

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Teori

2.1.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem terintegrasi yang berfungsi untuk menyediakan dan menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkitan hingga ke pengguna akhir secara andal dan berkesinambungan [1]. Sistem ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit disalurkan melalui jaringan transmisi bertegangan tinggi dan selanjutnya diturunkan tegangannya melalui gardu induk dan gardu distribusi sebelum didistribusikan kepada pelanggan.

Secara umum, sistem tenaga listrik terdiri dari berbagai komponen seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, serta beban. Seluruh komponen tersebut saling terhubung dan bekerja secara kontinu untuk memastikan pasokan energi listrik sesuai dengan kebutuhan pelanggan [2]. Keandalan sistem tenaga listrik sangat dipengaruhi oleh kualitas peralatan, pengoperasian sistem, serta pengawasan terhadap pemakaian energi listrik.

Instalasi Pemanfaatan Tenaga Listrik merupakan bagian akhir dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan. Instalasi ini mencakup seluruh peralatan listrik yang digunakan pelanggan dalam memanfaatkan energi listrik. Karena instalasi pelanggan tersebar di berbagai wilayah dan memiliki karakteristik beban yang berbeda-beda, maka diperlukan sistem pengukuran dan pengawasan yang baik agar pemakaian energi dapat tercatat secara akurat dan efisien.

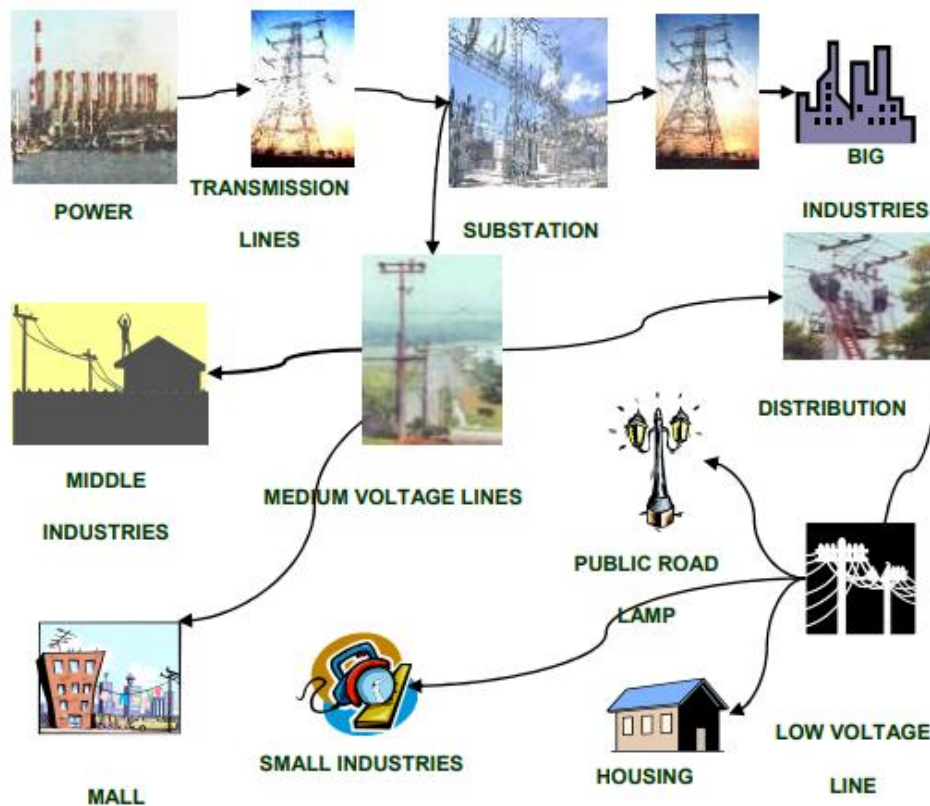
Secara umum, sistem tenaga listrik tersusun atas tiga subsistem utama, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Tahap pembangkitan merupakan proses awal produksi energi listrik yang dilakukan di pusat-pusat pembangkit seperti pembangkit listrik tenaga uap, tenaga air, tenaga gas, tenaga diesel, maupun energi baru terbarukan seperti surya

dan angin. Energi primer yang tersedia diubah menjadi energi listrik melalui proses konversi elektromekanis menggunakan generator. Daya yang dihasilkan kemudian dinaikkan tegangannya menggunakan transformator step-up agar dapat ditransmisikan dalam jarak jauh dengan rugi-rugi daya yang minimal.

Selanjutnya, energi listrik disalurkan melalui jaringan transmisi bertegangan tinggi hingga sangat tinggi. Penggunaan tegangan tinggi pada sistem transmisi bertujuan untuk menekan arus yang mengalir sehingga mengurangi losses akibat tahanan penghantar serta meningkatkan efisiensi penyaluran daya. Di sisi lain, jaringan transmisi juga dilengkapi dengan sistem proteksi, pengaturan beban, dan pengendalian frekuensi guna menjaga stabilitas sistem secara keseluruhan.

Setelah sampai di gardu induk, tegangan listrik diturunkan menggunakan transformator step-down agar sesuai dengan kebutuhan jaringan distribusi. Pada tahap distribusi inilah energi listrik disalurkan melalui jaringan tegangan menengah dan tegangan rendah hingga mencapai pelanggan akhir, baik rumah tangga, komersial, maupun industri. Sistem distribusi memiliki karakteristik beban yang dinamis sehingga memerlukan pengaturan jaringan yang fleksibel, termasuk pengoperasian peralatan seperti pemutus beban, recloser, dan sistem pengendalian jarak jauh untuk menjaga keandalan pasokan.

Dengan demikian, sistem tenaga listrik tidak hanya sekadar rangkaian peralatan teknis, tetapi merupakan suatu sistem kompleks yang membutuhkan koordinasi antara perencanaan, operasi, dan pemeliharaan agar mampu menyediakan energi listrik secara berkesinambungan, efisien, dan memenuhi standar kualitas daya yang telah ditentukan.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

2.1.2 Konsep Teori kWh Meter dan Automatic Meter Reading (AMR)

kWh meter merupakan alat ukur energi listrik yang digunakan untuk mencatat besarnya energi listrik yang dikonsumsi pelanggan dalam satuan kilowatt-hour (kWh). Data hasil pencatatan kWh meter menjadi dasar utama dalam proses penagihan energi listrik serta digunakan sebagai indikator evaluasi pola pemakaian pelanggan [3].

