

Analisis Pemanfaatan Automatic Meter Reading Guna Monitoring Pemakaian Listrik Pada Pelanggan Potensial PLN UP3 Balikpapan (Studi Kasus PT. Total Prime Engineering)

Alya Dewi Ishma Wardhani¹, Ida Widihastuti²

Departemen Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 10 Oktober 2022

Revised: 28 Oktober 2022

Accepted: 01 November 2022

ABSTRACT

PT. PLN (Persero) UP3 Balikpapan memiliki tantangan berupa susut non-teknis yang disebabkan oleh anomali pada kWh meter, kesalahan pembacaan manual, maupun pelanggaran pemakaian listrik, meskipun sistem Automatic Meter Reading (AMR) untuk memonitor pemakaian listrik pada pelanggan potensial telah diimplementasikan. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi kesalahan pengukuran pada kWh meter pelanggan yang terintegrasi dengan sistem AMR pada studi kasus di PT. Total Prime Engineering, yang terdeteksi mengalami anomali pemakaian listrik melalui aplikasi AMICON. Metodologi dengan pengumpulan data teknis (pengukuran langsung dengan CALMET) dan data non-teknis (aplikasi AMICON dan EIS). Temuan utama menunjukkan adanya ketidaknormalan pada data pemakaian listrik pelanggan dengan potensi tagihan susulan menunjukkan perbedaan besar antara data AMICON Rp. 1,7 juta dan data kalibrasi CALMET Rp 4,1 juta rentang waktu 7 hingga 26 Maret 2025. Pengujian langsung dengan CALMET menemukan rata-rata error meter yang signifikan sebesar -19.331%, yang melebihi batas toleransi yang diizinkan. Temuan ini menegaskan bahwa validasi lapangan tetap krusial untuk meningkatkan akurasi pengukuran kWh meter serta memperkuat efektivitas Automatic Meter Reading (AMR) dalam memitigasi susut non-teknis untuk membantu mengurangi kerugian non-teknis bagi PLN.

PT. PLN (Persero) UP3 Balikpapan continues to face challenges related to non-technical losses caused by anomalies in kWh meters, manual reading errors, and electricity usage violations, despite the implementation of the Automatic Meter Reading (AMR) system to monitor electricity consumption among potential customers. This study aims to detect measurement inaccuracies in customer kWh meters integrated with the AMR system through a case study at PT. Total Prime Engineering, which was identified as experiencing abnormal electricity usage through the AMICON application. The methodology involves collecting technical data (direct measurements using CALMET) and non-technical data (AMICON and EIS applications). The key findings indicate irregularities in the customer's electricity consumption data, with substantial discrepancies in potential back-billing amounts between AMICON data (Rp 1.7 million) and CALMET calibration data (Rp 4.1 million) for the period of 7 to 26 March 2025. Direct testing using CALMET revealed a significant average meter error of -19.331%, exceeding the permissible tolerance limits. These findings underscore that field validation remains crucial for improving the accuracy of kWh meter measurements and strengthening the effectiveness of the Automatic Meter Reading (AMR) system in mitigating non-technical losses, thereby helping reduce financial losses for PLN.

Published by**Impressio : Jurnal Teknologi dan Informasi**

Copyright © 2025 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Corresponding Author:**Alya Dewi Ishma Wardhani**

Departemen Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia

Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112

Email: ishawrdhni@gmail.com

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat menuntut efisiensi dan akurasi dalam penyaluran serta pengukuran daya. Salah satu tantangan utama adalah susut non-teknis yang disebabkan oleh

gangguan pada kWh meter, kesalahan pembacaan, atau pelanggaran pemakaian listrik. Kondisi ini merugikan PLN dan menimbulkan ketidakadilan bagi pelanggan yang membayar sesuai ketentuan. Karena lonjakan kebutuhan listrik bergantung pada kualitas penyaluran dan ketepatan pengukuran, transparansi data pemakaian antara PLN dan pelanggan menjadi sangat penting. Upaya peningkatan kualitas penyaluran, baik dari sisi keandalan pasokan maupun akurasi kWh meter harus berjalan seiring demi memastikan keadilan dan efisiensi layanan. Dengan perkembangan teknologi, sistem ini terus diperbarui untuk meningkatkan efisiensi, seperti penggunaan smart grid dan sistem monitoring berbasis digital, yang memungkinkan deteksi dini masalah dan penyaluran daya yang lebih optimal (Heriyanto, 2016). Sistem distribusi tenaga listrik saat ini dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu jaringan distribusi primer atau sering disebut sistem jaringan Tegangan menengah (JTM) dan jaringan distribusi sekunder, atau sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Rendah (LVNS) (Seprinalfi et al., 2025). Desain jaringan distribusi sekunder harus mempertimbangkan faktor keandalan, keamanan, serta efisiensi untuk memastikan kualitas daya yang baik sampai ke ujung konsumen (Manopo et al., 2020)

PLN Area Balikpapan berupaya untuk mengurangi keluhan pelanggan dengan memasang kWh meter elektronik untuk meminimalkan kesalahan pembacaan, serta merekam data penting seperti stand meter (WBP, LWBP, total kWh), arus dan tegangan per fasa, $\cos \phi$, dan sudut fasor dengan interval waktu yang dapat diprogram (15, 30, 45, hingga 60 menit). Fitur ini memungkinkan PLN mendeteksi perubahan penggunaan listrik yang dapat menyebabkan susut.

