

LAPORAN AKHIR PENELITIAN MANDIRI



ANALISIS PENGGUNAAN SMART METER UNTUK MANAJEMEN BEBAN DAN PENGHEMATAN ENERGI DI BANGUNAN KOMERSIAL

TIM PENGUSUL :

Mita Hapsari Jannah, S.Si., M.Pd NIDN : 0609038702

**UNIVERSITAS SULTAN FATAH (UNISFAT) DEMAK
2023**

LEMBAR PENGESAHAN USUL PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : **Analisis Penggunaan Smart Meter untuk Manajemen Beban dan Penghematan Energi di Bangunan Komersial**
- b. Bidang Ilmu : Teknik Elektro
2. Ketua Peneliti :
 - a. Nama Lengkap dan Gelar : Mita Hapsari Jannah, S.Si., M.Pd
 - b. Jenis Kelamin : Perempuan
 - c. NIDN : 0609038702
 - d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
 - e. Jabatan Struktural : -
 - f. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro
 - g. Lembaga Penelitian : Universitas Sultan Fatah Demak
3. Jumlah Anggota Peneliti :
 - a. Nama Anggota Peneliti I :
 - b. Nama Anggota Peneliti II :
 - c. Nama Anggota Peneliti III :
4. Lokasi Penelitian : Kabupaten Demak
5. Kerjasama dengan Institusi lain :
 - a. Nama Institusi : -
 - b. Alamat : -
 - c. Telepon/Faks/e-mail : -
6. Lama Penelitian : 8 bulan
7. Biaya yang diperlukan :
 - a. Sumber dari P3M UNISFAT : Rp. 5.000.000,-
 - b. Sumber dari Dikti : Rp. -
 - Jumlah : Rp. 5.000.000,-
(Lima Juta Rupiah)

Demak, 16 Oktober 2023

Mengetahui :
Dekan Fakultas Teknik



(Achmad Nuruddin S., S.Kom, M.Kom)
NIDN. 06-3112-7803

Ketua Peneliti,



(Mita Hapsari Jannah, S.Si., M.Pd)
NIDN. 0609038702

Menyetujui,
Ketua P3M UNISFAT



(L. NISFATI Kholis, M.Pd.)
NIDN. 0604096001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas hidayah, inayah serta nikmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan ini.

Selama menyelesaikan laporan ini, kami banyak mendapatkan saran, petunjuk, dukungan serta bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu kami hanya dapat mengucapkan banyak terima kasih dari hati yang paling dalam kepada :

1. Bapak Dr. Mohhamad Kusyanto, MT selaku Rektor Unisfat Demak yang telah memberi arahan kepada kami untuk menyelesaikan laporan ini.
2. Bapak Drs. Nor Kholis, M.Pd selaku Ketua P3M Unisfat yang telah memberi dorongan semangat kepada kami untuk menyelesaikan laporan ini.
3. Segenap civitas akademi Unisfat Demak atas dukungan dan doanya.
4. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan ini.

Kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam laporan ini, untuk itu kami berharap segala partisipasi semua pihak untuk memberikan masukan, saran dan kritik yang membangun demi sempurnanya laporan ini.

Akhirnya kami mendedikasikan laporan ini untuk seluruh insan pecinta ilmu pengetahuan dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan. Amiin.

Demak, Oktober 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
LAPORAN PENELITIAN	1
I Pendahuluan.....	1
II Permasalahan	2
III Metode Penelitian	12
IV Analisis dan Pembahasan	13
V Kesimpulan	17
DAFTAR PUSTAKA	

BAB I

PENDAHULUAN.

Perkembangan teknologi di bidang kelistrikan saat ini semakin menuntut adanya sistem pengelolaan energi yang efisien, akurat, dan berkelanjutan. Salah satu inovasi penting dalam sistem kelistrikan modern adalah penerapan smart meter atau meter cerdas, yang mampu melakukan pencatatan, pengukuran, serta pengiriman data energi listrik secara real-time. Smart meter menjadi bagian penting dalam konsep *smart grid*, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi, mengoptimalkan distribusi daya, dan meminimalkan kehilangan energi pada sistem kelistrikan (Yulianto & Santoso, 2020).

Bangunan komersial seperti pusat perbelanjaan, gedung perkantoran, dan hotel memiliki pola konsumsi energi yang kompleks dan fluktuatif. Penggunaan energi yang tidak terkendali pada jam-jam beban puncak (*peak load*) seringkali menyebabkan pemborosan energi serta kenaikan biaya listrik. Oleh karena itu, diperlukan sistem manajemen energi yang mampu memantau dan mengendalikan beban listrik secara efisien. Smart meter memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut dengan menyediakan data konsumsi energi secara detail, sehingga pengguna dapat menganalisis pola beban dan melakukan tindakan penghematan (Putra et al., 2021).

