang Operasi Suhu: -40°C hingga 80°C
 - Akurasi Suhu: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
 - Rentang Kelembapan: 0–100% RH
 - Akurasi Kelembapan: $\pm 2\%$ RH
- Manfaat: Data digunakan untuk otomatisasi HVAC, menjaga kenyamanan ruangan, dan meningkatkan efisiensi energi.

- **PIR Motion Sensor**

- Fungsi: Deteksi aktivitas manusia berdasarkan inframerah pasif, memungkinkan pengaturan pencahayaan dan HVAC berdasarkan keberadaan pengguna.
- Spesifikasi:
 - Jarak Deteksi: 3–7 meter
 - Sudut Deteksi: 120°

- Manfaat: Mendukung mode hemat energi dengan mematikan sistem pencahayaan dan HVAC saat ruangan tidak digunakan.

8.1.2. Mikrokontroler

- **ESP8266**

- Fungsi: Memproses data dari sensor dan mengirimkannya ke gateway melalui Wi-Fi atau LoRa.
- Spesifikasi:
 - Kecepatan Prosesor: 80/160 MHz
 - Memori: 4 MB Flash
 - Protokol: Wi-Fi 802.11 b/g/n, mendukung protokol TCP/IP
- Manfaat: Mendukung logika lokal untuk otomatisasi perangkat seperti pencahayaan berbasis gerakan.

- **LoRa SX1278 Wireless Module**

- Fungsi: Modul komunikasi jarak jauh berdaya rendah untuk menghubungkan perangkat IoT dalam kampus.
- Spesifikasi:
 - Frekuensi Operasi: 433 MHz
 - Jarak Operasi: Hingga 10 km (line of sight)
 - Konsumsi Daya: Rendah, 10 mA saat siaga
- Manfaat: Menyediakan konektivitas andal untuk perangkat IoT di lingkungan kampus dengan lokasi yang tersebar.

8.1.3. Gateway

- **Dragino LoRa Gateway**

- Fungsi: Menghubungkan perangkat berbasis LoRa dengan server cloud melalui internet.
- Spesifikasi:
 - Protokol: Mendukung LoRa dan Wi-Fi
 - Prosesor: Dual-core 240 MHz
 - Fitur Keamanan: Enkripsi AES 128-bit untuk LoRa

- Manfaat: Menjadi penghubung utama perangkat IoT dengan sistem backend untuk analitik lebih lanjut.

8.2 Perangkat Lunak (Software)

8.2.1. Aplikasi Backend

- Dikembangkan dengan protokol Wi-Fi untuk pengambilan dan pengiriman data secara efisien.
- Fungsi:
 - Mengolah data dari gateway dan menyimpannya dalam database untuk analitik dan pelaporan.
 - Mendukung sistem notifikasi untuk anomali dan rekomendasi penghematan energi.
 - Integrasi AI untuk prediksi dan otomatisasi.

8.2.2. Aplikasi Frontend

- **Platform:** Dashboard berbasis web dan aplikasi mobile.
 - **Fitur Utama:**
 - Monitoring real-time untuk konsumsi energi di setiap lantai atau ruangan.
 - Pengaturan otomatis parameter HVAC dan pencahayaan berdasarkan data sensor.
 - Notifikasi anomali dan rekomendasi penghematan energi.
 - **Desain Antarmuka:** User-friendly dengan visualisasi data berupa grafik interaktif, tabel, dan ikon intuitif.
-

8.3 Protokol Komunikasi

- **LoRa:**
 - Jarak Transmisi: Hingga beberapa kilometer, cocok untuk lingkungan kampus yang luas.

- Fitur: Konsumsi daya rendah, tahan interferensi, dan andal di lingkungan kompleks.
 - **Wi-Fi:**
 - Kecepatan Tinggi: Mendukung pengiriman data dalam jumlah besar ke server cloud.
 - Keamanan: Mendukung enkripsi TLS untuk melindungi data selama transmisi.
-

8.4 Server

- **Database:**
 - Menyimpan data historis dari sensor untuk analitik dan pelaporan.
 - Desain: Scalable untuk menampung pertumbuhan jumlah perangkat IoT di masa depan.
 - **Sistem Analitik:**
 - Memproses data sensor untuk menghasilkan wawasan dan rekomendasi efisiensi.
 - Mendukung integrasi AI untuk otomatisasi keputusan, seperti penyesuaian HVAC berdasarkan prediksi cuaca.
-

8.5 Arsitektur Sistem yang Terintegrasi

1. Sensor di berbagai lokasi kampus mengumpulkan data real-time terkait energi, keberadaan manusia, dan kondisi lingkungan.
2. Mikrokontroler memproses data dan mengirimkannya ke gateway melalui LoRa.
3. Gateway meneruskan data ke server cloud untuk penyimpanan dan analitik.
4. Sistem backend mengelola data, menghasilkan laporan, dan menjalankan analitik berbasis AI.
5. Dashboard pengguna memberikan akses real-time untuk memantau kondisi, mengatur sistem, dan menerima rekomendasi otomatis.