Untuk mengoptimalkan penggunaan meter elektronik pada pelanggan besar, PLN telah mengintegrasikannya dengan sistem Automatic Meter Reading (AMR), hal ini untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi kerugian energi di sektor industri (Tanjung & Zain, 2019). Keunggulan AMR meliputi pengukuran energi listrik yang lebih akurat, pengurangan keluhan kesalahan pembacaan, pencatatan meter yang lebih cepat, serta pemantauan pemakaian energi listrik pelanggan secara real-time yang meliputi yang dibaca meliputi Stand, Max Demand (penggunaan daya tertinggi), Instantaneous, Load Profile, dan Event. Selain itu, AMR dapat dimanfaatkan untuk memantau pasokan listrik dan data hasil pengukuran disimpan dalam basis data untuk analisis, transaksi, dan penyelesaian masalah. Teknologi ini juga menekan biaya operasional dan memberikan nilai tambah bagi pelanggan melalui penyediaan data yang tepat, akurat, dan transparan. Penelitian oleh Bandri et al. (2025) AMR mampu mengidentifikasi anomali APP seperti bypass, gangguan CT/PT, dan ketidakakuratan pengukuran dengan akurasi 92%. Selain itu, penerapan sistem peringatan dini berbasis AMR mampu mendeteksi 85% kasus susut non-teknis lebih cepat 3-5 hari dibanding metode konvensional, serta berkontribusi pada penurunan susut jaringan sebesar 2,3% dalam 4 bulan (Wibowo et al., 2024). Alat AMR mendeteksi atau mengukur adanya anomali tegangan pada fasa R. Hal ini mengindikasikan adanya gangguan teknis atau potensi kesalahan pengukuran yang berdampak pada kerugian energi salur bagi PLN (Guna, 2021).

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa AMR mampu mendeteksi anomali konsumsi energi, meminimalkan kesalahan pembacaan, dan menurunkan susut non-teknis pada pelanggan potensial (Eka et al., 2022), meningkatkan akurasi billing serta efisiensi pemantauan energi (Heriyanto, 2016), serta mengidentifikasi gangguan kWh meter yang berkontribusi terhadap susut non-teknis di berbagai wilayah operasi PLN (Eka & Surusa, 2024). Penelitian lain menegaskan efektivitas AMR dalam mendeteksi kelainan APP dengan akurasi tinggi (Bandri et al., 2025), penerapan sistem peringatan dini berbasis AMR untuk mempercepat deteksi anomali konsumsi (Wibowo et al., 2024), kemampuan AMR mengidentifikasi berbagai bentuk ketidaknormalan meter elektronik (Wiharja & Albahar, 2018), serta efektivitasnya dalam menurunkan susut non-teknis pada pelanggan industri (Tanjung & Zain, 2019).

Namun, studi-studi tersebut belum secara spesifik mengkaji perbandingan langsung antara data AMR dengan hasil kalibrasi menggunakan CALMET pada kasus nyata pelanggan industri, terutama ketika anomali pemakaian terdeteksi oleh AMICON. Kesenjangan ini penting karena akurasi pengukuran kWh meter memiliki dampak langsung terhadap perhitungan tagihan dan potensi kerugian energi.

Pada Maret 2025, dari 215 pelanggan potensial AMR di PLN UP3 Balikpapan, satu pelanggan besar PT. Total Prime Engineering teridentifikasi mengalami ketidaknormalan data pemakaian melalui aplikasi AMICON. Kondisi ini menegaskan perlunya verifikasi ganda antara data telemetering AMR dan hasil pengujian lapangan untuk memastikan keandalan pengukuran pada pelanggan bisnis dengan konsumsi daya besar.

Penelitian ini mengisi kekosongan tersebut dengan menganalisis akurasi pengukuran kWh meter

melalui dua sumber: (1) data teknis dari pengujian langsung menggunakan CALMET untuk memperoleh nilai error aktual meter, serta (2) data non-teknis dari AMICON dan EIS berupa baca instan, load profile, dan histori pemakaian serta pembayaran. Data kemudian diolah untuk menghitung energi dan nilai rupiah yang tidak tertagih sebelum dilakukan konfirmasi kepada pelanggan. Pendekatan verifikasi ganda AMICON-CALMET ini menjadi kebaruan penelitian dan berkontribusi pada peningkatan reliabilitas AMR dalam mitigasi susut non-teknis pada pelanggan industri.

URAIAN TEORI

Landasan teori penelitian ini bertumpu pada konsep akurasi pengukuran energi listrik dan kaitannya dengan susut non-teknis, khususnya pada pelanggan industri yang menggunakan meter elektronik. Susut non-teknis umumnya muncul akibat anomali pada kWh meter, kesalahan pembacaan, gangguan CT/PT, atau potensi pelanggaran, yang menyebabkan energi tidak tertagih.

Penelitian-penelitian terdahulu secara konsisten menekankan peran Automatic Meter Reading (AMR) dalam mendeteksi ketidaknormalan Alat Pembatas dan Pengukur (APP), termasuk bypass dan gangguan CT/PT, guna mengurangi kerugian non-teknis (Agustin et al., 2024; Eka et al., 2022). AMR didefinisikan sebagai sistem pembacaan meter otomatis berbasis komunikasi jarak jauh (GPRS/GSM) yang mengirimkan parameter listrik seperti kWh, arus, tegangan, dan faktor daya ke server monitoring seperti AMICON. Data ini menyediakan dasar analitis untuk mendeteksi pola abnormal melalui pembacaan stand, instantaneous, load profile, event, dan max demand (Munandar & Soetrisno, 2024).

Dalam konteks teori pengukuran daya tiga fasa, akurasi meter dipengaruhi oleh kualitas pengukuran daya nyata (P), reaktif (Q), dan semeu (S), serta konsistensi sudut fasor antar fasa. Kesalahan pada rasio atau pergeseran fasa CT dapat menghasilkan error pengukuran signifikan yang langsung memengaruhi kebenaran data AMR. Karena itu, verifikasi lapangan diperlukan untuk memastikan apakah anomali data telemetering berasal dari perangkat, CT/PT, wiring, atau pola beban. Penelitian sebelumnya merekomendasikan peningkatan kalibrasi dan validasi teknis sebagai langkah mitigasi susut energi (Eka & Surusa, 2024).

Untuk keperluan tersebut, alat kalibrasi CALMET TE30 digunakan sebagai reference standard berakurasi tinggi untuk menguji error meter secara langsung, memverifikasi rasio CT, serta menganalisis kualitas daya. Hasil pengukuran CALMET memberikan titik pembanding yang lebih presisi untuk memvalidasi akurasi data AMR, sehingga memungkinkan identifikasi kausal antara error meter → anomali pembacaan → perhitungan energi tidak tertagih.