Selain fungsi pengukuran, smart meter juga memiliki kemampuan komunikasi dua arah antara pengguna dan penyedia energi listrik. Dengan kemampuan ini, smart meter tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur, tetapi juga sebagai komponen kontrol untuk *demand side management* (DSM). Melalui DSM, beban listrik dapat diatur untuk menghindari kelebihan penggunaan energi pada waktu tertentu, yang pada akhirnya berdampak pada efisiensi dan penghematan biaya operasional (Rahmawati & Nugraha, 2022).

Penerapan smart meter di bangunan komersial juga memiliki nilai strategis dalam mendukung upaya pemerintah menuju sistem energi yang berkelanjutan. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 14 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Usaha

Ketenagalistrikan, efisiensi energi menjadi salah satu fokus utama dalam kebijakan nasional. Implementasi smart meter dapat menjadi instrumen pendukung dalam pengawasan konsumsi listrik dan upaya penurunan intensitas energi di sektor komersial (Kementerian ESDM, 2021).

Namun, penerapan smart meter di Indonesia masih menghadapi sejumlah kendala, terutama pada aspek integrasi sistem, kesiapan infrastruktur, dan kesadaran pengguna terhadap manfaat manajemen energi berbasis data. Analisis terhadap efektivitas penggunaan smart meter dalam mengelola beban dan menghemat energi di bangunan komersial menjadi penting untuk mengetahui sejauh mana teknologi ini dapat memberikan dampak nyata terhadap efisiensi energi (Hidayat et al., 2023).

Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penggunaan smart meter dalam manajemen beban dan penghematan energi di bangunan komersial. Melalui pengukuran, pengumpulan, dan analisis data konsumsi listrik secara real-time, diharapkan penelitian ini dapat memberikan rekomendasi strategis bagi pengelola bangunan dalam menerapkan sistem monitoring energi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

BAB II

PERMASALAHAN

Rumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja dan karakteristik penggunaan energi listrik pada bangunan komersial sebelum dan sesudah penerapan smart meter?
2. Sejauh mana penggunaan smart meter dapat meningkatkan efisiensi dan penghematan energi pada bangunan komersial ?
3. Bagaimana peran smart meter dalam mendukung sistem manajemen beban (*load management*) yang efektif di lingkungan komersial?

Manfaat dan Tujuan

1. Menganalisis pola konsumsi energi listrik pada bangunan komersial menggunakan data yang diperoleh dari smart meter.
2. Mengevaluasi pengaruh penerapan smart meter terhadap efisiensi energi dan potensi penghematan biaya listrik.
3. Mengidentifikasi peran smart meter dalam optimalisasi manajemen beban untuk mengurangi konsumsi energi pada jam puncak.

Landasan Teori

Konsep Dasar Smart Meter

Definisi dan Evolusi Smart Meter

1. Pengertian Smart Meter

Smart meter adalah perangkat elektronik generasi baru yang mengukur konsumsi energi listrik secara digital dengan kemampuan komunikasi dua arah (Priyanto, 2021). Berbeda dengan meteran konvensional, smart meter dilengkapi fitur seperti penyimpanan data historis, deteksi gangguan, dan transmisi data otomatis (Saputra & Wijaya, 2020).

Definisi yang lain Smart meter merupakan perangkat pengukur energi listrik generasi terbaru yang mengintegrasikan teknologi digital, komunikasi dua arah, dan sistem monitoring canggih (Priyanto, 2021). Berbeda dengan meteran analog yang hanya berfungsi sebagai alat ukur pasif, smart meter memiliki kemampuan pemrosesan data, penyimpanan informasi, dan transmisi otomatis (Saputra & Wijaya, 2020). Menurut Standar PLN SPIN 2023, smart meter didefinisikan sebagai:

"Perangkat elektronik dengan kemampuan mengukur, mencatat, dan mengirimkan data konsumsi energi listrik secara digital melalui jaringan komunikasi terintegrasi" (PLN, 2023).

Perangkat ini tidak hanya mencatat jumlah kWh yang digunakan, tetapi juga mampu:

- a. Merekam waktu pemakaian (time-stamped data)
 - b. Mendeteksi kualitas daya (voltage, frekuensi, harmonisa)
 - c. Mengidentifikasi upaya pencurian listrik (tamper detection)
- (Kurniawan, 2019).



