

IMPLEMENTASI *AUTOMATIC METER READING* (AMR) SEBAGAI SOLUSI MONITORING DAN MANAJEMEN KONSUMSI LISTRIK REAL-TIME PELANGGAN DI ULP SUNGAILIAT

Sarah Meuthia Nanda^{*1}, Rony Seto Wibowo², Joni³

^{1,2,3} Program Studi Program Profesi Insinyur Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Keywords:

automatic meter reading;
current transformer; risk-
based monitoring; akurasi
penagihan; resiliensi sistem

Correspondent Email:

sarahmeuthiananda@gmail.com



Copyright © 2026 The Author(s),
Published by Jurnal Informatika
dan Teknik Elektro Terapan. This
is an open-access article
distributed under the terms of the
Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International
License (CC BY-NC 4.0).

Abstrak. Keandalan sistem pengukuran energi listrik pada pelanggan tegangan menengah berperan penting dalam menjamin akurasi transaksi tenaga listrik dan perlindungan pendapatan perusahaan. Praktik keinsinyuran ini mengevaluasi implementasi manajemen monitoring pemakaian listrik berbasis Automatic Meter Reading (AMR) pada pelanggan industri di PT PLN (Persero) ULP Sungailiat melalui studi kasus gangguan pengukuran akibat kegagalan Current Transformer (CT). Kasus terjadi pada pelanggan dengan daya kontrak 197.000 VA selama periode 3–17 Desember 2025, ketika CT Fasa T mengalami kerusakan sehingga menyebabkan sepertiga konsumsi energi tidak tercatat. Dampaknya adalah energi tidak terukur sebesar 2.459,19 kWh dengan nilai tagihan susulan sebesar Rp2.387.872,88. Evaluasi dilakukan melalui analisis data digital AMR, pemeriksaan load profile, verifikasi histori rekening, serta inspeksi teknis lapangan. Hasil praktik menunjukkan bahwa sistem AMR mampu mendeteksi anomali pengukuran secara kontinu, namun efektivitasnya belum optimal akibat ketiadaan mekanisme automated anomaly alert. Selain itu, pengelolaan risiko fisik instalasi belum terintegrasi dalam kerangka operasional yang terstruktur. Analisis akar penyebab mengidentifikasi kontribusi faktor biologis, teknis, dan manajerial terhadap kegagalan infrastruktur. Berdasarkan temuan, dirumuskan kerangka risk-based AMR monitoring management yang mencakup sistem peringatan dini digital, inspeksi fisik berbasis risiko, penguatan proteksi infrastruktur, dan prosedur rekonsiliasi terstandarisasi.

1. PENDAHULUAN

Modernisasi sistem distribusi listrik menjadikan Automatic Meter Reading (AMR) sebagai batu loncatan terhadap manajemen pemakaian listrik yang akurat. Di sektor energi listrik, transisi dari pengukuran manual menjadi otomatis telah menunjukkan perkembangan terukur terhadap

akurasi penagihan, efisiensi operasional, dan meminimalisasi kerugian [1], [2]. Pada pelanggan tegangan menengah (medium voltage, MV), pemakaian listrik dan error pada pengukuran akan memengaruhi tagihan sehingga mengakibatkan kerugian finansial bagi perusahaan listrik. Sistem pemantauan

konsumsi energi listrik berbasis AMR telah banyak diadopsi sebagai alat pengukuran energi listrik real-time dan pemantauan anomali tegangan dan arus listrik [3], [4]. Sistem yang diintegrasikan dengan Current Transformer (CT) membentuk arsitektur pengukuran berlapis yang mampu mendata arus tiap fasa, daya reaktif dan daya aktif, serta power factor yang didefinisikan pada interval pengukuran [5], [6]. Meskipun teknologi AMR telah umum digunakan, terdapat kesenjangan antara ketersediaan data dan tindakan deteksi anomali di lapangan [7], [8]. Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa sistem AMR secara kontinu dapat mencatat data dengan kualitas baik dan data tersebut dapat dimanfaatkan secara terstruktur untuk kerangka manajemen risiko [9], [10], [11]. Praktik monitoring masih cenderung reaktif, yakni ketika anomali baru teridentifikasi ketika terdapat pengukuran yang hasilnya berbeda secara signifikan atau ketika dilakukannya evaluasi lapangan secara manual [12]. Kondisi ideal adalah seharusnya terdapat ambang batas peringatan terhadap nilai-nilai yang diukur sebagai tindakan preventif. Kesenjangan ini didasari pada lingkungan yang kurang terkontrol umumnya pada enclosure CT yang berisiko pada bahaya biologis, mekanik, dan lingkungan yang menyebabkan jadwal maintenance konvensional gagal untuk mengidentifikasi gangguan tersebut [13], [14].