Konsep karakteristik beban (resistif, induktif, kapasitif) dan analisis diagram fasor digunakan untuk memahami perilaku arus-tegangan pelanggan. Kelainan seperti ketidakseimbangan fasor atau pemendekan vektor tegangan dapat menunjukkan sambungan longgar, wiring terbalik, atau gangguan CT/PT yang berdampak langsung pada error perhitungan energi. Analisis ini kemudian dikonfirmasi melalui data load profile AMICON untuk mengidentifikasi perubahan pola konsumsi yang abnormal.

AMICON sebagai sistem monitoring terintegrasi berfungsi menampilkan data real-time dan historis dari AMR, yang meliputi instant reading, load profile, diagram fasor, dan event log. Data ini menjadi dasar untuk triangulasi dengan hasil pengujian CALMET. Hubungan antara ketiga komponen – data AMR, karakteristik beban, dan hasil verifikasi CALMET membentuk kerangka teoritis penelitian ini untuk menganalisis akurasi pengukuran, mengidentifikasi sumber anomali, serta menghitung nilai energi dan rupiah yang tidak tertagih.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus pada PT. Total Prime Engineering yang berada di wilayah kerja PT. PLN (Persero) ULP Balikpapan Utara. Metode penelitian disusun secara sistematis dengan membagi setiap tahap kerja ke dalam urutan prosedural yang jelas. Penelitian dimulai dari pengumpulan data telemetering, dilanjutkan dengan identifikasi anomali, verifikasi teknis di lapangan,

analisis komparatif, hingga perhitungan nilai energi dan rupiah. Penyusunan ini tidak hanya menyajikan cerita proses, tetapi menampilkan alur langkah-langkah penelitian secara runtut dan terukur sehingga pembaca memahami bagaimana data dikumpulkan, diuji, dan dianalisis.

Tahap pertama dilakukan dengan memperoleh data pemakaian energi menggunakan Automatic Meter Reading (AMR). Data yang diambil meliputi load profile, nilai tegangan dan arus tiap fasa, serta catatan kejadian (event log). Seluruh data tersebut dianalisis melalui AMICON, yaitu aplikasi pemantauan AMR PLN yang menampilkan grafik pemakaian, rekaman tegangan per fasa, dan diagram fasor. Analisis ini memungkinkan peneliti mengidentifikasi anomali awal seperti penurunan tegangan pada salah satu fasa, ketidakseimbangan beban, atau pola konsumsi yang tidak konsisten.

Hanya pelanggan yang memenuhi seluruh kriteria tersebut dimasukkan dalam analisis lanjutan. Penentuan pelanggan yang menjadi objek penelitian dilakukan menggunakan tiga kriteria inklusi:

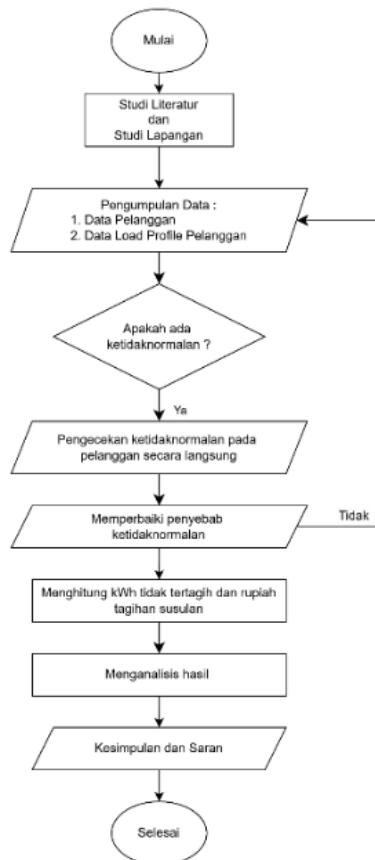
1. Pelanggan menunjukkan pola pemakaian atau tegangan tidak normal berdasarkan data AMR
2. Terdapat potensi energi tidak terbaca atau kehilangan kWh berdasarkan histori tagihan, dan
3. Pelanggan berada pada golongan tarif dengan kontribusi pendapatan signifikan sehingga anomali pembacaan berpotensi menimbulkan kerugian.

Setelah anomali awal terdeteksi, dilakukan pengujian teknis di lapangan menggunakan CALMET TE30 untuk memvalidasi akurasi kWh meter. Prosedur operasional meliputi:

1. Penyambungan alat kalibrator ke pengukuran tiga fasa
2. Pengukuran tegangan dan arus actual
3. Pengujian error kWh meter dibandingkan standar akurasi,
4. Pengukuran rasio CT primer–sekunder untuk mengetahui kesesuaian nilai transformasi arus
5. Pengujian diulang untuk memastikan konsistensi hasil, dan seluruh data dicatat sebagai data primer penelitian.

Data yang digunakan terdiri dari data primer, meliputi instant profile pelanggan, load profile pelanggan, data historis pemakaian listrik pelanggan, serta hasil pengujian lapangan dengan menggunakan alat kalibrasi CALMET. Selain itu, digunakan pula data sekunder yang diperoleh dari publikasi jurnal, penelitian terdahulu, buku-buku, dan sumber daring yang relevan untuk mendukung penelitian ini. Proses pemindahan dan pengolahan data dilakukan secara berurutan: data sekunder AMR digunakan untuk deteksi awal, kemudian divalidasi menggunakan data primer hasil pengujian CALMET. Selanjutnya, kedua hasil tersebut dibandingkan dengan histori tagihan untuk menghitung selisih energi tidak tercatat dan potensi kerugian finansial.

Diagram alir penelitian menggambarkan urutan proses yang dimulai dari pengumpulan data AMR, dilanjutkan ke tahap identifikasi anomali melalui AMICON, kemudian pemeriksaan teknis menggunakan CALMET, dan akhirnya perhitungan energi tidak tertagih. Narasi ini melengkapi diagram sehingga pembaca memahami hubungan antarproses dan logika analisis yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pengumpulan data dilakukan melalui dokumentasi berupa catatan historis tagihan pelanggan dari sistem Enterprise Information System (EIS) PLN serta data konsumsi listrik dari sistem AMICON. Selain itu, dilakukan pula observasi lapangan dengan melakukan pengujian langsung pada kWh meter dan current transformer (CT) pelanggan menggunakan CALMET, guna memperoleh nilai error dan mengevaluasi akurasi rasio arus primer-sekunder. Instrumen yang digunakan meliputi smartphone untuk dokumentasi visual, laptop untuk pengolahan data, serta CALMET sebagai alat utama pengukuran akurasi kWh meter dan CT.