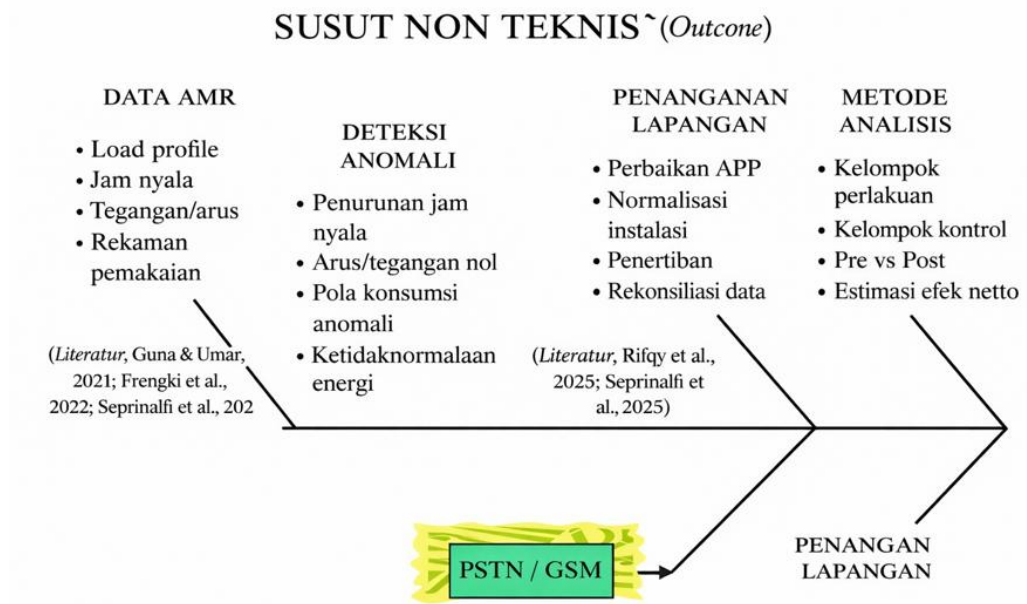
Secara teknis, kWh meter bekerja dengan mengukur daya listrik yang digunakan pada setiap saat, lalu mengakumulasi terhadap waktu pemakaian. Hasil integrasi daya terhadap waktu tersebut menghasilkan nilai energi dalam satuan kWh. Pada sistem konvensional, pengukuran dilakukan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik dengan piringan aluminium yang berputar sebanding dengan daya beban. Sementara itu, pada sistem modern, pengukuran dilakukan secara elektronik menggunakan sensor arus dan tegangan yang diproses oleh rangkaian digital sehingga lebih presisi dan minim kesalahan.

Selain sebagai dasar penagihan, data dari kWh meter juga memiliki fungsi penting dalam analisis teknis dan manajerial. Informasi konsumsi energi dapat digunakan untuk mengevaluasi pola beban pelanggan, mengidentifikasi lonjakan pemakaian, serta mendeteksi potensi ketidakwajaran seperti kehilangan energi atau gangguan instalasi. Pada pelanggan industri, kWh meter bahkan dilengkapi fitur pencatatan waktu beban puncak (WBP) dan luar waktu beban puncak (LWBP) untuk mendukung penerapan tarif berbasis waktu. Dengan demikian, peran kWh meter tidak hanya sebatas alat pencatat konsumsi, tetapi juga menjadi instrumen pengendalian dan evaluasi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang modern dan transparan.

Perkembangan teknologi pengukuran energi listrik telah menghasilkan sistem pengukuran berbasis digital yang mampu merekam data secara lebih detail dibandingkan meter konvensional. Sistem Automatic Meter Reading (AMR) merupakan salah satu bentuk modernisasi sistem pengukuran tersebut.

Automatic Meter Reading (AMR) adalah sistem pembacaan meter secara otomatis melalui media komunikasi data seperti GSM, GPRS, PLC, atau radio frekuensi. Sistem ini memungkinkan data pemakaian energi pelanggan dikirimkan secara berkala ke server pusat tanpa memerlukan pembacaan manual di lokasi pelanggan.

Data yang diperoleh melalui sistem AMR tidak hanya terbatas pada energi aktif (kWh), tetapi juga mencakup parameter lain seperti arus tiap fasa, tegangan tiap fasa, daya aktif, daya reaktif, faktor daya, load profile, histori pemakaian energi, serta berbagai event log yang berkaitan dengan kondisi pengukuran. Dengan kelengkapan parameter tersebut, sistem AMR tidak hanya berfungsi sebagai alat pencatat energi, melainkan juga sebagai sistem monitoring berbasis data yang mendukung pengawasan pemakaian energi secara lebih komprehensif [4].



Gambar 2.2 Fishbone diagram

2.1.3 Susut Energi Listrik

Susut energi listrik merupakan selisih antara energi listrik yang disalurkan atau disediakan oleh PLN dengan energi listrik yang tercatat sebagai penjualan kepada pelanggan . Besarnya susut energi menjadi indikator penting dalam menilai efisiensi sistem distribusi tenaga listrik. Semakin kecil nilai susut energi, maka semakin efisien pengelolaan sistem kelistrikan [5].

Dalam praktiknya, susut energi tidak sepenuhnya dapat dihindari karena sebagian berasal dari faktor teknis, seperti rugi-rugi penghantar akibat tahanan kabel, rugi transformator, pemanasan konduktor, serta ketidakseimbangan beban antar fasa. Namun demikian, terdapat pula susut non-teknis yang disebabkan oleh faktor administrasi maupun penyimpangan, seperti kesalahan pencatatan meter, ketidakakuratan alat ukur, hingga pemakaian listrik yang tidak sah. Oleh karena itu, analisis susut energi perlu dilakukan secara menyeluruh untuk membedakan antara kerugian yang bersifat alami secara teknis dan kerugian yang timbul akibat faktor eksternal.

Besarnya nilai susut energi menjadi salah satu parameter utama dalam menilai kinerja dan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik. Tingkat losses yang tinggi menunjukkan adanya potensi permasalahan pada jaringan, baik dari sisi infrastruktur maupun pengawasan operasional. Sebaliknya, semakin kecil persentase susut energi, maka semakin baik pengelolaan jaringan, karena energi yang dibangkitkan dan disalurkan dapat dimanfaatkan secara optimal oleh pelanggan.

Dari sudut pandang ekonomi, susut energi juga berimplikasi langsung terhadap pendapatan perusahaan listrik. Energi yang tidak tercatat sebagai penjualan berarti potensi pendapatan yang hilang. Oleh sebab itu, pengendalian susut energi menjadi prioritas strategis melalui perbaikan kualitas jaringan, pemeliharaan rutin, peningkatan akurasi sistem metering, serta penerapan teknologi pemantauan berbasis digital. Dengan pengelolaan yang tepat, efisiensi distribusi dapat ditingkatkan sekaligus menjaga keberlanjutan sistem ketenagalistrikan secara keseluruhan.

Susut energi listrik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu susut teknis dan susut non teknis.

a. Susut Teknis

Susut teknis terjadi akibat karakteristik alami sistem tenaga listrik, seperti rugi-rugi daya pada jaringan transmisi dan distribusi, transformator, konduktor, serta peralatan listrik lainnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi susut teknis antara lain panjang jaringan, beban arus, kualitas peralatan, serta kondisi fisik instalasi.

b. Susut Non Teknis

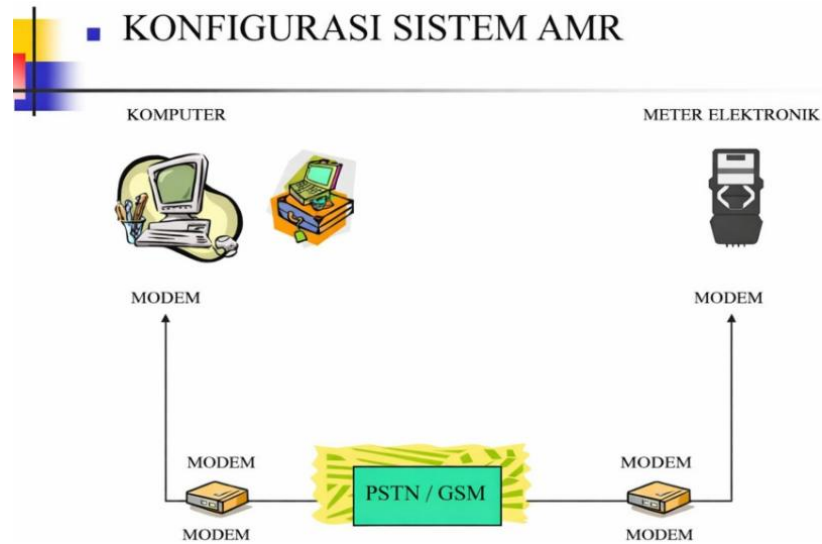
Susut non teknis merupakan susut energi yang tidak disebabkan oleh faktor teknis jaringan, melainkan oleh faktor manusia dan administratif. Susut ini dapat terjadi akibat kesalahan pencatatan meter, ketidaksesuaian alat ukur, kesalahan administrasi, maupun pemakaian listrik yang tidak sah. Susut non teknis memiliki dampak langsung terhadap kerugian energi dan pendapatan perusahaan sehingga perlu dikendalikan secara berkelanjutan [6].