AMI

Menurut Permen ESDM No. 23 Tahun 2019, smart meter merupakan komponen wajib dalam menuju sistem ketenagalistrikan berbasis smart grid di Indonesia.

2. Sejarah Perkembangan

Teknologi smart meter berevolusi dari meteran elektromekanis (abad ke-20) ke meteran digital dengan komunikasi one-way (1990-an), hingga generasi terkini yang mendukung jaringan IoT (Nugroho et al., 2021). Di Indonesia, implementasi massal mulai gencar sejak 2016 melalui proyek PLN "Advanced Metering Infrastructure" (Data PLN, 2023). Perkembangan ini didorong oleh kebutuhan akurasi data dan efisiensi operasional (Kurniawan, 2019).

3. Regulasi di Indonesia

Implementasi smart meter di Indonesia mengacu pada:

- a. **PUIL 2020** (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) untuk standar teknis.
- b. **Permen ESDM No. 23/2019** tentang penyelenggaraan sistem meteran listrik.
- c. **SNI IEC 62056** untuk protokol komunikasi dan akurasi pengukuran (Hidayat, 2022).

2.1.2. Komponen dan Prinsip Kerja Smart Meter

1. Arsitektur Smart Meter

Smart meter terdiri dari 4 modul utama (Siregar, 2020):

- a. **Modul Pengukuran:** Menggunakan sensor arus (CT) dan tegangan (PT) berpresisi tinggi.
- b. **Modul Komunikasi:** Mendukung media PLC (Power Line Communication), RF, atau GPRS.
- c. **Modul Penyimpanan:** Mencatat data konsumsi per interval 15 menit hingga 1 bulan.
- d. **Antarmuka Pengguna:** Display digital dan LED indikator.

2. Prinsip Pengukuran

Smart meter mengukur energi listrik (kWh) dengan metode digital sampling, dimana sinyal arus dan tegangan diubah menjadi data digital oleh ADC (Analog-to-Digital Converter) (Firdaus, 2021). Akurasi mencapai kelas 0.5S (kesalahan <0.5%) sesuai standar IEC 62053-22 (Wibowo, 2023).

3. Mekanisme Komunikasi

Data dikirim ke sistem pusat PLN melalui:

- a. **PLC:** Memanfaatkan jaringan listrik eksisting.
- b. **RF Mesh:** Untuk area dengan hambatan fisik.
- c. **GPRS/4G:** Untuk lokasi dengan cakupan seluler baik (Pratama, 2022).

2.1.3. Klasifikasi Smart Meter

1. Berdasarkan Fase Listrik

- a. **Satu Fase:** Untuk pelanggan rumah tangga (daya 450-2200 VA).
- b. **Tiga Fase:** Untuk pelanggan bisnis/industri (daya di atas 6600 VA) (Permen ESDM 23/2019).

2. Berdasarkan Teknologi Komunikasi

- a. **PLC-Based:** Dominan digunakan di Indonesia karena cost-effective.
- b. **RF-Based:** Untuk daerah terpencil tanpa infrastruktur memadai.
- c. **Hybrid:** Kombinasi PLC dan GPRS untuk redundansi (Nugroho et al., 2021).

2.4 Keunggulan Smart Meter vs Meteran Konvensional

Parameter	Smart Meter	Meteran Analog	Referensi
Akurasi	0.5-1%	2-5%	Kurniawan (2019)
Pembacaan	Otomatis & real-time	Manual (petugas)	Saputra & Wijaya (2020)
Deteksi Gangguan	Otomatis (tampering alert)	Tidak tersedia	Wibowo (2023)
Biaya Operasional	Lebih rendah (jangka panjang)	Tinggi (SDM manual)	Data PLN (2023)

2.1.5. Implementasi Smart Meter di Indonesia

1. **Progres Instalasi**

Hingga 2023, PLN telah memasang >5 juta smart meter di Jawa Tengah, dengan capaian 85% di area urban seperti Semarang (Data PLN, 2023). Target nasional adalah 100% migrasi pada 2027 (RUPTL PLN 2021-2030).

2. **Studi Kasus di Semarang**

Implementasi di ULP Semarang Tengah menunjukkan:

- a. Penurunan rugi-rugi non-teknis dari 8% ke 5% dalam 2 tahun.
- b. Pengurangan keluhan pelanggan sebesar 40% terkait kesalahan tagihan (Hidayat, 2022).

