

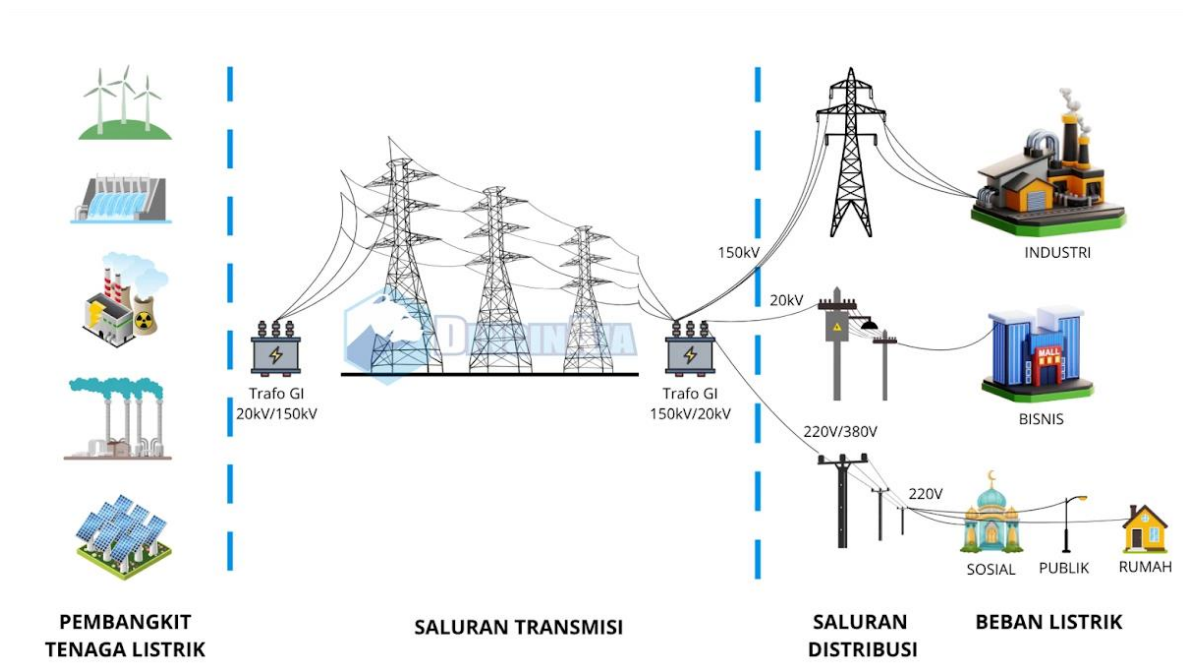
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Sistem tenaga listrik adalah rangkaian terintegrasi yang mencakup pembangkit, transmisi, dan distribusi listrik, yang bertujuan untuk menghasilkan, menyalurkan, dan menyediakan tenaga listrik kepada konsumen akhir [7]. Proses kelistrikan ini harus dijalankan secara andal (reliability) dan efisien agar suplai listrik selalu memenuhi permintaan (demand) pelanggan tanpa gangguan. [1]



Gambar 2.1 Diagram Alur Sistem Tenaga Listrik

Pada tahap pembangkit, energi primer (batubara, gas, air, angin, dsb.) diubah menjadi energi listrik (AC). Listrik kemudian dinaikkan tegangannya melalui transformator step-up agar dapat dikirim melalui jaringan transmisi dengan rugi daya minimal. Setelah melewati

jarak jauh, listrik akan diturunkan di gardu induk (step-down) untuk kemudian disalurkan melalui jaringan distribusi ke konsumen (rumah tangga, industri, bisnis). [8]

Tahap transmisi berfungsi membawa daya listrik dalam tegangan tinggi (misalnya 150 kV, 70 kV) agar rugi daya akibat resistansi kawat dapat diminimalkan [9]. Jaringan transmisi menghubungkan pembangkit dengan gardu-gardu induk yang lebih dekat ke konsumen. Di tahap distribusi, tegangan listrik diturunkan (misalnya dari 20 kV ke 0,38 kV) agar bisa digunakan oleh alat listrik pelanggan. Di sinilah letak pekerjaan PLN ULP (termasuk ULP Bagan Batu) dalam menjaga pasokan ke pelanggan secara andal dan stabil. [10]

Dalam kajian literatur di Indonesia, banyak penelitian menekankan bahwa ketiga subsistem—pembangkit, transmisi, dan distribusi—tidak bisa dipisahkan dalam analisis efisiensi dan keandalan sistem tenaga listrik. Misalnya, kajian Analisis Keandalan Sistem Tenaga Listrik pada jaringan distribusi RS Bunda Thamrin menyatakan bahwa distribusi listrik merupakan aspek penting dalam keandalan pasokan ke konsumen karena perubahan beban langsung berdampak pada kualitas layanan. Selain itu, strategi manajemen sistem tenaga listrik—termasuk pengaturan beban dan penyusunan jaringan—telah dikaji dalam konteks Sumatera selama periode pandemi, dengan penekanan bahwa manajemen beban dan operasional sistem sangat penting untuk menjaga keseimbangan pasokan dan permintaan. [11]