Rumus umum untuk menghitung susut total adalah:

2.1.4 Automatic Meter Reading (AMR)

Automatic Meter Reading (AMR) adalah sistem pembacaan kWh meter pelanggan secara otomatis dan jarak jauh melalui jaringan komunikasi seperti GSM, PLC, atau radio frekuensi. Sistem ini memungkinkan pengumpulan data pemakaian energi secara terpusat tanpa harus melakukan pembacaan manual secara langsung di lokasi pelanggan [7]. Dalam implementasinya, AMR memanfaatkan berbagai media komunikasi seperti jaringan GSM/GPRS, Power Line Carrier (PLC), maupun radio frekuensi (RF) untuk mentransmisikan data dari meter pelanggan ke server pusat. Perangkat meter yang digunakan biasanya telah dilengkapi modul komunikasi dan memori penyimpanan data, sehingga mampu merekam histori pemakaian energi dalam interval waktu tertentu, misalnya per jam atau per hari. Data tersebut kemudian dikirim secara berkala atau sesuai kebutuhan operator sistem. Selain berfungsi untuk pencatatan konsumsi energi, AMR juga mendukung pemantauan parameter kelistrikan lainnya seperti tegangan, arus, faktor daya, serta indikasi gangguan atau pemadaman. Hal ini memberikan keuntungan tambahan bagi perusahaan listrik dalam melakukan pengawasan beban dan deteksi dini terhadap potensi anomali, termasuk kemungkinan kehilangan energi non-teknis. Dengan tersedianya data yang lebih rinci dan real-time, proses evaluasi kinerja jaringan distribusi dapat dilakukan secara lebih komprehensif. Dari sisi pelayanan pelanggan, penerapan AMR meningkatkan transparansi dan akurasi tagihan karena perhitungan didasarkan pada data aktual yang tercatat otomatis oleh sistem. Selain itu, teknologi ini juga menjadi langkah awal menuju pengembangan sistem yang lebih canggih seperti Advanced Metering Infrastructure (AMI), yang memungkinkan komunikasi dua arah antara penyedia listrik dan pelanggan. Dengan demikian, AMR tidak hanya sekadar alat bantu pembacaan meter, tetapi juga bagian dari transformasi digital dalam pengelolaan sistem tenaga listrik modern.

Fungsi utama sistem AMR antara lain. Melakukan pembacaan kWh meter pelanggan secara otomatis dan berkala , Mengirimkan data pemakaian energi ke sistem pusat PLN, Menyimpan histori pemakaian pelanggan sebagai bahan evaluasi, Memberikan indikasi awal adanya kelainan atau anomali pemakaian [8].



Gambar 2.3 Skema Sistem Automatic Meter Reading (AMR)

Penerapan AMR sangat relevan pada pelanggan berdaya besar (≥ 13.200 VA) karena kelompok pelanggan ini memiliki kontribusi signifikan terhadap total penjualan energi listrik dan potensi susut non teknis yang relatif besar [9] .

2.1.5 Komponen-Komponen Sistem AMR

Sistem Sistem Automatic Meter Reading (AMR) terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi dan bekerja secara simultan untuk memastikan proses pencatatan, pengiriman, serta pengolahan data pemakaian energi listrik pelanggan dapat berjalan secara akurat dan berkesinambungan [10]. Komponen utama dalam sistem AMR meliputi kWh meter elektronik, modem komunikasi, jaringan komunikasi, antena, server dan basis data, serta aplikasi monitoring [11].

a.Modem

Perangkat elektronik yang terdiri dari modulator dan demodulator, dengan menggunakan catudaya tertentu berfungsi untuk menggabungkan dan memisahkan data hasil pengukuran meter elektronik dengan gelombang pembawa (sarana komunikasi) yang dipancarkan dalam bentuk gelombang radio pada frekuensi tertentu melalui sebuah antena sehingga data tersebut dapat dikirim dan diterima dari dan di tempat yang berbeda (SPLN, 2013).

Modem pada sistem AMR bertugas sebagai sarana komunikasi pengirim hasil pembacaan pengukuran energi listrik yang dilakukan oleh kWh meter elektronik. PT PLN (Persero) ULP Manggar menggunakan beberapa merek modem yaitu HEXING (HXM300), SANXING (CSI-21P), ELIPS (NG-1). Ketiga jenis modem tersebut merupakan dapat bekerja di jaringan 2G, 3G, dan 4G LTE



Gambar 2.4 Modem AMR merek Elips NG-1

b.GSM

Global System for Mobile communication adalah sebuah teknologi komunikasi seluler yang bersifat digital. Teknologi ini memanfaatkan gelombang mikro dan pengiriman sinyal yang dibagi berdasarkan waktu, sehingga sinyal informasi yang dikirim akan sampai



Gambar 2.5 GSM merek Telkomsel dengan jaringan 4G

pada tujuan (Fauzi et al., 2021). GSM ini kemudian dimasukkan kedalam modem sebagai sarana telekomunikasi pengirim sinyal melalui jaringan berfrekuensi tertentu

c. Antena

Bagian dari modem yang berfungsi untuk menerima dan memancarkan gelombang radiopada frekuensi tertentu. Antena pada system AMR berfungsi untuk menangkap sinyal yang dipancarkan oleh tower telekomunikasi.



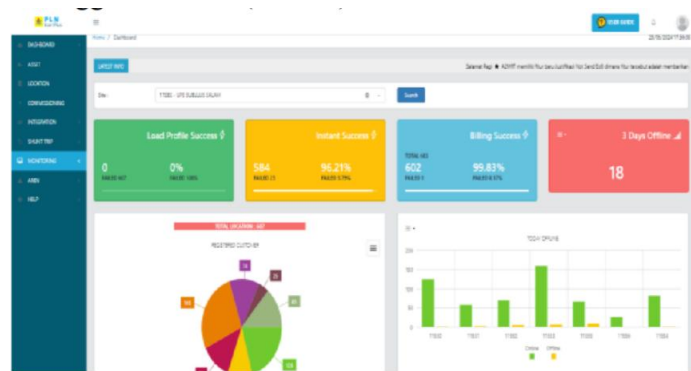
Gambar 2.6 Antena untuk modem AMR

d. Komputer Server

Penggunaan komputer pada sistem AMR adalah sebagai kendali dan ruang penyimpanan hasil dari pembacaan kWh meter.

e. Website A2MRT

Aplikasi Automatic Meter Reading atau A2MRT adalah aplikasi yang digunakan untuk mengakses dan mengendalikan sistem AMR pada pelanggan. Aplikasi ini juga disebut AMICON di PT PLN (Persero). Pada aplikasi dilengkapi dengan fitur seperti penarikan data load profile, akses data instant, commissioning, dan database asset pelanggan AMR.