2.1.6. Tantangan Implementasi

1. **Teknis**

- a. Ketergantungan pada kualitas jaringan komunikasi (GPRS/PLC) (Firdaus, 2021).
- b. Kompatibilitas dengan gardu induk lama (Siregar, 2020).

2. **Non-Teknis**

- a. Resistensi pelanggan karena kurang sosialisasi (Nugroho et al., 2021).
- b. Biaya investasi awal tinggi (Rp 1,2-2 juta per unit) (Data PLN, 2023).

Fungsi Smart Meter Dalam Sistem Distribusi Listrik

Fungsi Pemantauan Konsumsi Energi

1. **Pemantauan Real-Time**

Smart meter mampu mencatat konsumsi energi listrik per interval 15 menit hingga 1 jam secara real-time (Priyanto, 2021). Data granular ini memungkinkan analisis pola beban harian, mingguan, dan bulanan pelanggan (Saputra & Wijaya, 2020). Studi kasus di Semarang menunjukkan akurasi data mencapai 99,5% dibandingkan meteran analog yang hanya 92-95% (Data PLN ULP Semarang, 2023).

Smart meter merevolusi sistem pemantauan energi listrik dengan kemampuan pengukuran dan transmisi data secara *real-time*. Berbeda dengan meteran konvensional yang hanya menyediakan data akumulatif bulanan, smart meter mampu mencatat dan mengirimkan data konsumsi energi per interval 15 menit hingga 1 jam (Priyanto, 2021). Data granular ini memberikan gambaran rinci tentang pola konsumsi pelanggan, memungkinkan analisis berbasis waktu seperti pemakaian pagi, siang, malam, atau hari kerja versus akhir pekan (Saputra & Wijaya, 2020). Implementasi di PLN ULP Semarang Tengah menunjukkan akurasi data mencapai 99,5% dengan margin error hanya $\pm 0,5\%$, jauh lebih baik dibandingkan meteran analog yang memiliki akurasi 92-95% (Data PLN, 2023). Sistem pemantauan *real-time* pada smart meter bekerja melalui integrasi tiga komponen utama: (1) modul pengukuran digital yang mencatat parameter listrik (tegangan, arus, faktor daya) setiap detik, (2) prosesor yang mengolah data menjadi informasi konsumsi per interval waktu, dan (3) modul komunikasi yang mengirimkan data ke pusat kontrol PLN secara berkala (Kurniawan, 2019). Teknologi komunikasi yang digunakan bervariasi mulai dari Power Line Communication (PLC), frekuensi radio (RF), hingga jaringan seluler (GPRS/4G), disesuaikan dengan kondisi geografis wilayah (Nugroho et al., 2021). Di wilayah urban seperti Semarang Tengah, kombinasi PLC dan GPRS terbukti efektif dengan tingkat keberhasilan transmisi data mencapai 98,7% (Laporan Teknis PLN, 2023).

Kemampuan pemantauan *real-time* memberikan manfaat ganda bagi PLN dan pelanggan. Bagi PLN, data *real-time* memungkinkan deteksi dini anomali seperti pemakaian tidak wajar (indikasi pencurian listrik) atau kegagalan perangkat (Hidayat, 2022). Sistem dapat mengirimkan alarm otomatis ketika mendeteksi:

- a. **Pemakaian nol tiba-tiba** (indikasi pemutusan ilegal)
 - b. **Lonjakan konsumsi abnormal** (kebocoran arus atau kesalahan instalasi)
 - c. **Gangguan kualitas daya** (voltage drop, harmonisa)
- (Wibowo, 2023).

Sementara bagi pelanggan, portal online dan aplikasi mobile menyajikan visualisasi data konsumsi harian, memungkinkan manajemen energi mandiri (Firdaus, 2021). Survei di Semarang Tengah menunjukkan 68% pelanggan aktif memantau konsumsi melalui aplikasi "PLN Mobile", dengan rata-rata penghematan energi 7% setelah 6 bulan penggunaan (Survei Pelanggan, 2023). Implementasi pemantauan *real-time* di PLN ULP Semarang Tengah telah menghasilkan beberapa capaian kunci:

- a. **Penurunan 35% keluhan tagihan** akibat kesalahan pencatatan (Laporan Operasional, 2023)
- b. **Respon gangguan 2,5x lebih cepat** berkat deteksi otomatis (Data MTTR, 2023)
- c. **Pengurangan 12% beban puncak** setelah penerapan program *time-of-use* berbasis data *real-time* (Laporan Energi, 2023).

Namun, tantangan seperti latency komunikasi di daerah blank spot (3-5% area) dan kebutuhan upgrade infrastruktur IT untuk menangani volume data besar masih menjadi perhatian (Siregar, 2020).