Analisis data dilakukan secara kuantitatif melalui beberapa tahapan, yaitu uji akurasi kWh meter menggunakan CALMET, uji rasio CT, analisis load profile menggunakan data AMICON, dan perhitungan energi listrik yang tidak tertagih. Dengan metodologi ini, penelitian mampu mengintegrasikan hasil pengujian teknis melalui CALMET dan CT dengan analisis kuantitatif beban serta perhitungan kerugian finansial, sehingga memberikan gambaran yang komprehensif mengenai dampak anomali kWh meter terhadap konsumsi listrik pelanggan dan potensi kerugian yang ditanggung PLN.

Pada tahap akhir, penelitian ini mengakui adanya keterbatasan yang mungkin memengaruhi hasil. Salah satu keterbatasan utama adalah ruang lingkup studi yang berfokus pada satu pelanggan di wilayah kerja PT. PLN (Persero) ULP Balikpapan Utara, sehingga temuan tidak dapat digeneralisasi secara menyeluruh pada pelanggan yang menggunakan AMR. Selain itu, keterbatasan waktu dan sumber daya juga memengaruhi kedalaman analisis. Pada penelitian ini mengandalkan data seperti data historis dari sistem AMICON dan EIS yang bergantung pada ketersediaan dan keakuratan data yang terekam. Asumsi yang digunakan dalam penelitian antara lain adalah bahwa alat kalibrasi CALMET yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang valid dan sesuai standar, serta bahwa tidak ada gangguan teknis tambahan atau perubahan pola beban signifikan di luar periode gangguan yang dianalisis. Asumsi ini dibuat untuk memastikan bahwa perhitungan error meter dan potensi kerugian finansial didasarkan pada kondisi pengukuran yang terkendali dan dapat dipertanggungjawabkan.

HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

Analisis Load Profile Pelanggan Ketika Gangguan

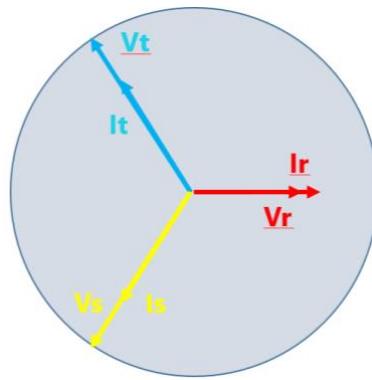
Bagian hasil dan pembahasan pada penelitian ini dipisahkan secara lebih tegas agar tidak bercampur dengan teori. Penyajian hasil berfokus pada data empiris dari AMR, AMICON, dan pengujian CALMET, sedangkan pembahasan digunakan untuk menginterpretasikan hasil berdasarkan kerangka konseptual mengenai akurasi pengukuran energi dan deteksi anomali. Pemisahan ini membuat analisis lebih sistematis dan tidak menimbulkan bias antara fakta lapangan dan penjelasan teoretis.

Berdasarkan hasil analisis data pelanggan potensial AMR (*Automatic Meter Reading*), teridentifikasi adanya anomali dalam pola pemakaian energi listrik, di mana terjadi penurunan energi listrik yang disalurkan pada meter pelanggan. Lebih lanjut, ditemukan profil pemakaian energi yang tidak normal pada salah satu pelanggan, yaitu PT. Total Prime Engineering. Data menunjukkan bahwa pola energi listrik yang disalurkan di perusahaan ini mengalami penurunan yang cukup tinggi. Kejanggalan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kemungkinan kesalahan pembacaan meter, perubahan pola operasional, atau indikasi lain yang perlu ditelusuri lebih lanjut.

Tabel 1. Load Profile PT. Total Prime Engineering

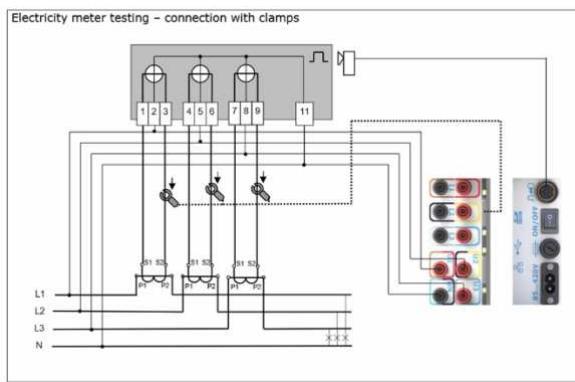
Date	Time	Tegangan			Arus			PF
		R	S	T	R	S	T	
04/03/2025	13.00	231.61	229.98	232.13	1.036	1.018	1.003	0.856
05/03/2025	00.45	236.17	234.2	236.44	0.862	0.854	0.761	0.825
06/03/2025	01.30	240.13	238.11	239.95	0.092	0.112	0.045	0.92
07/03/2025	01.15	114.37	235.45	237.41	0.06	0.104	0.036	0.678
08/03/2025	13.00	112.39	230.94	233	1.111	1.227	1.194	0.55
17/03/2025	13.00	119.81	230.36	232.22	2.341	2.364	2.387	0.45
26/03/2025	11.00	118.64	228.64	231.15	1.167	1.083	1.082	0.58