Penelitian ini dilakukan secara nyata pada kasus pelanggan skala industri tegangan menengah PT PLN (Persero) ULP Sungailiat dengan kapasitas daya di kontrak adalah sebesar 197.000 VA mengalami kegagalan pengukuran pada 3–17 Desember 2025. Trafo CT mengalami kegagalan pada fasa T yang disebabkan oleh kerusakan kabel akibat gigitan tikus dan api pada enclosure CT. Peristiwa ini mengakibatkan sepertiga konsumsi energi pelanggan tidak tercatat selama 14 hari. Total energi yang tidak tercatat sebesar 2.459,19 kWh membuat PLN mengalami total kerugian sebesar Rp 2.387.872,88.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengukuran energi listrik pada pelanggan tegangan menengah bergantung pada arsitektur pengukuran yakni Current Transformer (CT) untuk mengkonversi arus primer menjadi arus sekunder yang lebih rendah sehingga besaran

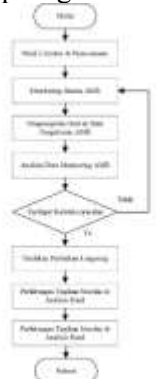
arus dapat terukur oleh energi meter. Pada sistem tiga fasa, tiga unit CT masing-masing beroperasi pada fasa R, S, dan T untuk menurunkan arus agar nilai arus dan tegangan yang diukur dapat dibaca oleh AMR [15]. Keandalan arsitektur ini bergantung terhadap unit CT. Kegagalan satu unit saja akan mengakibatkan pengukuran secara sistematis lebih rendah, yakni sekitar satu per tiga dari konsumsi aktual selama gangguan [12]. Hal ini menjadi dasar kuantitatif untuk menghitung energi yang tidak terukur dan penagihan tambahan sebagaimana diatur dalam Peraturan Direktorat PT PLN Nomor 0011.P/DIR/2018 [16]. Sistem Automatic Meter Reading (AMR) memperluas arsitektur ini dengan memungkinkan pengumpulan data arus per fasa, tegangan, energi aktif dan reaktif, serta faktor daya yang disimpan sebagai profil beban yang berfungsi ganda sebagai acuan historis konsumsi dan alat pengukuran anomali [17], [18], [19]. Penyimpangan yang terus-menerus pada rasio arus per fasa merupakan sinyal diagnostik yang dapat dideteksi dalam data AMR jauh sebelum diperlukan pemeriksaan fisik; namun, untuk memanfaatkan potensi ini diperlukan mekanisme peringatan berbasis ambang batas yang hingga kini masih kurang dimanfaatkan dalam praktik lapangan standar [4], [20], [21]. Kerangka kerja analitis yang diterapkan di penelitian ini mengintegrasikan dua pendekatan yang saling melengkapi. Dengan menerapkan Failure Tree Analysis, FTA peristiwa kegagalan tingkat atas dapat diuraikan menjadi jalur-jalur penyebab yang mencakup faktor teknis, biologis, dan manajerial sehingga tidak lagi hanya mengaitkan kegagalan pada satu penyebab saja, melainkan mengungkap sifat kombinasi dari kegagalan infrastruktur di lapangan [7]. Pemantauan Berbasis Risiko (Risk Based Monitoring, RBM) kemudian menyediakan kerangka kerja normatif bagi model pengelolaan yang diusulkan, dengan mendefinisikan pemantauan sebagai proses identifikasi risiko, respons yang dipicu oleh ambang batas, dan pemulihan yang terdokumentasi. Secara bersama-sama, akar masalah yang diidentifikasi melalui Analisis Penyebab Utama (FTA) secara langsung menjadi dasar bagi mekanisme pencegahan yang terintegrasi dalam kerangka kerja berbasis RBM.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT PLN (Persero) ULP Sungailiat selama empat minggu, dengan menggabungkan analisis data digital dan inspeksi lapangan secara fisik. Pengumpulan data bersumber dari dua sumber utama, yakni:

1. Sistem AMR PLN yang mencakup catatan pemantauan instan harian (arus per fasa, tegangan, dan faktor daya), data profil beban selama periode September 2025 hingga Februari 2026, riwayat tagihan selama 24 bulan, serta pembacaan meteran pada saat penggantian komponen.

2. Inspeksi lapangan yang dilakukan pada tanggal 17 Desember 2025, yang menghasilkan laporan inspeksi resmi (BA P2TL), dokumentasi foto pada kotak CT yang rusak, serta parameter gangguan yang telah diverifikasi. Alat ukur yang digunakan meliputi clamp meter tiga fasa (HIOKI 3286-20), multimeter digital, dan kotak perkakas berisolasi, yang dilengkapi dengan sistem informasi internal PLN untuk pengambilan data profil beban dan penagihan.

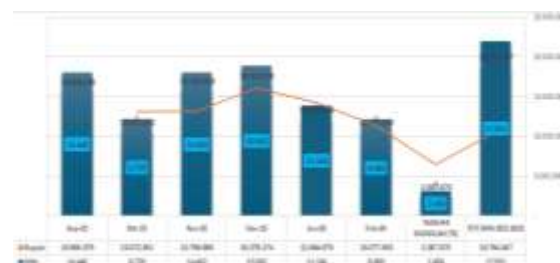


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Analisis data dilakukan melalui tiga tahap berurutan. Pertama, data pemantauan AMR diperiksa untuk mengidentifikasi dan mendokumentasikan secara kronologis anomali tersebut. Khususnya, pembacaan arus Fase T yang terus-menerus menunjukkan nilai nol dari tanggal 3 hingga 17 Desember 2025. Kedua, perbandingan profil beban antar periode penagihan yang berdekatan digunakan untuk menghitung energi yang tidak terukur, dengan menerapkan rumus $TS = (1/3 \times \text{total kWh selama periode anomali}) \times \text{tarif LWBP}$, yang menghasilkan nilai tagihan tambahan. Ketiga,

analisis akar masalah dilakukan dengan menggunakan Analisis Pohon Kesalahan (FTA), yang mengurai peristiwa kegagalan tingkat atas menjadi faktor-faktor penyebab biologis, teknis, dan manajerial. Temuan dari ketiga tahap tersebut kemudian disintesis untuk merumuskan kerangka kerja pengelolaan pemantauan AMR berbasis risiko yang terdiri dari empat lapisan operasional, yakni peringatan ambang batas otomatis, inspeksi fisik terjadwal, perlindungan infrastruktur terhadap bahaya biologis, serta prosedur pemulihan dan rekonsiliasi yang terstandarisasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2 Data Pemakaian Energi Listrik oleh Pelanggan

Data pemantauan AMR menjadi bukti digital utama atas kegagalan pengukuran tersebut. Catatan menunjukkan bahwa arus Fase T tercatat pada tingkat normal berkisar antara 0,496 A dan 0,553 A pada 1–2 Desember 2025, sebelum turun menjadi nol mulai 3 Desember dan tetap nol pada setiap pembacaan berikutnya hingga 17 Desember 2025, sementara Fase R dan S terus beroperasi secara normal dalam kisaran 0,4–0,7 A. Anomali arus nol selama 14 hari pada Fase T ini terlihat jelas pada data mentah dan merupakan indikasi yang dapat diverifikasi secara digital yang telah tersedia dalam sistem sejak hari pertama terjadinya gangguan. Dampaknya terhadap penagihan dapat diukur secara langsung dari catatan meter yang menunjukkan konsumsi total untuk Desember 2025 (ditagihkan pada Januari 2026) sebesar 11.104 kWh yang terdiri dari LWBP 9.211,2 kWh dan WBP 1.893,0 kWh (dibandingkan dengan rata-rata bulanan sebelum anomali sebesar 14.402–15.092 kWh pada dua bulan sebelumnya). Selama periode anomali 14 hari (3–17 Desember), tercatat total konsumsi sebesar 7.377,57 kWh pada kedua fase yang beroperasi. Dengan menerapkan