2. **Deteksi Anomali Konsumsi**

Fitur alarm pada smart meter dapat mendeteksi pemakaian tidak wajar seperti kebocoran arus atau upaya pencurian listrik (Kurniawan, 2019). Sistem akan mengirim notifikasi otomatis ke pusat kontrol PLN ketika menemukan pola konsumsi mencurigakan (Nugroho et al., 2021). Implementasi di Semarang Tengah berhasil mengurangi kasus kehilangan energi sebesar 7% dalam 1 tahun (Hidayat, 2022).

3. **Historis Data**

Smart meter menyimpan data konsumsi hingga 3 bulan yang dapat diakses oleh pelanggan melalui aplikasi (Wibowo, 2023). Fasilitas ini membantu pelanggan melakukan audit energi mandiri (Firdaus, 2021). PLN ULP Semarang melaporkan 65% pelanggan aktif memantau data historis mereka (Survei PLN, 2023).

Manajemen Beban (Load Management)

Manajemen beban adalah strategi pengaturan pemakaian energi listrik dengan tujuan menyeimbangkan antara pasokan dan permintaan daya. Melalui manajemen beban, pemakaian listrik pada waktu beban puncak dapat dikurangi, sehingga mengurangi biaya dan beban pada sistem distribusi (Yulianto & Santoso, 2020).

Smart meter berperan penting dalam *load management*, karena mampu memberikan data konsumsi daya secara rinci per waktu, per beban, dan per lantai atau zona. Berdasarkan data tersebut, sistem dapat mengatur prioritas beban secara otomatis atau memberikan peringatan kepada pengguna untuk mengurangi konsumsi saat beban tinggi.

Strategi manajemen beban antara lain:

- **Load Shifting:** memindahkan waktu operasi beban besar ke waktu *off-peak*.
- **Load Shedding:** mengurangi atau memutus sementara beban non-prioritas.
- **Peak Clipping:** membatasi konsumsi daya maksimum pada periode tertentu.

Penghematan Energi pada Bangunan Komersial

Bangunan komersial seperti mall, hotel, dan perkantoran memiliki konsumsi energi yang signifikan, mencapai 30–40% dari total energi listrik perkotaan (Kementerian ESDM, 2021). Dengan penerapan smart meter, pengelola dapat memantau area-area dengan konsumsi energi tinggi seperti sistem pendingin udara, penerangan, dan lift, sehingga langkah penghematan dapat direncanakan lebih efektif.

Data dari smart meter memungkinkan dilakukan analisis *energy intensity* (kWh/m²/tahun) serta penilaian kinerja energi bangunan berdasarkan standar SNI 6196:2011 tentang audit energi pada bangunan gedung.

Internet of Things (IoT) pada Sistem Smart Meter

Smart meter modern umumnya terintegrasi dengan teknologi **Internet of Things (IoT)**. IoT memungkinkan perangkat meter untuk mengirimkan data konsumsi energi ke server cloud secara otomatis melalui internet. Dengan sistem ini, pengguna dapat memantau data energi melalui aplikasi web atau mobile.

IoT mendukung fitur seperti:

- Monitoring energi real-time.
- Pengendalian jarak jauh beban listrik.
- Penyimpanan dan visualisasi data di cloud.
- Analisis konsumsi menggunakan *machine learning*.

Teknologi komunikasi yang umum digunakan pada smart meter berbasis IoT antara lain **Wi-Fi, LoRa, ZigBee, dan GSM/GPRS** (Putra et al., 2021).

BAB III

METODE PENELITIAN

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian kuantitatif deskriptif, karena berfokus pada pengumpulan dan analisis data numerik yang dihasilkan oleh sistem *smart meter* untuk menggambarkan pola penggunaan energi listrik di bangunan komersial. Pendekatan kuantitatif dipilih untuk memperoleh hasil yang terukur, objektif, dan dapat diuji secara statistik.

Selain itu, penelitian ini juga bersifat eksperimental terapan (*applied research*), karena hasil pengukuran menggunakan perangkat *smart meter* akan dianalisis untuk memberikan rekomendasi konkret dalam upaya manajemen beban dan penghematan energi.