Gambar 2.7 Tampilan aplikasi A2MRT (AMICON)

kWh meter elektronik berfungsi sebagai alat ukur utama yang mencatat besarnya energi listrik yang digunakan pelanggan. Meter ini memiliki kemampuan digital sehingga data pemakaian energi dapat direkam secara detail dan siap dikirimkan ke sistem pusat. Data yang dicatat tidak hanya berupa energi aktif, tetapi juga parameter pendukung lainnya yang dapat digunakan sebagai indikator kondisi pemakaian listrik pelanggan.

Modem komunikasi berperan sebagai media penghubung antara kWh meter dengan sistem pusat PLN. Modem ini mengirimkan data pemakaian energi melalui jaringan komunikasi yang tersedia, seperti jaringan seluler atau media komunikasi lainnya. Keberadaan jaringan komunikasi dan antena sangat menentukan kelancaran pengiriman data, karena kestabilan sinyal akan berpengaruh terhadap kontinuitas pembacaan meter secara otomatis.

Server dan basis data berfungsi sebagai pusat pengolahan dan penyimpanan seluruh data pemakaian energi pelanggan yang diperoleh dari sistem AMR. Data yang tersimpan pada server ini kemudian dapat diakses oleh petugas PLN untuk keperluan monitoring, evaluasi pemakaian, serta pengawasan energi listrik.

Aplikasi monitoring AMR yang digunakan oleh PLN, seperti AMICON atau A2MRT, berfungsi sebagai antarmuka bagi petugas dalam mengakses data AMR. Melalui aplikasi ini, petugas dapat melihat status komunikasi meter, histori pemakaian energi, serta indikasi awal adanya anomali pemakaian. Dalam penelitian ini, aplikasi AMR diposisikan sebagai alat bantu pengawasan dan evaluasi pemakaian energi, bukan sebagai objek analisis teknis mendalam terhadap karakteristik kelistrikan pelanggan.

2.1.6 Jenis dan Kriteria Anomali dalam Sistem AMR

Salah satu keunggulan utama sistem AMR adalah kemampuannya dalam memberikan indikasi awal terhadap anomali atau ketidakwajaran pemakaian energi listrik pelanggan [12]. Anomali tersebut merupakan kondisi yang menyimpang dari pola pemakaian normal dan dapat menjadi indikasi awal adanya gangguan pengukuran, kesalahan instalasi, maupun potensi susut non teknis. Kondisi yang menyimpang dari pola

normal inilah yang disebut sebagai anomali. Dalam konteks operasional, anomali dapat menjadi sinyal awal adanya permasalahan pada sistem pengukuran, seperti ketidakakuratan meter, gangguan sensor arus atau tegangan, maupun kesalahan pemasangan instalasi. Selain itu, penyimpangan data juga dapat mengindikasikan kemungkinan terjadinya susut energi non-teknis, misalnya akibat manipulasi meter atau pemakaian listrik yang tidak tercatat.

Keunggulan AMR dalam hal ini terletak pada kemampuannya menyajikan data secara real time atau mendekati waktu nyata, sehingga proses identifikasi tidak harus menunggu akhir periode penagihan. Operator dapat melakukan analisis profil beban harian, membandingkan konsumsi antarperiode, hingga memanfaatkan parameter pendukung seperti tegangan, arus, dan faktor daya untuk memastikan validitas data. Dengan pendekatan berbasis data tersebut, tindak lanjut dapat dilakukan lebih cepat, baik dalam bentuk inspeksi lapangan maupun pengujian ulang peralatan ukur.

Dengan demikian, fungsi AMR tidak hanya terbatas pada pencatatan energi untuk keperluan penagihan, tetapi juga berperan sebagai alat monitoring yang mendukung peningkatan keandalan sistem distribusi. Deteksi dini terhadap anomali membantu meminimalkan potensi kerugian, menjaga akurasi pengukuran, serta memperkuat pengawasan terhadap kualitas pelayanan tenaga listrik secara keseluruhan.

Dalam pengoperasian sistem AMR, penyimpangan data dapat muncul dalam berbagai bentuk yang berkaitan dengan parameter kelistrikan maupun proses pengukuran itu sendiri. Salah satu indikasi yang sering terpantau adalah nilai tegangan atau arus yang berada di luar rentang standar pelayanan. Selain itu, sistem juga dapat mendeteksi ketidaksesuaian arah aliran arus, misalnya ketika arus terbaca terbalik akibat kesalahan pemasangan CT (Current Transformer) atau gangguan instalasi. Gangguan lain yang mungkin terjadi adalah tidak sinkronnya pencatatan energi, di mana data yang terekam tidak mencerminkan kondisi beban sebenarnya.

Beberapa anomali yang umum teridentifikasi melalui AMR meliputi kondisi over voltage dan under voltage. Over voltage terjadi ketika tegangan suplai melebihi batas toleransi yang ditetapkan, sedangkan under voltage terjadi ketika tegangan turun di bawah

nilai nominal. Dalam sistem distribusi tegangan rendah, batas toleransi umumnya berada pada kisaran $\pm 5\%$ hingga $\pm 10\%$ dari tegangan nominal, tergantung standar yang berlaku. Apabila tegangan terlalu tinggi, peralatan listrik pelanggan berisiko mengalami pemanasan berlebih dan penurunan umur pakai. Sebaliknya, tegangan yang terlalu rendah dapat menyebabkan motor listrik bekerja tidak optimal, meningkatkan arus, dan berpotensi menimbulkan kerusakan.

Dari sisi pengukuran energi, kondisi tegangan dan arus yang tidak stabil juga dapat memengaruhi akurasi pencatatan kWh meter, terutama jika fluktuasi berlangsung dalam durasi yang panjang. Selain itu, anomali seperti kehilangan salah satu fasa pada sistem tiga fasa, ketidakseimbangan beban antar fasa, serta faktor daya yang sangat rendah juga dapat terdeteksi melalui parameter yang dikirim oleh AMR. Informasi tersebut sangat penting untuk analisis teknis lebih lanjut, karena tidak hanya berkaitan dengan kualitas daya (power quality), tetapi juga dengan potensi susut energi dan keandalan jaringan.

Dengan kemampuan pemantauan yang detail, AMR membantu operator dalam melakukan evaluasi kondisi jaringan secara lebih cepat dan akurat. Data anomali yang terekam dapat dijadikan dasar untuk tindakan korektif, seperti penyeimbangan beban, pemeriksaan instalasi pelanggan, maupun perbaikan sistem distribusi. Pendekatan ini mendukung peningkatan mutu layanan listrik sekaligus meminimalkan risiko gangguan yang dapat merugikan baik penyedia maupun pelanggan.

Selain itu, anomali berupa arus terbalik dapat terjadi akibat kesalahan pengawatan atau pemasangan meter yang tidak sesuai, sehingga energi yang digunakan pelanggan tidak tercatat secara semestinya. Ketidakseimbangan arus antar fasa juga sering ditemukan pada pelanggan tiga fasa dan dapat mengindikasikan adanya ketidakwajaran dalam distribusi beban.

Anomali lain yang dapat terdeteksi adalah temporary stop measurement, yaitu kondisi di mana tegangan dan arus terukur ada, namun pencatatan energi tidak bertambah. Perbedaan waktu pencatatan antara meter dan sistem pusat juga dapat terjadi dan berpotensi menyebabkan data pemakaian tidak sinkron. Deteksi terhadap anomali-anomali tersebut

tidak serta-merta membuktikan adanya pelanggaran, namun berfungsi sebagai indikator awal yang digunakan untuk menentukan prioritas pemeriksaan lapangan secara lebih terarah [13].