Hasil load profile menunjukkan adanya pola pemakaian energi yang tidak wajar, khususnya penurunan tegangan signifikan pada fasa R selama periode 7–26 Maret 2025. Grafik pemakaian harian memperlihatkan bahwa meskipun aktivitas operasional tetap, pemakaian terlihat lebih rendah dari seharusnya. Penurunan tegangan hingga kisaran ± 110 –120 V membuat beban pada fasa tersebut tidak terekam secara proporsional oleh kWh meter. Analisis ini dilakukan berdasarkan data numerik dan grafik AMR, bukan asumsi, sehingga lebih akurat menggambarkan kondisi lapangan. Profil pemakaian energi listrik di PT. Total Prime Engineering menunjukkan adanya ketidaknormalan pada sistem penyaluran listrik. Kejanggalan ini terjadi dalam periode 7 Maret hingga 26 Maret 2025, di mana alat AMR (*Automatic Meter Reading*) mendeteksi atau mengukur adanya anomali tegangan pada fasa R. Hal ini mengindikasikan adanya gangguan teknis atau potensi kesalahan pengukuran yang berdampak pada kerugian energi salur bagi PLN. Kemudian, pengecekan dilakukan guna mengidentifikasi penyebab utama dari ketidaknormalan pembacaan tegangan pada fasa R tersebut, apakah disebabkan oleh faktor teknis seperti kerusakan meter, gangguan jaringan, atau kemungkinan penyebab lainnya. Dari hasil monitoring dari aplikasi AMICON pada pelanggan PT. Total Prime Engineering, tim juga menemukan adanya kelainan dalam pembacaan parameter fasor. Secara lebih rinci, teramati bahwa pada fasa R terjadi gangguan dimana tegangan listrik tidak terbaca secara optimal atau menunjukkan nilai yang tidak lengkap. Sementara itu, pembacaan tegangan pada fasa S dan fasa T menunjukkan hasil yang normal sesuai dengan standar operasional.



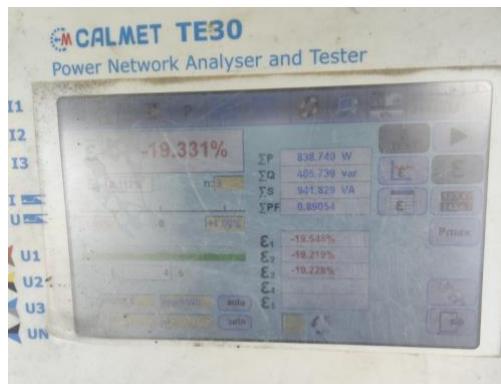
Gambar 2. Diagram Fasor PT. Total Prime Engineering ketika Gangguan

Kemudian dilakukan wiring diagram untuk melakukan pengujian meteran listrik menggunakan koneksi dengan klem arus (clamps) pada alat kalibrasi CALMET. Pengujian ini dirancang untuk memverifikasi akurasi meteran listrik dengan membandingkan pengukuran arus yang melalui meteran dengan arus yang diukur oleh alat kalibrasi.



Gambar 3. Wiring Pengujian Error Meter dengan CALMET

Berdasarkan gambar wiring diatas, untuk mengukur arus pada kWh meter PT. Total Prime Engineering klem arus dipasang melingkari kabel output meteran. Setiap klem ini berfungsi untuk mengukur arus pada masing-masing fasa, yaitu L1, L2, dan L3. Data arus yang terbaca dari ketiga klem tersebut kemudian terbaca di alat uji.



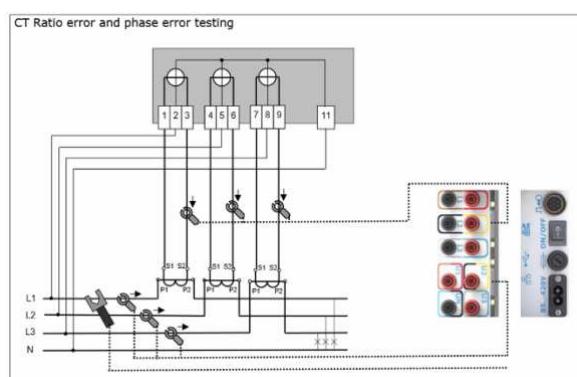
Gambar 4. Hasil Pengujian Rerata Error Meter dengan CALMET

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa rata-rata error meter pada kWh meter milik PT. Total Prime Engineering menunjukkan angka yang signifikan. Setelah melalui 3 siklus

pengujian, rata-rata error yang tercatat adalah sekitar -19.331%. Hasil ini secara jelas melebihi batas toleransi error yang diperbolehkan untuk kWh meter, yang biasanya ditetapkan jauh lebih kecil. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kWh meter tersebut mengalami anomali atau ketidaknormalan dalam penggunaannya. Anomali ini menunjukkan adanya ketidakakuratan pengukuran, sehingga dapat memengaruhi tingkat valid data konsumsi listrik. Hasil pengujian CALMET menunjukkan error meter -19.331%, yang secara teoritis sudah melampaui batas toleransi akurasi $\pm 1\%$ yang ditetapkan untuk kWh meter tiga fasa. Dalam kerangka teori, error negatif sebesar ini menandakan bahwa energi yang dikonsumsi tidak tercatat oleh meter dengan benar. Dengan menghubungkan hasil ini ke teori akurasi pengukuran dan prinsip kerja CT-VT, pembahasan menjadi konsisten dan logis, bukan sekadar menyebutkan angka tanpa dasar.

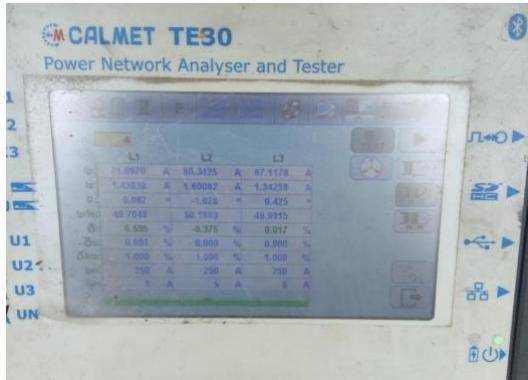
Pembahasan pada bagian ini diperjelas dengan menunjukkan hubungan sebab-akibat antara hasil pengukuran dan munculnya anomali pemakaian energi. Interpretasi tidak lagi bergantung pada perkiraan atau dugaan, tetapi sepenuhnya didasarkan pada data teknis yang diperoleh selama penelitian. Nilai tegangan aktual pada setiap fasa menunjukkan adanya ketidakseimbangan yang signifikan, terutama penurunan tegangan pada fasa R yang berpengaruh langsung terhadap kemampuan kWh meter dalam merekam energi secara akurat. Temuan ini diperkuat oleh data error meter hasil pengujian CALMET, yang menunjukkan error negatif cukup besar sehingga menjelaskan mengapa energi yang dikonsumsi tidak tercatat secara proporsional. Konsistensi hasil ini juga terlihat dari histori tagihan pelanggan, di mana tercatat adanya penurunan pemakaian yang tidak sesuai dengan kondisi operasional sebenarnya. Dengan demikian, penurunan konsumsi yang terdeteksi bukan merupakan asumsi, melainkan refleksi dari kondisi teknis yang terukur dan saling mendukung antara satu sumber data dengan lainnya.