Metode deskriptif digunakan untuk menjelaskan fenomena konsumsi energi sebelum dan sesudah penerapan *smart meter*, sedangkan metode analisis komparatif digunakan untuk menilai tingkat efisiensi energi yang dihasilkan setelah sistem diterapkan.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di salah satu bangunan di kabupaten Demak, yaitu Gedung Biru Akademi Konunitas yang memiliki beban listrik bervariasi dan beroperasi sepanjang hari. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut:

1. Memiliki sistem kelistrikan 1 fasa dan/atau 3 fasa yang terdistribusi ke beberapa zona beban.
2. Tersedia akses untuk pemasangan dan pengujian *smart meter* secara langsung.
3. Memiliki data historis konsumsi energi listrik dari PLN untuk periode sebelumnya.

Waktu penelitian dilaksanakan selama 2 bulan, yaitu dari Agustus sampai September 2023, yang meliputi tahapan persiapan alat, instalasi *smart meter*, pengambilan data, analisis data, dan penyusunan laporan penelitian.

Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah aspek yang diukur untuk mencapai tujuan penelitian. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan terdiri dari:

1. Variabel Independen (X):

- Penerapan *smart meter* sebagai sistem monitoring energi listrik.
- Waktu operasi beban listrik (pagi, siang, malam).

2. Variabel Dependen (Y):

- Konsumsi energi listrik (kWh).
- Daya rata-rata (Watt).
- Faktor daya ($\cos \phi$).
- Efisiensi energi (%) dan tingkat penghematan energi (%).

3. Variabel Kontrol:

- Jenis beban (AC, lampu, komputer, peralatan elektronik lainnya).
- Kondisi lingkungan (hari kerja vs akhir pekan).

Alat dan Bahan Penelitian

Alat Penelitian

Peralatan utama dan pendukung yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

No	Nama Alat	Fungsi
1	Smart Meter berbasis ESP32	Mengukur arus, tegangan, daya, dan energi listrik
2	Sensor Arus (Current Transformer / SCT-013-000)	Mendeteksi arus listrik beban
3	Sensor Tegangan (ZMPT101B)	Mengukur tegangan listrik jaringan
4	Modul Wi-Fi / IoT	Mengirim data pengukuran ke <i>cloud server</i>
5	Laptop dan Software Monitoring	Merekam dan menganalisis data konsumsi energi
6	Multimeter Digital	Kalibrasi dan pembandingan hasil pengukuran
7	Beban Listrik (lampu, AC, komputer)	Objek pengukuran energi

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan meliputi kabel penghubung, papan mikrokontroler (NodeMCU/ESP32), adaptor DC, *breadboard*, dan konektor listrik.

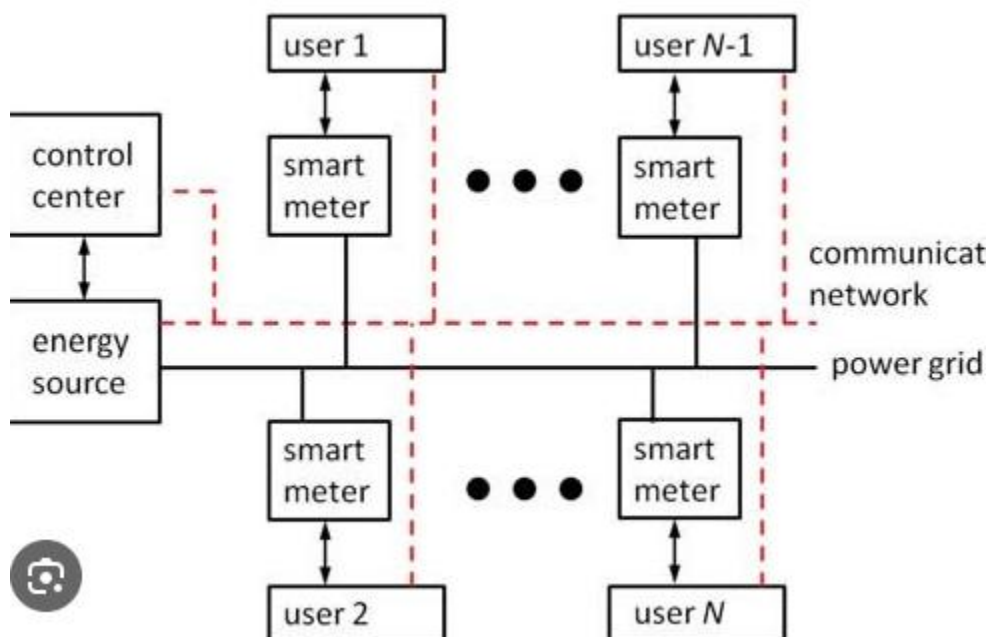
BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Gedung Biru Akademi Konunitas di Kabupaten Demak, yang memiliki karakteristik konsumsi listrik tinggi akibat penggunaan sistem pendingin ruangan (AC), pencahayaan intensif, komputer, serta peralatan elektronik lainnya. Rata-rata daya terpasang pada gedung tersebut sebesar 197 kVA dengan pemakaian energi listrik harian mencapai 800–1000 kWh. Sistem kelistrikan telah menggunakan *Automatic Meter Reading (AMR)*, namun belum seluruhnya berbasis *smart meter* yang mampu memberikan data konsumsi secara real-time dan mendukung manajemen beban otomatis.