asumsi keseimbangan tiga fase, kontribusi Fase T yang tidak terukur sebesar $1/3 \times 7.377,57 = 2.459,19$ kWh. Dengan tarif konservatif LWBP sebesar Rp 972/kWh sesuai Peraturan Direktorat PLN Nomor 0011.P/DIR/2018, nilai tagihan tambahan mencapai Rp 2.387.872,88. Kerugian pendapatan yang sepenuhnya dapat dipulihkan melalui mekanisme rekonsiliasi formal, namun hal ini hanya terjadi karena anomali tersebut pada akhirnya teridentifikasi.



Gambar 3 Riwayat Tagihan Pelanggan

Pemeriksaan fisik pada tanggal 17 Desember 2025, yang didokumentasikan dalam BA P2TL No. BKS-0208927, menunjukkan bahwa kotak CT telah mengalami kerusakan parah akibat kebakaran. Formulir pemeriksaan resmi mencatat arus primer Fase T sebesar nol, sedangkan Fase R dan S masing-masing terukur sebesar 41,63 A dan 41,75 A yang membuktikan bahwa penyebab pembacaan nol tersebut adalah kegagalan CT, bukan ketidakseimbangan beban. Penyebab utama diidentifikasi sebagai kerusakan kabel yang disebabkan oleh hewan pengerat. Seekor tikus masuk ke dalam kotak pelindung melalui celah ventilasi yang tidak tertutup rapat, menggerogoti isolasi konduktor Fase T, dan menyebabkan korsleting yang membakar CT beserta kotak pelindungnya. Analisis Pohon Masalah terhadap kejadian ini mengidentifikasi tiga jalur penyebab yang saling beririsan.

Dari segi biologis, tidak adanya penyegehan yang dapat melindungi dari gigitan tikus pada kotak penutup memungkinkan risiko ini. Dari segi teknis, kabel Fasa T tidak dilengkapi dengan pelindung lapisan baja, dan lokasi kotak penutup yang berdekatan dengan vegetasi lebat yang tidak terawat meningkatkan risiko paparan. Dari segi manajemen, tidak ada jadwal inspeksi fisik yang ditetapkan untuk CT. SOP pemantauan AMR yang berlaku hanya

mencakup peninjauan data digital tanpa komponen verifikasi fisik dan tidak ada langkah-langkah pencegahan yang diterapkan pada instalasi tersebut meskipun kondisinya terpapar risiko. Perpaduan ketiga faktor tersebut menyebabkan kegagalan yang tidak dapat dicegah oleh satu langkah mitigasi saja. Hal ini menegaskan bahwa insiden ini bersifat sistemik, bukan sekadar kebetulan.

ID Pelanggan	181100722183	Total Yang Harus Dibayarkan* Rp 10.577.858
Nama Pelanggan	TU RUDI SUYONO	Total Tagihan** Rp 10.577.858
Alamat Pelanggan	28 JALAN G. SUMANALAK	
MDP	0114 088 188 080	
Nama Sesuai NPMSP	RUDI SUYONO	
Alamat Sesuai NPMSP	LINGKARAN JALAN	
MDP	0114 088 188 080	
Geografi Tarif	02 / 957 000 V/A	
Faktor Rata-Rata	957 / 100	
Tunggakan Bulan Sebelumnya	Rp 0	
Catatan		Pembayaran dapat dilakukan melalui
BP (Batas Pengembungan)	Rp 0	PLN Mobile
SAL (Sisa Jaminan Langganan)	Rp 0	My PLN (Bank, POS, Ger. Mitra, Layanan)
Angsuran Lainnya	Rp 0	Informasi Pengaduan
Biaya Sisa / Denda	Rp 0	Call Center 123
Rincian Tagihan Bulan Berjalan		Kontak Kami
Stand Awal (01-01-2025)	10.577	Email: p123@pln.co.id
Stand Akhir (01-01-2026)	10.577	Twitter: @p123
Stand Awal (01-01-2026)	10.577	Facebook: PLN 123
Stand Akhir (01-01-2026)	10.577	Instagram: p123_official
kWh LWBP: 1.971	Tarif LWBP: Rp 972,00	
kWh WSP: 1.751	Tarif WSP: Rp 1.000,00	
kWh: 0	Tarif WSP: Rp 1.000,00	