AMICON atau A2MRT memiliki fitur "Pemeriksaan Suspect" untuk mengidentifikasi pelanggan aktif yang kWh Meter 3 Fasanya menunjukkan anomali sesuai kriteria yang ditetapkan. Jika tidak ditangani melalui pemeliharaan dan perbaikan, anomali tersebut berpotensi mengakibatkan kegagalan dalam pembacaan data AMR. Anomali yang terdapat pada fitur "Pemeriksaan Suspect" pada AMICON yaitu :

Tabel 2.1 Anomali yang ada pada AMICOM

No.	Kategori	Deskripsi
1	<i>Over Voltage</i>	Kondisi dimana nilai tegangan yang terukur pada meter pelanggan melebihi batas atas tegangan yang diizinkan.
2	<i>Under Voltage</i>	Kondisi dimana nilai tegangan yang terukur pada meter pelanggan kurang dari batas bawah tegangan dan di atas nilai nominal kriteria <i>interruption</i> .
3	<i>Over Current</i>	Kondisi dimana nilai arus yang terukur pada meter melebihi nilai arus berdasarkan daya kontrak.
4	Arus Terbalik	Kondisi dimana pengawatan arus sedemikian rupa sehingga arus yang terjadi berarah terbalik.
5	<i>Unbalance Current</i>	Kondisi dimana nilai ketidak seimbangan arus melebihi nilai maksimum persentase batas ketidak seimbangan arus
6	Tegangan dan arus tidak pada <i>phase</i> yang sama	Kondisi dimana pengawatan arus dan atau tegangan sedemikian rupa sehingga pasangan arus dan tegangan yang terjadi tidak pada <i>phase</i> yang sama.

No.	Kategori	Deskripsi
7	<i>Temporary Stop Measurment</i>	Kondisi dimana nilai tegangan dan arus terukur akan tetapi nilai energinya tidak terukur atau sama dengan nol.
8	<i>Time Different</i>	Kondisi dimana waktu yang tercatat pada meter dan server memiliki perbedaan waktu dan melebihi batas toleransi maksimum.
9	<i>Voltage Loses</i>	Kondisi dimana nilai tegangan yang terukur pada meter pelanggan (data <i>Load Profile</i>) sama dengan nol.
10	<i>Current Loses</i>	Kondisi dimana nilai tegangan yang terukur pada meter pelanggan (data <i>Load Profile</i>) sama dengan nol.

2.1.7 Peran AMR dalam Menurunkan Susut Non Teknis

Pemanfaatan sistem Automatic Meter Reading (AMR) memberikan kontribusi yang nyata dalam mendukung pengendalian susut non-teknis di lingkungan PT PLN (Persero). Melalui mekanisme pencatatan meter yang berlangsung otomatis dan dapat diakses dari jarak jauh, proses pengumpulan data konsumsi energi menjadi lebih presisi dan konsisten dari waktu ke waktu. Pendekatan ini secara langsung mengurangi ketergantungan pada pembacaan manual, yang dalam praktiknya berisiko menimbulkan kekeliruan akibat faktor kelelahan petugas, salah input angka, maupun keterlambatan pelaporan.

Lebih dari sekadar alat pencatat, AMR berfungsi sebagai sistem pemantauan yang mampu menampilkan profil beban pelanggan secara berkala. Dari data tersebut dapat terlihat pola konsumsi harian, mingguan, hingga bulanan. Ketika terjadi penyimpangan yang tidak sesuai dengan karakteristik usaha atau kebiasaan pemakaian pelanggan, sistem akan memberikan indikasi awal adanya ketidakwajaran. Informasi ini sangat penting dalam mendeteksi potensi gangguan pengukuran, kesalahan instalasi, maupun indikasi penyimpangan pemakaian energi yang termasuk kategori susut non-teknis.

Dengan tersedianya data berbasis sistem, kegiatan pengawasan tidak lagi dilakukan secara acak atau menyeluruh terhadap seluruh pelanggan. Petugas dapat menentukan prioritas pemeriksaan lapangan berdasarkan tingkat risiko yang teridentifikasi dari hasil analisis AMR. Strategi ini menjadikan proses pengawasan lebih terarah, efisien, serta hemat sumber daya, karena inspeksi difokuskan pada pelanggan yang benar-benar menunjukkan gejala anomali.

Dalam lingkup penelitian ini, AMR ditempatkan sebagai instrumen pendukung pengambilan keputusan, khususnya dalam pengawasan pelanggan berdaya besar di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Manggar. Pelanggan dengan daya besar memiliki kontribusi signifikan terhadap total energi yang disalurkan, sehingga setiap potensi kehilangan energi pada segmen ini akan berdampak langsung terhadap kinerja distribusi dan pendapatan perusahaan. Oleh sebab itu, optimalisasi pemanfaatan AMR diharapkan mampu memperkuat strategi pengendalian susut secara sistematis dan berkelanjutan.

Secara konseptual, susut distribusi merupakan selisih antara energi listrik yang disalurkan pada sisi hulu jaringan dengan energi yang tercatat sebagai penjualan kepada konsumen. Kerugian ini dapat bersumber dari rugi-rugi teknis seperti pemanasan konduktor dan rugi transformator, maupun dari faktor non-teknis seperti kesalahan pencatatan dan pemakaian tidak sah. Besarnya nilai susut menjadi salah satu indikator kinerja utama perusahaan, karena semakin tinggi persentasenya maka semakin rendah tingkat efisiensi sistem distribusi.

Rumus perhitungan susut total adalah sebagai berikut :

Susut total = kWh Beli – (kWh jual TT + kWh jual TM + kWh jual TR) – Pemakaian Sendiri

Secara umum, kehilangan energi listrik dalam sistem tenaga dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori utama, yaitu susut teknis dan susut non-teknis. Pengelompokan ini didasarkan pada sumber penyebab terjadinya kehilangan energi tersebut, apakah berasal dari karakteristik fisik jaringan atau dari faktor di luar aspek teknis jaringan.

Susut teknis muncul sebagai konsekuensi alami dari proses penyaluran energi listrik

melalui peralatan dan penghantar. Setiap komponen dalam sistem pembangkitan, transmisi, dan distribusi memiliki impedansi, baik berupa tahanan (resistansi), reaktansi induktif, maupun kapasitif. Ketika arus listrik mengalir melalui impedansi tersebut, sebagian energi akan berubah menjadi panas sesuai prinsip rugi daya I^2R . Kehilangan ini terjadi pada generator, transformator, saluran transmisi, hingga jaringan distribusi tegangan menengah dan rendah. Selain rugi penghantar, terdapat pula rugi inti dan rugi tembaga pada transformator, serta rugi akibat ketidakseimbangan beban antar fasa. Susut jenis ini tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, namun dapat ditekan melalui desain jaringan yang optimal, pemilihan material yang sesuai, serta pengaturan pembebanan yang seimbang.

Di sisi lain, susut non-teknis berkaitan dengan energi listrik yang telah digunakan tetapi tidak tercatat sebagai penjualan resmi. Kehilangan ini dapat terjadi akibat kesalahan administrasi, ketidakakuratan alat ukur, manipulasi meter, sambungan ilegal, maupun pemakaian listrik oleh pihak yang tidak terdaftar sebagai pelanggan. Berbeda dengan susut teknis yang bersifat fisik, susut non-teknis lebih dipengaruhi oleh aspek pengawasan, sistem pencatatan, serta perilaku pengguna. Oleh karena itu, pengendaliannya menuntut pendekatan manajerial dan teknologi, seperti penerapan sistem metering digital, audit energi berkala, serta peningkatan pengawasan lapangan.