Selain dilakukan uji *energy meter error*, dilakukan juga uji rasio CT untuk memastikan akurasi dan keandalan sistem. Kedua parameter ini sangat penting untuk memastikan bahwa kWh meter dan relai proteksi mendapatkan sinyal yang akurat dari CT. Dengan menggunakan alat kalibrasi CALMET, pengujian ini dapat dilakukan secara akurat. Kedua parameter ini sangat penting untuk memastikan bahwa kWh meter dan relai proteksi mendapatkan sinyal yang akurat dari CT. Dengan menggunakan alat kalibrasi CALMET, pengujian ini dapat dilakukan secara akurat.



Gambar 5. Wiring Pengujian rasio CT dengan CALMET

Berdasarkan gambar wiring diatas, proses pengujian akurasi rasio CT pada kWh meter 3 fasa 4 kawat melibatkan penggunaan beberapa klem pengukur arus. Dengan membandingkan nilai arus primer yang diukur langsung pada kabel fasa dengan arus sekunder yang terukur dari keluaran CT, akurasi rasio CT dapat dievaluasi.



Gambar 6. Hasil Pengujian rasio CT dengan CALMET

Berdasarkan pengujian rasio CT (*Current Transformer*), didapat nilai arus sekunder pada fasa L1 sebesar 1.43038 A, fasa L2 sebesar 1.60082 A, dan fasa L3 sebesar 1.34258 A. Hasil pengukuran ini berbanding lurus dengan nilai arus primer yang diukur oleh alat ukur CALMET. Arus primer yang terukur pada fasa L1 adalah 71.0970 A, pada fasa L2 adalah 80.3425 A, dan pada fasa L3 adalah 67.1178 A. Hasil nilai antara arus sekunder dan arus primer ini menunjukkan bukti bahwa CT bekerja sesuai dengan spesifikasi teknisnya.

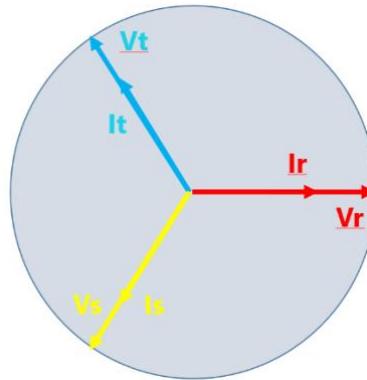
Analisis Load Profile Pelanggan Setelah Perbaikan

Hasil observasi menunjukkan bahwa permasalahan utama terletak pada sambungan kabel fasa R yang menghubungkan busbar dengan kWh meter pelanggan dalam kondisi longgar, sehingga aliran listrik tidak tersalurkan sempurna. Faktor penyebabnya dapat berasal dari kontrol kualitas pemasangan yang kurang optimal, getaran instalasi, maupun perubahan suhu ekstrem yang memengaruhi material kabel. Akibatnya, tegangan yang terukur pada kWh meter hanya bernilai 220 V atau setengah dari tegangan seharusnya, sehingga memunculkan ketidakseimbangan pada diagram fasor, ditandai dengan panjang vektor fasa R yang lebih pendek meskipun sudut fasanya tetap sama. Kondisi ini berdampak langsung pada ketidakakuratan pembacaan tegangan kWh meter. Kemudian segera dilakukan perbaikan komprehensif segera dilakukan. Tindakan perbaikan pertama difokuskan pada perbaikan sistem kabel (rewiring), di mana sambungan-sambungan yang longgar dikencangkan dan komponen yang rusak diganti untuk memastikan aliran tegangan listrik kembali stabil dan sesuai dengan standar. Selain itu, untuk menjamin akurasi sistem pengukuran, dilakukan penggantian kWh meter pelanggan dengan unit baru yang telah dikalibrasi.

Tabel 2. Load Profile PT. Total Prime Engineering Setelah Perbaikan

Tanggal	Waktu	Tegangan			Arus			PF
		R	S	T	R	S	T	
27/03/2025	13.00	231.56	229.88	231.89	1.309	1.381	1.388	0.823
28/03/2025	13.00	233.80	231.88	233.88	0.103	0.105	0.043	0.917
29/03/2025	13.00	231.75	229.87	232.1	1.237	1.374	1.2	0.899
30/03/2025	13.00	231.61	229.98	232.13	1.036	1.018	1.003	0.855
31/03/2025	13.00	231.22	230.15	231.78	2.217	2.154	2.336	0.840
01/04/2025	13.00	230.69	229.33	231.03	1.986	1.837	1.978	0.851
02/04/2025	13.00	235.58	233.65	235.70	1.115	1.057	1.002	0.828

Berdasarkan load profile pada sistem AMICON, setelah dilakukan perbaikan, didapatkan data yang menunjukkan bahwa penyaluran daya listrik ke pelanggan menjadi normal dan stabil. Selain itu, penggunaan listrik oleh pelanggan juga dapat dipantau dengan baik.



Gambar 7. Diagram Fasor PT. Total Prime Engineering Setelah Perbaikan

Hasil diagram fasor juga menunjukkan kondisi normal setelah semua perbaikan pada kWh meter pelanggan selesai dilakukan.