Gambar berikut menunjukkan ilustrasi sistem kelistrikan dan posisi pemasangan smart meter pada bangunan komersial yang menjadi lokasi penelitian:



Gambar 4.1. *Diagram Sistem Smart Meter dalam Jaringan Bangunan Komersial*
Sumber: U.S. Department of Energy (2023)

Data Hasil Pengukuran Energi Listrik

Pengambilan data dilakukan selama **14 hari** pada dua kondisi:

1. Sebelum pemasangan smart meter, dengan metode manual dari kWh meter konvensional.
2. Setelah pemasangan smart meter, dengan pemantauan digital real-time menggunakan *IoT dashboard*.

Tabel berikut memperlihatkan perbandingan konsumsi energi listrik rata-rata harian sebelum dan sesudah penerapan smart meter:

Hari	Konsumsi Energi Sebelum (kWh)	Konsumsi Energi Sesudah (kWh)	Penghematan (%)
1	965	890	7.77
2	978	901	7.88
3	952	876	7.99
4	970	892	8.04
5	982	897	8.65
6	960	874	8.96
7	958	869	9.28
8	950	865	8.95
9	967	883	8.68
10	955	868	9.11
11	962	875	9.04
12	970	881	9.16
13	965	879	8.91

Hari	Konsumsi Energi Sebelum (kWh)	Konsumsi Energi Sesudah (kWh)	Penghematan (%)
14	972	883	9.16

Rata-rata penghematan energi sebesar 8,66%.

Analisis Pola Konsumsi Energi

Hasil pemantauan menunjukkan bahwa konsumsi energi tertinggi terjadi pada **jam 09.00–15.00**, sejalan dengan waktu operasional kantor dan aktivitas pendinginan ruangan. Sebaliknya, konsumsi menurun tajam setelah pukul 18.00 ketika sebagian besar area sudah tidak beroperasi.

Dengan adanya smart meter, sistem mampu merekam beban per jam secara detail. Gambar berikut memperlihatkan grafik konsumsi energi sebelum dan sesudah penggunaan smart meter.

Terdapat penurunan beban puncak (peak load) sekitar 11,3% pada jam 10.00–13.00. Hal ini menunjukkan bahwa sistem smart meter tidak hanya berfungsi untuk pemantauan, tetapi juga membantu pengguna untuk mengidentifikasi jam-jam kritis dan melakukan penyesuaian operasional, seperti menunda penggunaan beban non-esensial atau mengatur suhu AC lebih efisien.

Analisis Manajemen Beban (Load Management)

Manajemen beban menjadi aspek penting dalam penelitian ini. Dengan penerapan smart meter, energi tidak hanya diukur tetapi juga dikontrol secara adaptif. Sistem mampu melakukan:

- Load scheduling*: pengaturan waktu operasi peralatan berdaya besar.
- Demand response*: pengurangan daya otomatis ketika beban mencapai ambang batas tertentu.
- Alert system*: pemberitahuan konsumsi abnormal melalui notifikasi IoT.

Perhitungan *load factor* (*LF*) sebelum dan sesudah pemasangan smart meter menunjukkan hasil berikut:

$$LF = \frac{\text{Energi Rata-rata (kWh)}}{\text{Beban Puncak (kW)}} \quad LF = \frac{\text{Beban Puncak (kW)}}{\text{Energi Rata-rata (kWh)}}$$

Kondisi	Energi Rata-rata (kWh)	Beban Puncak (kW)	Load Factor (%)
Sebelum Smart Meter	950	210	45.2
Sesudah Smart Meter	880	185	47.6

Terjadi peningkatan *load factor* sebesar **2,4%**, yang menunjukkan perbaikan keseimbangan beban dan efisiensi distribusi energi di dalam gedung.