Pemisahan antara susut teknis dan non-teknis penting dilakukan karena strategi penanganannya berbeda. Susut teknis lebih banyak ditangani melalui rekayasa sistem dan peningkatan kualitas infrastruktur, sedangkan susut non-teknis memerlukan penguatan sistem kontrol, validasi data, serta penegakan aturan. Dengan memahami karakteristik masing-masing jenis susut, upaya peningkatan efisiensi dan pengamanan pendapatan dalam sistem distribusi tenaga listrik dapat dilakukan secara lebih terarah dan efektif.

A. Susut Teknis

Susut teknis merupakan kehilangan energi listrik yang timbul secara alami sebagai konsekuensi dari proses penyaluran daya di dalam sistem distribusi. Besarnya susut ini dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis, di antaranya kondisi dan umur transformator, ukuran atau luas penampang penghantar, besarnya arus yang mengalir pada penghantar

netral, kualitas sambungan atau konektor, serta panjang jaringan yang dilalui arus listrik. Transformator yang telah beroperasi dalam jangka waktu lama umumnya mengalami peningkatan rugi-rugi inti dan rugi tembaga. Demikian pula, kabel dengan penampang yang tidak memadai terhadap beban akan menimbulkan rugi daya lebih besar akibat tahanan penghantar yang tinggi.

Arus netral yang berlebihan, terutama pada sistem tiga fasa yang tidak seimbang, juga dapat meningkatkan rugi-rugi karena menambah arus total yang mengalir di jaringan. Selain itu, sambungan yang kurang baik atau konektor yang kendur dapat menimbulkan tahanan kontak (contact resistance) yang memicu pemanasan lokal. Semakin panjang jaringan distribusi, semakin besar pula rugi-rugi akibat efek resistansi, karena secara prinsip rugi daya pada penghantar sebanding dengan kuadrat arus dikalikan tahanan (I^2R). Oleh sebab itu, perencanaan konfigurasi jaringan dan pemilihan material sangat menentukan tingkat efisiensi sistem.

Secara karakteristik, susut teknis tidak dapat dihilangkan sepenuhnya karena merupakan konsekuensi fisik dari hukum kelistrikan, khususnya akibat perubahan sebagian energi listrik menjadi panas. Kehilangan ini terjadi di seluruh rantai penyaluran, mulai dari Jaringan Tegangan Tinggi (JTT), Gardu Induk (GI), Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi (GD), Jaringan Tegangan Rendah (JTR), hingga Sambungan Rumah (SR) dan Alat Pengukur dan Pembatas (APP). Setiap elemen tersebut memiliki kontribusi rugi-rugi yang berbeda, tergantung kapasitas, kondisi operasi, dan tingkat pembebanan.

Walaupun tidak dapat dihapuskan sepenuhnya, susut teknis tetap dapat ditekan melalui langkah-langkah rekayasa, seperti penyeimbangan beban antar fasa, peningkatan kualitas sambungan, penggantian penghantar dengan penampang yang sesuai, serta pemeliharaan berkala transformator dan peralatan distribusi. Optimalisasi faktor daya pelanggan juga berperan penting dalam mengurangi arus yang mengalir di jaringan sehingga menekan rugi I^2R . Dengan pengelolaan teknis yang baik, tingkat susut dapat dijaga dalam batas standar yang ditetapkan, sehingga efisiensi sistem distribusi tetap terpelihara dan kualitas pelayanan kepada pelanggan tetap terjamin.

Penyebab susut dapat diketahui dari rumus berikut:

$$P_{\text{loss}} = I^2 R T \quad (2.1)$$

Komponen utama dari persamaan tersebut adalah I (Ampere) yakni besarnya arus beban yang mengalir pada sistem distribusi dan R (Ohm) yakni besarnya nilai tahanan penghantar pada suatu sistem distribusi (Ariyanti dan Widharto, 2019).

Besarnya nilai tahanan dapat diketahui menggunakan rumus berikut

Keterangan :

ρ = massa jenis penghantar

L = Panjang penghantar

A = Luas penampang

Untuk menghitung nilai susut teknis total, dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Susut Teknis} = I^2 R (\text{JTM}) + \text{Susut Trafo} + I^2 R (\text{JTR}) + I^2 R (\text{SR}) \quad (2.2)$$

B. Susut Non Teknis

Susut non-teknis adalah kehilangan energi listrik yang tidak berkaitan langsung dengan karakteristik fisik jaringan, melainkan dipicu oleh faktor administratif maupun perilaku pengguna. Beberapa penyebab yang sering ditemui antara lain kekeliruan dalam pembacaan meter pelanggan, manipulasi atau penggunaan listrik secara ilegal, serta pemasangan penerangan jalan umum tanpa pencatatan resmi. Kondisi-kondisi tersebut menyebabkan energi yang sebenarnya telah disalurkan tidak seluruhnya tercatat sebagai penjualan.

Berbeda dengan susut teknis yang muncul akibat hukum kelistrikan, susut non-teknis pada dasarnya dapat ditekan melalui pengawasan dan sistem kontrol yang efektif. Untuk mengidentifikasi potensi penyimpangan, diperlukan analisis berbasis data historis konsumsi pelanggan. Dengan membandingkan pola pemakaian dari waktu ke waktu, dapat terlihat perubahan yang tidak wajar, seperti penurunan drastis konsumsi tanpa alasan operasional yang jelas atau fluktuasi beban yang tidak sesuai dengan karakteristik usaha pelanggan. Dari situ dapat ditelusuri kemungkinan adanya energi yang tidak terukur oleh kWh meter, baik karena gangguan alat ukur maupun intervensi eksternal.

Selain itu, evaluasi susut non-teknis juga penting untuk menghitung besarnya potensi kerugian finansial yang ditanggung oleh PT PLN (Persero). Energi yang tidak tercatat berarti pendapatan yang seharusnya diterima perusahaan menjadi hilang. Oleh karena itu, analisis ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga strategis dalam menjaga kesehatan keuangan perusahaan.

Upaya penanganan susut non-teknis dapat dilakukan melalui peningkatan akurasi sistem metering, pemanfaatan teknologi pembacaan jarak jauh, audit energi secara berkala, serta penertiban instalasi tidak resmi. Pendekatan yang terintegrasi antara analisis data, pengawasan lapangan, dan edukasi pelanggan menjadi kunci dalam menekan angka susut non-teknis secara berkelanjutan. Dengan demikian, efisiensi distribusi dapat ditingkatkan sekaligus menjaga keadilan dan transparansi dalam pemakaian energi listrik.

Untuk menghitung nilai susut non teknis, dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Susut Non Teknis} = \text{Susut Total} - \text{Susut Teknis}$$

2.1.8 Deviasi Tegangan

Deviasi tegangan adalah penyimpangan nilai tegangan aktual terhadap tegangan nominal. Standar toleransi tegangan distribusi umumnya $\pm 5\%$ dari nominal [6].

Rumus deviasi:

$$\%Deviasi = \frac{V_{aktual} - V_{nominal}}{V_{nominal}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Deviasi tegangan yang besar dapat menyebabkan:

- Penurunan efisiensi peralatan
- Gangguan motor listrik
- Kesalahan pencatatan energi

Penelitian oleh Bollen (Understanding Power Quality Problems) [7] menunjukkan bahwa deviasi tegangan berkepanjangan dapat memengaruhi sistem pengukuran energi elektronik.