9. Kesimpulan

9.1 Executive Summary

Proyek **Campus Building Management System (C-BMS)** dirancang untuk mengembangkan sistem manajemen bangunan cerdas yang bertujuan meningkatkan efisiensi energi di lingkungan kampus. Proyek ini mengintegrasikan teknologi **Internet of Things (IoT)** dengan sistem manajemen terpusat untuk memantau dan mengelola konsumsi energi secara real-time.

Melalui pemasangan sensor di berbagai lokasi strategis, seperti ruang kelas, laboratorium, asrama, dan area publik, C-BMS memungkinkan pemantauan dan analisis penggunaan energi secara menyeluruh. Sistem ini tidak hanya membantu mengidentifikasi peluang penghematan energi tetapi juga mendukung kampus dalam mencapai tujuan keberlanjutan dan pengelolaan sumber daya yang lebih efisien.

Proyek ini dirancang untuk mendukung keberlanjutan kampus dengan mengurangi konsumsi energi setiap tahun, menurunkan biaya operasional, serta memperkuat kontribusi terhadap lingkungan yang lebih hijau. Dengan pendekatan modular berbasis IoT, C-BMS menawarkan fleksibilitas implementasi yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik setiap institusi.

Diharapkan, melalui implementasi C-BMS, kampus tidak hanya akan mengurangi dampak lingkungan melalui pengelolaan energi yang lebih baik, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan yang lebih hijau. Proyek ini juga diharapkan dapat menjadi contoh bagi institusi lain dalam mengadopsi teknologi cerdas yang mendukung efisiensi energi dan menciptakan lingkungan yang lebih produktif dan ramah lingkungan.

9.2 Future Product Development

Pengembangan C-BMS ke depannya difokuskan pada peningkatan teknologi dan adaptasi kebutuhan pengguna, mencakup hal-hal berikut:

1. **Analitik dan Prediksi dengan AI/ML**

Mengintegrasikan kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (ML) untuk menganalisis data historis dan memberikan prediksi penggunaan energi. Sistem ini dapat memberikan rekomendasi otomatis untuk mengurangi konsumsi energi.

2. **Sistem Otomasi Pintar**

Menambahkan fitur otomatisasi, seperti mengatur suhu ruangan atau mematikan perangkat listrik secara otomatis ketika ruangan kosong.

3. **Integrasi Energi Terbarukan**

Menyertakan pengelolaan energi dari sumber terbarukan, seperti panel surya atau turbin angin, untuk mengoptimalkan kombinasi energi tradisional dan hijau.

4. **Keamanan Data IoT**

Meningkatkan sistem keamanan untuk melindungi data yang dikumpulkan oleh sensor dari ancaman siber, seperti enkripsi data dan sistem autentikasi pengguna yang kuat.

5. **Skalabilitas Infrastruktur**

Merancang sistem yang fleksibel untuk diadaptasi ke berbagai ukuran kampus atau diintegrasikan dengan fasilitas baru.

6. **Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan**

Memperluas fungsi sensor untuk memantau kualitas udara, seperti tingkat CO₂ atau kelembapan, guna menciptakan lingkungan yang lebih sehat.

7. **Pemeliharaan Prediktif**

Menambahkan kemampuan untuk mendeteksi potensi kerusakan pada peralatan atau infrastruktur, sehingga perbaikan dapat dilakukan sebelum kerusakan terjadi

10. References

University College London (2022, March). *Living Lab study on Smart Energy Systems on campus*. Sustainable UCL. Retrieved from <https://www.ucl.ac.uk/sustainable/case-studies/2022/mar/living-lab-study-smart-energy-systems-campus>

MDPI. (2022). *Sensors*, 22(6), 2345. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/6/2345>

Padeli, Sudaryono, & Pandiangan, R. A. (n.d.). *Systematic Literature Review on Battery Management Systems and predicting Solar Big Data*. Universitas Raharja, Fakultas Sain dan Teknologi

Halilintar, M. P., & Monice. (n.d.). *Analisa kebutuhan energi minimum Universitas Lancang Kuning*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Unilak.

Lee, H.-C., & Ke, K.-H. (n.d.). Monitoring of large-area IoT sensors using a LoRa wireless mesh network system: Design and evaluation. *IEEE*.