Gambar 1 Rincian Penghitungan Tagihan

$$\begin{aligned}
 TS &= (1/3 \times \text{Total kWh periode anomali}) \\
 &\quad \times \text{Tarif LWBP} \\
 &= (1/3 \times 7.377,57 \text{ kWh} \times 14 \text{ hari}) \times \text{Rp } 972,00 \\
 &\quad / \text{kWh} \\
 &= 2.459,19 \text{ kWh} \times \text{Rp } 972,00 \\
 &= \text{Rp } 2.387.872,88
 \end{aligned}$$

Tabel 1 Rincian Penghitungan Susulan

Parameter	Nilai	Keterangan
Total kWh Des 2025 (rekening Jan 2026)	11.104 kWh	Pengukuran actual 2 fasa
Total kWh 3-17 Des 2025 (14 hari)	7.377,57 kWh	Data stand meter cabut vs awal
kWh Fasa T (1/3 dari total 14 hari)	2.459,19 kWh	Asumsi beban 3 fasa seimbang
Tarif LWBP yang digunakan	Rp 972,00 / kWh	Tarif terendah (konservatif)

dikonfigurasi, perlindungan infrastruktur fisik terhadap bahaya lingkungan lapangan, serta prosedur inspeksi dan pemulihan yang terstandarisasi menjadi fokus utama. Kerangka kerja pemantauan AMR berbasis risiko yang diusulkan dalam studi ini telah mengatasi setiap kesenjangan yang teridentifikasi dan menawarkan model yang dapat ditiru oleh unit-unit distribusi lain yang beroperasi dalam kondisi lapangan serupa, sehingga berkontribusi pada tujuan yang lebih luas untuk menyelaraskan kemampuan pengukuran utilitas dengan tata kelola risiko operasional yang sistematis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. D. Sawarkar dan Mrs. S. S. Golait, "A Review Paper on Automatic Meter Reading and Instant Billing," *IJARCCCE*, hlm. 213–217, Jan 2015, doi: 10.17148/ijarccce.2015.4146.
- [2] S. Palaniappan SSNCE, R. Asokan, S. Bharathwaj SSNCE, dan K. Tamilnadu, "Automated Meter Reading System-A Study General Terms," 2015.
- [3] A. Bondok dkk., "Accurate Power Consumption Predictor and One-Class Electricity Theft Detector for Smart Grid 'Change-and-Transmit' Advanced Metering Infrastructure," *Applied Sciences* (Switzerland), vol. 14, no. 20, Okt 2024, doi: 10.3390/app14209308.
- [4] S. Rüstemli, Y. Kocaman, B. Kocaman, G. Şahin, dan W. van Sark, "The effect of using automatic meter reading system in electricity distribution systems on reducing non-technical losses: The case of Bitlis province in Turkey," *Energy Strategy Reviews*, vol. 58, Mar 2025, doi: 10.1016/j.esr.2025.101674.
- [5] K. G. Koukouvinos, G. K. Koukouvinos, P. Chalkiadakis, S. D. Kaminaris, V. A. Orfanos, dan D. Rimpas, "Evaluating the Performance of Smart Meters: Insights into Energy Management, Dynamic Pricing and Consumer Behavior," *Applied Sciences* (Switzerland), vol. 15, no. 2, Jan 2025, doi: 10.3390/app15020960.
- [6] Three-Phase Current Transformer E-Meter Reference Design With Standalone ADC. Texas Instrument, 2025. [Daring]. Tersedia pada: www.ti.com
- [7] B. D. Sawarkar dan Mrs. S. S. Golait, "A Review Paper on Automatic Meter Reading and Instant Billing," *IJARCCCE*, hlm. 213–217, Jan 2015, doi: 10.17148/ijarccce.2015.4146.
- [8] A. M. Al-Ghaili dkk., "A review of anomaly detection techniques in advanced metering infrastructure," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 10, no. 1, hlm. 266–273, Feb 2021, doi: 10.11591/eei.v10i1.2026.