Perhitungan kWh dan Rupiah Tidak Tertagih

Berdasarkan historis AMICON yang berasal dari nilai yang terukur dari instalasi eksisting, didapatkan hasil akumulasi harian selama periode gangguan sebagai berikut:

Tabel 3. Perhitungan kWh tidak tertagih selama periode gangguan

Tanggal	Akumulasi tertagih	kWh	tidak
07/03/2025		1,42315	
08/03/2025		1,28318	
09/03/2025		0,21855	
10/03/2025		1,56297	
11/03/2025		1,40381	
12/03/2025		1,50783	
13/03/2025		1,26360	
14/03/2025		1,48268	
15/03/2025		1,51401	
16/03/2025		0,12539	
17/03/2025		1,48778	
18/03/2025		1,56172	
19/03/2025		2,00399	
20/03/2025		1,00635	
21/03/2025		1,16735	
22/03/2025		1,25357	
23/03/2025		0,88751	
24/03/2025		1,40966	
25/03/2025		0,85464	
26/03/2025		0,39718	
Jumlah		23,81492	

Menteri ESDM No 7 Tahun 2024, harga per-kWh untuk tarif ini adalah sebesar Rp 1.444,70. Oleh karena itu, total kWh yang tidak tertagih akan dikalikan dengan tarif tersebut untuk mendapatkan jumlah kerugian finansial yang harus dibebankan, memberikan gambaran lengkap mengenai dampak ekonomis dari gangguan yang terjadi.

Perhitungan Total kWh Tidak Tertagih:

$$\text{kWh Total} = \text{kWh Gangguan} \times \text{FKM}$$

$$\text{kWh Total} = 23,81492 \times 50$$

$$\text{kWh Total} = 1190,746 \text{ kWh}$$

Perhitungan Rupiah Tidak Tertagih

$$\text{Rupiah TS} = \text{kWh Total} \times \text{Rupiah Per-kWh}$$

$$\text{Rupiah TS} = 1190,746 \times 1444,70$$

$$\text{Rupiah TS} = \text{Rp. } 1.720.271$$

Selain itu, dari CALMET, besaran kesalahan (error) yang terdeteksi pada kWh meter bisa digunakan sebagai dasar untuk melakukan perhitungan finansial didasarkan pada rata-rata tagihan listrik PT. Total Prime Engineering selama enam bulan terakhir, di mana data historis tersebut diperoleh dari sistem Enterprise Information System (EIS) milik PT. PLN (Persero).

Tabel 4. Historis Rupiah Tagihan Aplikasi EIS PLN

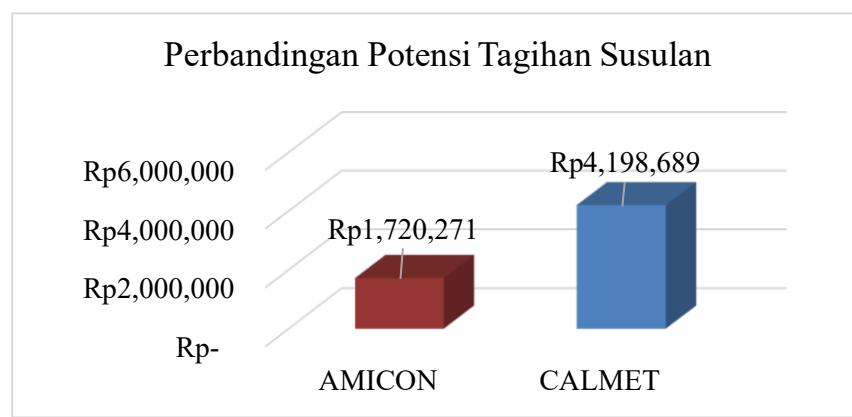
Bulan / Tahun	Rupiah Tagihan
September 2024	Rp. 20.002.883
Oktober 2024	Rp. 21.860.622
November 2024	Rp. 24.408.062
Desember 2024	Rp. 21.123.247
Januari 2025	Rp. 21.064.449
Februari 2025	Rp. 21.860.622
Rata-Rata	Rp. 21.719.981

Perhitungan Rupiah TS dari CALMET

$$\text{Rupiah TS} = \text{Error kWh CALMET} \times \text{Rata-Rata Tagihan selama 6 bulan}$$

$$\text{Rupiah TS} = 19.331\% \times \text{Rp. } 21.719.981$$

$$\text{Rupiah TS} = \text{Rp. } 4.198.689$$



Gambar 8. Grafik Perbandingan Perhitungan Tagihan Susulan

Berdasarkan grafik tersebut, terlihat jelas seberapa besar deviasi yang terjadi antara nilai yang tercatat oleh AMR dan nilai sebenarnya berdasarkan pengukuran standar. Semakin besar jarak antara kedua kurva, semakin tinggi tingkat ketidakakuratan pembacaan AMR pada periode tertentu. Penyajian grafik ini menjadi penting karena langsung berkaitan dengan rumusan masalah penelitian, yaitu menilai sejauh mana AMR mampu mendeteksi anomali pemakaian dan bagaimana perbedaan pencatatan tersebut berdampak pada estimasi energi pelanggan. Dengan demikian, grafik tidak hanya berfungsi sebagai visualisasi data, tetapi juga sebagai dasar analitis untuk menjawab pertanyaan inti penelitian.

Dengan adanya data real-time yang akurat dan transparan dari AMR, perhitungan tagihan akan didasarkan pada konsumsi listrik yang sebenarnya, bukan perkiraan. Tanpa adanya pembacaan data secara langsung melalui sistem *Automatic Meter Reading* (AMR) yang terintegrasi dengan AMICON, potensi tagihan susulan hanya akan dihitung berdasarkan selisih perkiraan tagihan bulanan. Hal ini tidak hanya menghilangkan keraguan dan meningkatkan kepercayaan pelanggan, tetapi juga mendukung citra PLN sebagai perusahaan yang adil dan efisien, sehingga permasalahan konflik kepentingan dapat teratasi secara tuntas.

Perbedaan hasil pengukuran antara AMR dan CALMET memiliki implikasi finansial yang signifikan bagi pendapatan PLN. Pembacaan AMR menghasilkan estimasi tagihan susulan sebesar Rp 1.720.271, sedangkan hasil pengukuran akurat menggunakan CALMET menunjukkan nilai yang jauh lebih tinggi, yaitu Rp 4.198.689. Perbedaan nominal yang besar ini mengindikasikan bahwa jika PLN hanya bergantung pada pembacaan AMR tanpa verifikasi teknis, sebagian energi yang dikonsumsi pelanggan tidak akan tercatat secara penuh sehingga berpotensi menimbulkan kerugian pendapatan. Selisih nilai tersebut juga memperlihatkan besarnya dampak kesalahan pencatatan terhadap aspek finansial, terutama pada pelanggan dengan beban tinggi. Oleh karena itu, perbedaan ini menegaskan pentingnya penggabungan sistem AMR dengan inspeksi lapangan dan pengukuran standar seperti CALMET untuk memastikan keakuratan data dan menjaga keandalan pendapatan perusahaan.