Secara teoritis, konsep mismatch (ketidakseimbangan) antara produksi dan beban akibat variasi beban pelanggan merupakan peluang terjadinya beban puncak yang tinggi, yang jika tidak dikelola dapat menurunkan efisiensi dan meningkatkan rugi daya. Karena itu, dalam penelitian pemakaian energi listrik pelanggan (sebagaimana yang kamu lakukan pada ULP Bagan Batu), pemahaman mengenai struktur sistem tenaga listrik menjadi dasar penting agar analisis profil beban dan efisiensi penggunaan listrik dapat ditempatkan dalam konteks yang benar.[12]

2.1.2 Energi Listrik

Energi listrik merupakan bentuk energi yang dihasilkan dari perpindahan muatan listrik melalui konduktor akibat adanya perbedaan potensial [13] . Secara matematis, hubungan antara energi, daya, dan waktu dapat dinyatakan dengan persamaan.

$$E = P \times t \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan keterangan :

E = energi listrik (kWh),

P = daya listrik (kW),

t = waktu pemakaian (jam).

Rumus tersebut menunjukkan bahwa energi listrik merupakan hasil perkalian antara daya yang digunakan dan lamanya waktu penggunaan. Dalam konteks sistem tenaga listrik, energi listrik menjadi satuan utama dalam penentuan konsumsi dan tagihan pelanggan, sebagaimana tercatat melalui alat ukur kWh meter.[14]

Energi listrik dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber pembangkitnya, seperti pembangkit termal, hidro, surya, dan angin, yang seluruhnya dikonversikan menjadi energi listrik melalui prinsip elektromagnetik. Menurut Prasetyo dan Yuliani (2021), efisiensi pembangkitan listrik ditentukan oleh kemampuan sistem dalam mengubah energi primer menjadi energi listrik dengan kehilangan energi sekecil mungkin. [15]

Dalam proses distribusi, energi listrik mengalami rugi daya (losses) akibat hambatan saluran dan ketidakseimbangan beban. Oleh karena itu, pemantauan energi listrik tidak hanya berfokus pada jumlah energi yang dikonsumsi, tetapi juga pada profil beban dan faktor beban (load factor) yang menunjukkan efisiensi penggunaan kapasitas daya. Penelitian oleh Hidayat dan Gunawan (2023) menunjukkan bahwa analisis profil beban dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola konsumsi pelanggan dan merancang strategi efisiensi energi di sektor industri. [16]

Energi listrik juga memiliki peran strategis dalam pengembangan sistem tenaga yang berkelanjutan. Menurut Rahman et al. (2024), peningkatan konsumsi listrik nasional harus diimbangi dengan manajemen beban yang baik dan penggunaan energi yang efisien agar sistem tetap stabil dan berkeandalan tinggi.

2.1.3 kWh Meter

kWh meter merupakan alat ukur energi listrik yang digunakan untuk mengetahui besarnya konsumsi daya listrik pelanggan dalam satuan kilowatt-hour (kWh). Alat ini berfungsi mencatat total energi listrik yang digunakan selama periode tertentu, sehingga menjadi dasar perhitungan biaya listrik dan evaluasi pola konsumsi energi pelanggan. [3]



Gambar 2.2 Sistem Listrik Pintar PLN

Secara umum, prinsip kerja kWh meter adalah mengukur daya aktif ($P = V \times I \times \cos$) dan mengintegrasikannya terhadap waktu, sehingga menghasilkan total energi listrik yang dikonsumsi. Berdasarkan teknologi dan sistem pengukuran, kWh meter dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu: [17]

1. kWh Meter Analog (Electromechanical Meter) – menggunakan piringan aluminium yang berputar sebanding dengan jumlah energi yang digunakan.
2. kWh Meter Digital (Static Meter) – menggunakan sensor elektronik untuk mengukur arus dan tegangan, kemudian menampilkan hasil perhitungan secara digital.
3. kWh Meter Pintar (Smart Meter/AMR/AMI) – dilengkapi modul komunikasi untuk membaca dan mengirimkan data konsumsi energi secara otomatis ke sistem pusat, seperti AP2T PLN.