- [9] A. V. Pazderin, I. D. Polyakov, dan V. O. Samoylenko, "Energy flow problem solution based on state estimation approaches and smart meter data," *Global Energy Interconnection*, vol. 5, no. 5, hlm. 551–563, Okt 2022, doi: 10.1016/j.gloi.2022.10.009.
- [10] I. Vlasa, A. Gligor, C. D. Dumitru, dan L. B. Iantovics, "Smart metering systems optimization for non-technical losses reduction and consumption recording operation improvement in electricity sector," *Sensors* (Switzerland), vol. 20, no. 10, Mei 2020, doi: 10.3390/s20102947.
- [11] Trisno Sanyoto, Muhammad Septian Wijaya, dan Zainul Bachtiar Sadoni, "Analisis Vektor pada Alat Pengukur dan Pembatas (APP) 3 Fasa di PLN UP3 Mojokerto," *Jurnal Riset Sistem Informasi*, vol. 1, no. 2, hlm. 17–30, Apr 2024, doi: 10.69714/habpy378.
- [12] F. Eka Putra Surusa, S. Humena, dan F. Yanto Nani, "Analisa Susut Non Teknis Menggunakan Automatic Meter Reading (AMR) Pada Pelanggan Potensial," vol. 4, 2022.
- [13] R. Fechet, A. I. Petrariu, dan A. Graur, "Partial discharge and internet of things: A switchgear cell maintenance application using microclimate sensors," *Sensors*, vol. 21, no. 24, Des 2021, doi: 10.3390/s21248372.
- [14] A. Subramaniam, A. Sahoo, S. S. Manohar, S. J. Raman, dan S. K. Panda, "Switchgear Condition Assessment and Lifecycle Management- Standards, Failure Statistics, Condition Assessment, Partial Discharge Analysis, Maintenance Approaches, and Future Trends," vol. 37, no. 3, 2021.
- [15] Y. Xu, Y. Li, X. Xiao, Z. Xu, dan H. Hu, "Monitoring and analysis of electronic current transformer's field operating errors," *Measurement* (Lond)., vol. 112, hlm. 117–124, Des 2017, doi: 10.1016/j.measurement.2017.08.015.
- [16] Direksi PT PLN (Persero), "Peraturan Direksi (Perdir) PT PLN (Persero) No. 0011.P/DIR/2018," 2018.
- [17] A. Rachmawati dan D. Nugroho, "Analisis Susut Non Teknis Berdasarkan Load Profile dan Jam Nyala pada Pelanggan AMR

- (Automatic Meter Reading) PT PLN (Persero) UP3 Bima,” *Elektrika*, vol. 17, no. 1, hlm. 55–61, Mei 2025, doi: 10.26623/elektrika.v17i1.11498.
- [18] G. Patrizi dkk., “Anomaly Detection for Power Quality Analysis Using Smart Metering Systems,” *Sensors*, vol. 24, no. 17, Sep 2024, doi: 10.3390/s24175807.
- [19] S. D. Saldarriaga-Zuluaga, J. R. Velasco-Méndez, C. M. Moreno-Paniagua, B. Alvarez-Arboleda, dan S. A. Estrada-Mesa, “Electrical Measurement Dataset from a University Laboratory for Smart Energy Applications,” *Data (Basel)*, vol. 10, no. 11, Nov 2025, doi: 10.3390/data10110170.
- [20] E. Alexandr, K. Elena, dan P. Andrew, “Detection of systematical errors of AMR system complexes,” dalam *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publications Ltd, 2014, hlm. 1342–1346. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.960-961.1342.
- [21] A. Pasdar dan H. H. Mehne, “Intelligent three-phase current balancing technique for single-phase load based on smart metering,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 33, no. 3, hlm. 693–698, Mar 2011, doi: 10.1016/j.ijepes.2010.11.019.