PENUTUP

Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem *Automatic Meter Reading* (AMR) memiliki efektivitas yang tinggi dalam mendeteksi anomali pengukuran energi listrik pada pelanggan PT. Total Prime Engineering. Anomali teridentifikasi secara konsisten pada fasa R, yang hanya mencatat tegangan sekitar 117 V, jauh lebih rendah dibandingkan fasa S dan T yang stabil di kisaran 233 V. Kondisi ini disebabkan oleh sambungan kabel yang longgar, sehingga kWh meter tidak mampu menghitung energi secara akurat. Dampak teknis tersebut menghasilkan selisih energi tidak tertagih sebesar 1.190,746 kWh, dengan estimasi kerugian mencapai Rp 1,72 juta berdasarkan data AMICON. Verifikasi lanjutan menggunakan CALMET menunjukkan error meter sebesar -19,331%, yang mengonfirmasi bahwa energi nyata yang dikonsumsi lebih besar dari yang tercatat, sehingga nilai susulan meningkat hingga Rp 4,19 juta dalam periode 19,44 hari. Temuan ini menegaskan bahwa validasi melalui kombinasi AMR dan pengukuran standar sangat penting untuk memastikan keakuratan pencatatan energi serta mengurangi potensi kerugian pendapatan PLN. Dari sisi metodologis, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan deteksi anomali berbasis AMR, yang selanjutnya diverifikasi oleh instrumen presisi seperti CALMET, merupakan metode yang valid dan kompatibel dengan standar pengukuran energi. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya dilakukan pada satu pelanggan dengan karakteristik beban tertentu, sehingga variasi kondisi jaringan, jenis anomali, dan kategori pelanggan belum tereksplorasi secara luas. Hal ini menuntut penelitian lanjutan yang mencakup lebih banyak sampel dan konteks jaringan yang beragam untuk memperkuat generalisasi hasil.

Berdasarkan temuan tersebut, sejumlah langkah teknis diperlukan untuk mencegah kejadian serupa di masa depan. Di antaranya adalah pemeliharaan infrastruktur dan inspeksi rutin, penggantian meter yang menunjukkan error signifikan, serta optimalisasi sistem AMR melalui integrasi deteksi anomali real-time, dashboard teknis, dan alarm otomatis. Peningkatan kapasitas petugas melalui pelatihan teknis juga menjadi kebutuhan esensial untuk memastikan interpretasi data AMR yang lebih akurat, respons lapangan yang lebih cepat, serta peningkatan transparansi kepada pelanggan. Selain itu,

penelitian lanjutan disarankan untuk mengembangkan pendekatan machine learning dan analitik prediktif guna mendeteksi pola ketidakwajaran secara otomatis sebelum anomali menimbulkan kerugian. Studi masa depan juga perlu melibatkan multi-pelanggan dari berbagai sektor industri, bisnis, maupun rumah tangga untuk menghasilkan model deteksi anomali yang lebih komprehensif, adaptif, dan dapat dijadikan dasar kebijakan pengelolaan susut energi oleh PLN secara nasional.

REFERENSI

- Agustin, W. D., Hamid, M. A., Sultan, U., & Tirtayasa, A. (2024). ANALISIS ERROR METER DAN CT PADA AUTOMATIC METER READING (AMR) DI PT PLN (PERSERO) UP3 CIKUPA. 12(1).
- Bandri, S., Anthony, Z., & Rifky, R. (2025). 7(3), 423-431.
- Eka, F., & Surusa, P. (2024). Analisis Susut Non Teknis Akibat Gangguan pada kWh Meter PT . PLN UP3 Gorontalo. 6.
- Eka, F., Surusa, P., & Humena, S. (2022). Analisa Susut Non Teknis Menggunakan Automatic Meter Reading (AMR) Pada Pelanggan Potensial. 4, 1-7.
- Guna, E. N. (2021). ANALISIS PEMAKAIAN LISTRIK PELANGGAN MENGGUNAKAN SISTEM AUTOMATIC METER READING (AMR) DI PT . PLN (PERSERO) ULP KLATEN KOTA. 143-151.
- Heriyanto, A. (2016). Studi Kasus Kinerja AMR (Automatic Meter Reading) Pada Pelanggan Potensial Daya 41.5 KVA – 200 KVA Di Situbondo. 1-13.
- Manopo, K. G., Tumaliang, H., Silimang, S., Elektro, J. T., Sam, U., Manado, R., & Bahu-manado, J. K. (n.d.). Analisis Indeks Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan SAIFI dan SAIDI Pada PT . PLN (Persero) Area Minahasa Utara. 1-12.
- Seprinalfi, R., Rauf, R., & Ridal, Y. (2025). Penjualan Dan Penurunan Susut Energi Distribusi Menggunakan Automatic Meter Reading Pada Pelanggan 3 Phasa di PT . PLN (Persero) UP3 Muara Bungo. 6(1).
- Tanjung, A. R., & Zain, A. (2019). Analisa Penurunan Susut Non Teknis Dengan AMR PLN (Studi Kasus PT . Tjokro Bersaudara Bontang Kaltim). 17(1), 1-9.
- Wibowo, W. K., Purwaningsih, R., & Susanty, A. (2024). Analisa Implementasi Anomaly Early Warning System pada Pelanggan Automatic Meter Reading (AMR) dalam Pengendalian Susut Jaringan Distribusi pada PLN UP3 Mataram. 2(5), 339-344.
- Wiharja, U., & Albahar, A. K. (2018). ANALISA DETEKSI KETIDAKNORMALAN METER ELEKTRONIK DENGAN SISTEM AUTOMATIC METER READING. 1-6.