Menurut Utomo dan Haryanto (2022), penggunaan kWh meter digital dan sistem *Automatic Meter Reading (AMR)* di jaringan distribusi PLN telah meningkatkan akurasi pencatatan data energi serta mengurangi kesalahan pembacaan manual. Teknologi ini memungkinkan pencatatan beban secara real-time dan menghasilkan profil beban (load profile) pelanggan, yang berisi data variasi daya listrik terhadap waktu. [18]

Profil beban dari kWh meter menjadi elemen penting dalam analisis pola konsumsi pelanggan. Data ini mencerminkan perilaku penggunaan energi, termasuk waktu terjadinya beban puncak dan beban luar puncak, sehingga dapat digunakan untuk perhitungan faktor beban (load factor) dan efisiensi pemanfaatan daya [19]. Penelitian oleh Wibowo dan Siregar (2021) menegaskan bahwa data kWh meter berperan penting dalam perencanaan sistem distribusi dan evaluasi beban pelanggan Tegangan Menengah. [4]

Selain itu, kWh meter modern yang digunakan oleh PLN (seperti pada pelanggan Industri tarif I3 daya 555 kVA) telah terintegrasi dengan sistem “Listrik Pintar”, yang mendukung pencatatan energi prabayar dan memudahkan pemantauan pemakaian energi pelanggan industri. Sistem ini menjadi fondasi dalam analisis profil beban dan pengelolaan energi berbasis data aktual pelanggan. [20]

2.2. Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurnal, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Penelitian yang Relevan

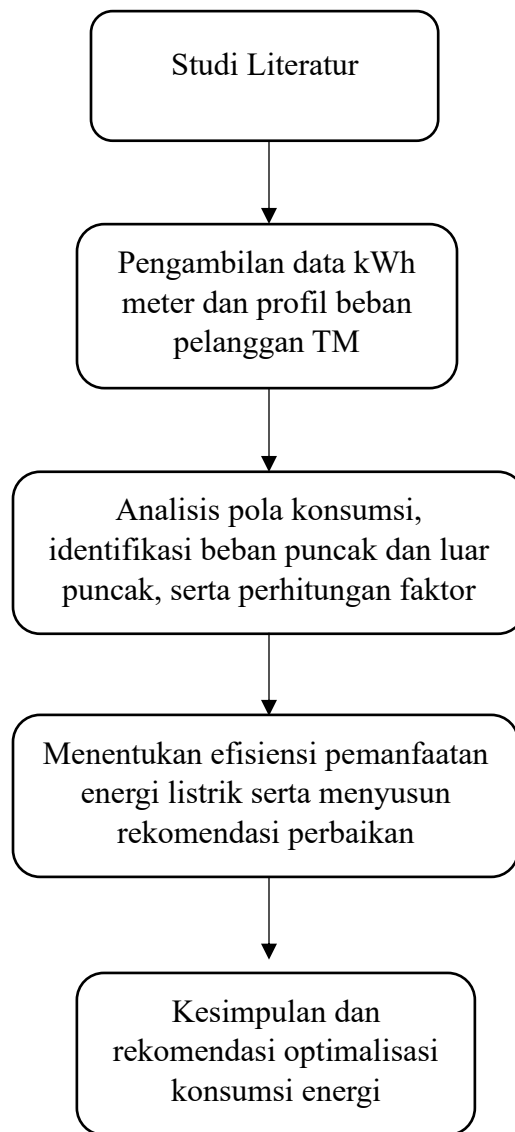
No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	<i>“Optimalisasi Penggantian kWh Meter Bermasalah dalam Upaya Penurunan Susut Non Teknis di PT PLN (Persero) ULP Pacet”</i> [9]	Masalah utama penelitian ini adalah tingginya susut non-teknis akibat kerusakan dan ketidakakuratan alat ukur energi listrik (kWh meter) di wilayah kerja PLN.	Penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif deskriptif melalui identifikasi kWh meter bermasalah, penggantian alat ukur, dan perbandingan data energi sebelum dan sesudah penggantian.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian kWh meter mampu menurunkan susut non-teknis dengan <i>saving</i> energi sebesar 7.562 kWh dan <i>gain</i> Rp7.613.361 dalam satu minggu.	Penelitian ini menyoroti pentingnya keakuratan alat ukur untuk efisiensi energi, namun belum menganalisis pola pemakaian energi listrik pelanggan berdasarkan profil beban sebagaimana dilakukan dalam penelitian ini.
2.	“Akurasi Pengukuran	Masalah utama penelitian ini	Penelitian menggunakan	Hasil penelitian menunjukkan	Penelitian ini hanya