2.1.9 Ketidakseimbangan Beban dan Dampaknya terhadap Losses

Ketidakseimbangan beban dalam sistem distribusi tiga fasa merupakan salah satu penyebab utama peningkatan rugi-rugi daya dan penurunan kualitas daya. Ketika beban antar fasa tidak seimbang, arus netral meningkat dan menyebabkan tambahan rugi-rugi resistif pada konduktor netral.

Menurut penelitian oleh Emanuel et al. (1995) [14], ketidakseimbangan tegangan sebesar 5% dapat meningkatkan rugi daya hingga 20% pada sistem tiga fasa. Kondisi ini terjadi karena distribusi arus yang tidak merata menyebabkan peningkatan arus pada fasa tertentu.

Secara matematis, rugi daya akibat ketidakseimbangan dapat ditulis:

$$P_{loss} = I_R^2 R + I_S^2 R + I_T^2 R \quad (2.4)$$

Ketika salah satu arus fasa lebih besar akibat unbalance, total rugi daya sistem meningkat secara signifikan.

2.1.10 Pengaruh Deviasi Tegangan terhadap Akurasi Meter Elektronik

Meter elektronik modern bekerja berdasarkan pengukuran tegangan dan arus secara simultan melalui sensor internal. Menurut penelitian oleh Cataliotti et al. (2008) [15], deviasi tegangan ekstrem dapat menyebabkan error pengukuran pada meter elektronik hingga 1–2% tergantung kelas akurasi meter.

Kesalahan ini dapat diperbesar apabila terjadi kombinasi antara:

- Tegangan rendah
- Faktor daya tidak stabil
- Distorsi harmonik

Hal ini menunjukkan bahwa deviasi tegangan tidak hanya berdampak pada peralatan pelanggan, tetapi juga pada akurasi sistem pengukuran energi.

2.1.11 Error Measurement pada Sistem Pengukuran Energi

Kesalahan pengukuran (measurement error) dibagi menjadi:

1. Error sistematis

2. Error acak
3. Error akibat gangguan kualitas daya

Menurut ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) [16], akurasi alat ukur sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan operasional, termasuk stabilitas tegangan.

Penelitian oleh Ferrero et al. (2010) [17] menyatakan bahwa fluktuasi tegangan dan unbalance dapat menyebabkan bias pengukuran pada meter tiga fasa, khususnya pada sistem dengan CT/PT eksternal.

2.2 Penelitian yang Relevan

Beberapa penelitian dan kajian terdahulu telah dilakukan terkait pemanfaatan Automatic Meter Reading (AMR) dalam mendeteksi kelainan pemakaian energi listrik serta sebagai upaya menurunkan susut non teknis, sehingga penelitian-penelitian tersebut menjadi dasar dan acuan dalam penyusunan proposal tugas akhir ini. Penelitian yang dilakukan oleh Rachmawati, A. dan Nugroho, D. mengenai analisis susut non teknis berdasarkan load profile dan jam nyala pada pelanggan AMR PT PLN (Persero) UP3 Bima menunjukkan bahwa melalui analisis jam nyala dan load profile pelanggan AMR menggunakan aplikasi AP2T, PLN dapat mendeteksi anomali pengukuran dengan cepat, khususnya pada pelanggan besar yang mengalami penurunan jam nyala secara drastis, sehingga susut non teknis dapat ditekan melalui pemeriksaan terarah terhadap pelanggan yang dicurigai bermasalah. Selanjutnya, penelitian oleh Rifqy, Bandri S. dan Anthony Z.

Menjelaskan bahwa pemasangan sistem AMR pada kWh meter pelanggan PT PLN (Persero) sangat berguna untuk mendeteksi kelainan awal pada Alat Pengukur dan Pembatas (APP), karena melalui parameter-parameter yang direkam secara otomatis, PLN dapat mengetahui lebih dini apabila terjadi gangguan pada pengukuran energi dan menentukan tindakan korektif sebelum menimbulkan kerugian. Penelitian lain oleh Guna, E. N. dan Umar di PT PLN (Persero) ULP Klaten Kota menunjukkan bahwa sistem AMR mampu mendeteksi ketidaksesuaian pengukuran secara cepat, seperti kondisi arus atau tegangan yang terbaca nol

pada pelanggan yang masih aktif, sehingga sistem dapat memberikan peringatan dini dan memungkinkan PLN melakukan pengecekan lapangan, yang membuktikan efektivitas AMR dalam menekan susut non teknis akibat kesalahan pencatatan maupun gangguan alat ukur. Penelitian oleh Surusa FEP, Humena S. dan Nani FY juga menunjukkan bahwa AMR dapat digunakan sebagai alat analisis susut non teknis pada pelanggan potensial melalui pembacaan data pelanggan berbasis nirkabel, khususnya pada pelanggan dengan daya besar sehingga potensi susut non teknis dapat diminimalkan. Selanjutnya, Syofian, A. dan Gunawan, R. menjelaskan bahwa penggunaan AMR pada kWh meter pelanggan TELKOMSEL-LBB121-A mampu mendeteksi ketidaknormalan pengukuran dengan mudah serta memungkinkan penarikan data histori pemakaian untuk mendukung tindakan teknis secara cepat. Penelitian oleh Seprinalfi, R. dkk. pada pelanggan 3 fasa di PT PLN (Persero) UP3 Muara Bungo menunjukkan bahwa pemasangan AMR memberikan manfaat signifikan dalam pengendalian pemakaian energi, peningkatan akurasi penjualan, serta pemantauan susut energi distribusi secara real-time.

Berdasarkan berbagai hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan sistem AMR secara konsisten terbukti efektif dalam mendukung deteksi dini anomali pengukuran, meningkatkan akurasi pencatatan energi, serta menekan potensi susut non teknis melalui pendekatan berbasis data. Sistem AMR memberikan keunggulan dalam hal kecepatan akses informasi, kelengkapan parameter pengukuran, serta kemampuan monitoring historis yang berkesinambungan.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu lebih menitikberatkan pada analisis teknis yang mendalam seperti perhitungan detail load profile, analisis jam nyala, atau evaluasi parameter kelistrikan secara kuantitatif. Penelitian ini memiliki perbedaan pendekatan dengan memfokuskan pada pemanfaatan sistem AMR sebagai alat bantu monitoring operasional di tingkat Unit Layanan Pelanggan.