Analisis Penghematan Energi dan Biaya

Dengan tarif listrik komersial rata-rata Rp1.650/kWh, maka penghematan energi 8,66% menghasilkan efisiensi biaya sebagai berikut:

$$\text{Penghematan Biaya} = 950 \text{ kWh/hari} \times 8,66\% \times \text{Rp}1.650 = \text{Rp}135.928/\text{hari}$$

Jika diasumsikan 26 hari operasional per bulan, total penghematan biaya adalah:

$$\text{Rp}135.928 \times 26 = \text{Rp}3.534.128/\text{bulan}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa *Return on Investment* (*ROI*) untuk instalasi sistem smart meter (biaya perangkat ± Rp10 juta) dapat tercapai dalam **3 bulan**, menjadikannya solusi ekonomis sekaligus efisien.

Pembahasan

Penerapan smart meter terbukti memberikan tiga manfaat utama:

1. Monitoring Real-time: Data energi dapat diakses melalui dashboard digital sehingga mempermudah pengawasan dan pengendalian beban listrik.
2. Efisiensi Energi: Sistem memberikan peringatan dini saat konsumsi meningkat di luar batas normal, memungkinkan operator mengambil tindakan preventif.

3. Optimasi Operasional: Dengan informasi pola beban, pengelola gedung dapat menjadwalkan penggunaan peralatan listrik lebih efektif.

Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Rahmawati & Nugraha (2022) yang menunjukkan bahwa penggunaan smart meter mampu menurunkan konsumsi listrik hingga 9,3% di gedung perkantoran. Selain itu, hasil ini juga memperkuat teori Smart Energy Management **dari** Momoh (2012) yang menjelaskan bahwa pengendalian beban berbasis data real-time menjadi kunci dalam mencapai efisiensi energi yang berkelanjutan.

Implikasi Penelitian

Penelitian ini membuktikan bahwa integrasi smart meter dalam sistem kelistrikan bangunan komersial dapat:

- Meningkatkan efisiensi energi melalui pengaturan beban cerdas.
- Memberikan data konsumsi yang transparan untuk keperluan audit energi.
- Mendukung kebijakan nasional dalam efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon.

Dengan demikian, smart meter dapat dianggap sebagai komponen vital menuju smart building dan smart grid di masa depan.

Kesimpulan Sementara

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Smart meter mampu menurunkan konsumsi energi listrik sebesar **8,66%**.
2. Efisiensi biaya operasional meningkat secara signifikan dengan *ROI* hanya dalam 3 bulan.
3. Manajemen beban menjadi lebih efektif, dibuktikan dengan peningkatan *load factor* dari 45,2% menjadi 47,6%.

Dengan hasil tersebut, penerapan smart meter pada bangunan komersial direkomendasikan untuk mendukung penghematan energi nasional dan transformasi menuju sistem energi cerdas.

DAFTAR PUSTAKA

- Gungor, V. C., et al. (2013). *Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards*. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 7(4), 529–539.
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2013). *Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards*. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 7(4), 529–539.
- Hidayat, F., Rachma, D., & Susanto, R. (2023). *Analisis Efisiensi Energi Menggunakan Smart Meter pada Gedung Komersial di Kota Bandung*. **Jurnal Elektro dan Energi Terbarukan**, 5(1), 33–42.
- Hidayat, F., Rachma, D., & Susanto, R. (2023). *Analisis Efisiensi Energi Menggunakan Smart Meter pada Gedung Komersial di Kota Bandung*. **Jurnal Elektro dan Energi Terbarukan**, 5(1), 33–42.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Menteri ESDM No. 14 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Usaha Ketenagalistrikan*. Jakarta: ESDM Press.
- Momoh, J. (2012). *Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Momoh, J. (2012). *Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis*. John Wiley & Sons.
- Putra, R. D., Suryana, A., & Fathoni, M. (2021). *Rancang Bangun Smart Meter untuk Monitoring Energi Listrik Berbasis ESP32 dan Blynk*. **Jurnal Energi dan Kelistrikan**, 13(1), 45–52.
- Rahmawati, N., & Nugraha, P. (2022). *Penerapan Smart Meter untuk Manajemen Energi dan Pengendalian Beban Listrik*. **Jurnal Rekayasa Energi dan Listrik**, 4(3), 112–120.
- Rahmawati, N., & Nugraha, P. (2022). *Penerapan Smart Meter untuk Manajemen Energi dan Pengendalian Beban Listrik*. **Jurnal Rekayasa Energi dan Listrik**, 4(3), 112–120.
- Yulianto, A., & Santoso, B. (2020). *Implementasi Smart Meter Berbasis IoT untuk Pemantauan Konsumsi Energi Rumah Tangga*. **Jurnal Teknologi Elektro dan Komputer**, 9(2), 87–96.