	kWh Meter Analog terhadap Losses Energi Listrik” [10]	adalah terjadinya ketidakakuratan pengukuran energi listrik akibat performa kWh meter analog yang menurun sehingga menyebabkan rugi-rugi (losses) energi.	metode eksperimen laboratorium dengan pengujian tiga merek kWh meter (Melcoinda, Fuji Dharma Electric, dan Sigma Electric).	deviasi tertinggi sebesar - 18,97%, yang menandakan kehilangan energi signifikan. KWh meter dengan deviasi rendah dinilai masih layak digunakan.	membahas ketelitian kWh meter terhadap losses tanpa mengkaji pola pemakaian energi listrik pelanggan secara waktu nyata (profil beban), yang menjadi fokus penelitian ini.
3.	“Penurunan Susut Jaringan dengan Penertiban Pemakaian Tenaga Listrik” [11]	Masalah yang diangkat adalah tingginya susut non-teknis pada jaringan distribusi akibat penggunaan energi listrik ilegal dan kesalahan pembacaan kWh meter pelanggan.	Penelitian menggunakan metode observasi lapangan dan analisis data P2TL (Penertiban Pemakaian Tenaga Listrik).	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegiatan penertiban mampu menurunkan kehilangan energi hingga 13.809,8 kWh per bulan dan mengurangi potensi kerugian keuangan PLN.	Penelitian ini berfokus pada aspek administratif dan penertiban pelanggan, belum menganalisis profil beban pelanggan secara teknis berdasarkan data kWh meter seperti penelitian ini.

4.	“Audit Energi Ruang Administrasi Umum Gedung Student Center Politeknik Negeri Indramayu” [12]	Masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah perlunya evaluasi efisiensi penggunaan energi listrik di gedung kampus yang berpotensi mengalami pemborosan energi pada sistem pencahayaan, pendingin udara, dan peralatan elektronik.	Penelitian menggunakan metode audit energi dengan pendekatan perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) berdasarkan data pemakaian energi listrik dan luas area bangunan.	Hasil penelitian menunjukkan nilai IKE sebesar 54,07 kWh/m ² per tahun, yang tergolong sangat efisien, serta memberikan rekomendasi penghematan melalui optimasi pencahayaan dan manajemen penggunaan listrik.	Penelitian ini menitikberatkan pada audit energi bangunan, sementara penelitian ini fokus pada analisis profil beban dan pola pemakaian energi pelanggan industri menggunakan data kWh meter di jaringan distribusi.
5.	“Analisa Data Hasil Pengukuran Beban Motor Listrik 1 Fasa pada kWh Analog dan	Masalah yang diangkat adalah perbedaan hasil pengukuran energi listrik antara kWh meter analog dan digital yang menimbulkan	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen langsung dengan membandingkan hasil pengukuran	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kWh meter digital memberikan hasil pengukuran lebih teliti dan akurat dengan	Penelitian ini hanya membandingkan dua jenis kWh meter, sementara penelitian ini menggunakan data aktual dari

	kWh Digital” [13]	persepsi masyarakat bahwa kWh meter digital kurang akurat dibandingkan kWh meter analog.	beban motor listrik satu fasa menggunakan kWh meter analog dan digital sebanyak sepuluh kali dalam interval waktu tertentu.	tampilan dua angka desimal, sedangkan kWh meter analog memiliki deviasi lebih besar.	kWh meter digital pelanggan TM untuk menganalisis profil beban dan pola konsumsi energi listrik.
--	-------------------------	--	---	--	--

2.3. Kerangka Pemikiran



Gambar 2.3 Diagram Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran pada Gambar 2.3, penelitian ini diawali dengan studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh landasan teori terkait sistem tenaga listrik, energi listrik, kWh meter, profil beban, serta faktor beban yang menjadi dasar analisis penelitian. Kajian literatur ini memberikan pemahaman konseptual mengenai hubungan antara konsumsi energi, beban listrik, dan efisiensi penggunaan daya.

Tahapan berikutnya adalah pengambilan data kWh meter dan profil beban pelanggan Tegangan Menengah (TM) di wilayah kerja ULP Bagan Batu. Data tersebut diperoleh melalui sistem *Automatic Meter Reading* (AMR) atau *Meter Data Management System* (MDMS) yang merekam penggunaan energi listrik pelanggan secara real time.

Selanjutnya dilakukan analisis pola konsumsi energi listrik berdasarkan data profil beban yang telah dikumpulkan. Pada tahap ini dilakukan identifikasi periode beban puncak dan luar puncak serta perhitungan faktor beban (load factor) untuk menilai tingkat efisiensi pemanfaatan kapasitas daya pelanggan.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, peneliti kemudian menentukan tingkat efisiensi pemanfaatan energi listrik dan menyusun rekomendasi perbaikan konsumsi energi yang dapat diterapkan oleh pelanggan maupun pihak PLN. Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan, di mana hasil analisis diinterpretasikan untuk memberikan gambaran pola konsumsi aktual dan saran optimalisasi penggunaan energi listrik pada pelanggan TM di ULP Bagan Batu.