Di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Manggar, pelanggan berdaya ≥ 13.200 VA memiliki kontribusi signifikan terhadap total penjualan energi listrik. Dengan target susut energi yang telah ditetapkan perusahaan, pengawasan terhadap kelompok pelanggan ini menjadi prioritas. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk menganalisis bagaimana

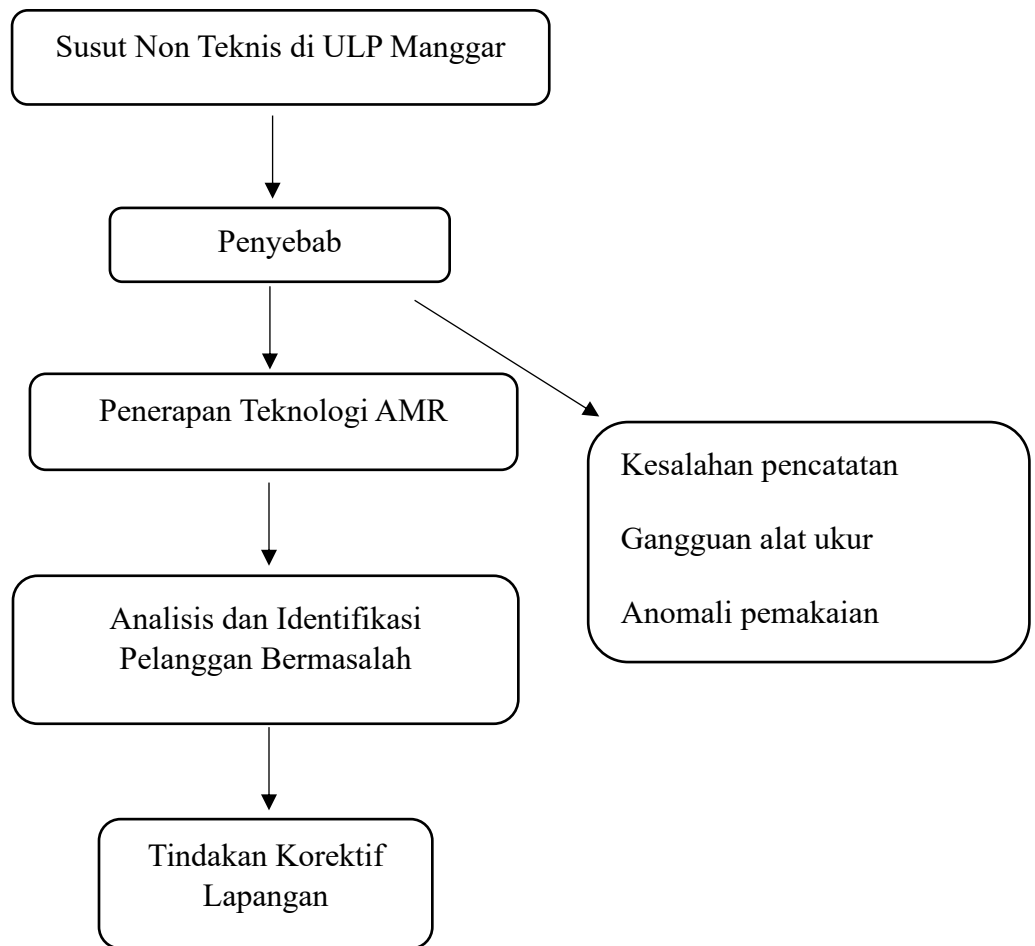
sistem AMR dimanfaatkan dalam kegiatan monitoring harian, identifikasi anomali, serta penentuan prioritas pemeriksaan lapangan sebagai bagian dari strategi pengendalian susut non teknis.

Dengan pendekatan yang lebih aplikatif dan disesuaikan dengan kondisi operasional di ULP Manggar, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi praktis dalam meningkatkan efektivitas pengawasan energi listrik serta mendukung pencapaian target susut yang telah ditetapkan perusahaan.

Tabel 2.2 Penelitian yang Relevan

No	Penelitian Terdahulu	Pembahasan Utama	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
1	Analisis susut non teknis menggunakan data AMR	Data pemakaian pelanggan digunakan untuk melihat indikasi ketidakwajaran	Menjadi dasar dalam melihat pola pemakaian pelanggan ≥ 13.200 VA
2	Pemanfaatan AMR untuk monitoring pelanggan daya besar	AMR memudahkan pemantauan jarak jauh tanpa harus selalu ke lapangan	Sesuai dengan praktik monitoring di ULP Manggar
3	Deteksi kelainan APP melalui sistem AMR	Data arus, tegangan, serta histori pemakaian digunakan untuk mendeteksi gangguan	Mendukung penentuan pelanggan yang perlu dilakukan pengecekan
4	Evaluasi efektivitas AMR dalam menekan susut non teknis	Pengawasan berbasis data membantu mengurangi potensi kehilangan energi	Sejalan dengan tujuan pengendalian susut non teknis

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.8 Kerangka Pemikiran

PT PLN (Persero) ULP Manggar memiliki target susut energi listrik sebesar 5,3%. Susut energi listrik terdiri dari susut teknis serta susut non teknis. Susut non teknis menjadi perhatian khusus karena berkaitan dengan faktor kesalahan pencatatan, gangguan alat ukur, maupun ketidaksesuaian pemakaian energi pelanggan yang dapat menimbulkan kerugian.

Pelanggan berdaya ≥ 13.200 VA memiliki kontribusi besar terhadap total penjualan energi listrik di wilayah kerja ULP Manggar. Apabila terjadi ketidakwajaran pemakaian pada pelanggan dengan daya besar, maka potensi kerugian yang ditimbulkan juga relatif besar. Oleh karena itu, pengawasan terhadap kelompok pelanggan ini perlu dilakukan secara lebih

terarah dan berkelanjutan. Sebelumnya, proses pengawasan masih banyak mengandalkan pembacaan manual serta pemeriksaan rutin ke lapangan. Metode tersebut membutuhkan waktu dan tenaga, serta tidak selalu mampu mendeteksi kelainan secara cepat. Dalam beberapa kondisi, ketidakwajaran pemakaian baru diketahui setelah berlangsung cukup lama, sehingga berpengaruh terhadap pencapaian target susut.

Untuk meningkatkan efektivitas pengawasan, sistem Automatic Meter Reading (AMR) dimanfaatkan sebagai alat bantu monitoring jarak jauh. Sistem ini memungkinkan data kWh meter pelanggan ditarik secara otomatis melalui jaringan komunikasi tanpa harus melakukan pembacaan langsung ke lokasi. Data yang diperoleh melalui sistem AMR meliputi data pemakaian energi listrik, arus, tegangan, load profile, serta histori kejadian pada meter pelanggan. Melalui data tersebut, petugas dapat melakukan monitoring secara berkala terhadap pola konsumsi energi pelanggan berdaya besar.

Analisis dilakukan dengan membandingkan histori pemakaian bulan sebelumnya, melihat pola beban harian, serta mengamati parameter kelistrikan yang tercatat. Apabila ditemukan penurunan pemakaian yang tidak sesuai dengan kondisi usaha pelanggan, adanya arus terbalik, tegangan tidak normal, perbedaan waktu pencatatan, maupun kondisi stop measurement, maka hal tersebut dapat menjadi indikasi awal potensi susut non teknis. Pelanggan yang terindikasi memiliki anomali kemudian diprioritaskan untuk dilakukan pemeriksaan lapangan. Pemeriksaan tersebut bertujuan untuk memastikan kondisi alat ukur dan instalasi pelanggan, serta menentukan langkah tindak lanjut yang diperlukan. Dengan cara ini, proses pengawasan menjadi lebih terarah karena pemeriksaan dilakukan berdasarkan hasil analisis data, bukan hanya berdasarkan jadwal rutin.

Melalui pemanfaatan sistem AMR sebagai alat monitoring, proses identifikasi potensi susut non teknis dapat dilakukan secara lebih cepat dan efisien. Sistem ini membantu ULP Manggar dalam menentukan prioritas pengawasan, mengurangi keterlambatan deteksi kelainan pemakaian, serta mendukung upaya pencapaian target susut yang telah ditetapkan.

Dengan demikian, kerangka pemikiran dalam penelitian ini menekankan bahwa pemanfaatan data AMR pada pelanggan berdaya ≥ 13.200 VA berperan sebagai alat bantu monitoring dalam mendeteksi indikasi ketidakwajaran pemakaian energi listrik, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar penentuan pemeriksaan lapangan guna mendukung pengendalian susut non teknis di PT PLN (Persero) ULP Manggar.