



Optimasi Rute Penggantian *Kwhmeter* Pascabayar dengan *K-Means* dan Algoritma Genetika

Defriko Christian Dewandhika¹, Nurhadi Siswanto²

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Email: defriko.christian@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan PLN Unit Induk Distribusi untuk memitigasi risiko ekstrem berupa tingginya saldo rekening pada tanggal 21 setiap bulan, yang dapat mengganggu arus kas dan kinerja keuangan perusahaan. Salah satu strategi mitigasi adalah penggantian *kWhmeter* konvensional dengan Advanced Metering Infrastructure (AMI) atau *kWhmeter* dua arah yang dapat melakukan pemutusan daya jarak jauh. Tujuan penelitian ini adalah memprioritaskan pelanggan yang akan diganti *kWhmeter*nya berdasarkan keterbatasan material, serta mengoptimalkan rute penggantian dengan sumber daya tim yang terbatas. Metode yang digunakan melibatkan algoritma *K-means* untuk segmentasi pelanggan, dengan validasi menggunakan *silhouette score* yang menghasilkan kluster optimal sebanyak enam kelompok. Selanjutnya, algoritma genetika digunakan untuk mencari rute terbaik berdasarkan jarak dan waktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rute optimal yang dihasilkan memiliki total jarak tempuh minimum 1.434,29 km dan total waktu 18.868,58 menit, dengan parameter populasi sebanyak 50 kromosom dan 500 generasi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi efektif dalam mendukung efisiensi operasional dan mitigasi risiko pada PLN.

Kata Kunci: *kWhmeter*, AMI, Optimasi, *K-means*, algoritma genetika

ABSTRACT

This research is driven by the need of PLN Distribution Main Unit to mitigate the extreme risk of high account balances on the 21st of each month, which can disrupt cash flow and financial performance. One mitigation strategy is replacing conventional kWh meters with Advanced Metering Infrastructure (AMI), or two-way meters, which allow remote disconnection. The purpose of this study is to prioritize customers for meter replacement based on limited material availability and to optimize replacement routes under restricted team resources. The method used involves the K-means algorithm for customer segmentation, validated by silhouette score, which resulted in six optimal clusters. Genetic algorithm was then applied to determine the most efficient routes based on distance and time. The results showed that the optimal route had a minimum total travel distance of 1,434.29 km and a total time of 18,868.58 minutes, using a population size of 50 chromosomes and 500 generations. This study is expected to offer an effective solution for improving operational efficiency and risk mitigation at PLN.

Keywords: *kwhmeter*, AMI, Optimization, *K-means*, genetic algorithm

PENDAHULUAN

Dalam konteks pengelolaan piutang listrik pada perusahaan utilitas, beberapa studi menyoroti pentingnya analisis perilaku pelanggan serta penerapan strategi berbasis data untuk memitigasi risiko piutang tinggi, seperti yang terjadi pada tanggal penagihan bulanan (Whardana Moljoadie, 2023; Darko et al., 2016). Whardana Moljoadie (2023) menggunakan metode Delphi dan analisis Borda untuk memetakan faktor-faktor yang mempengaruhi

kemampuan bayar pelanggan PLN, seperti karakteristik regional, yang dapat digunakan PLN untuk membangun strategi operasional dalam mengendalikan piutang. Darko, Adarkwah & Donkor (2016) menemukan bahwa perusahaan listrik Ghana memiliki Days Sales Outstanding (DSO) rata-rata 158 hari, menyoroiti perlunya proses penagihan yang lebih sistematis dan pemisahan piutang macet. HighRadius (2024) menggarisbawahi pentingnya pemantauan piutang secara cermat dan segmentasi pelanggan, terutama saat menghadapi volatilitas pasar, untuk menjaga likuiditas. Electricity.ca (2025) menekankan pemanfaatan AI dan data mining guna mengelompokkan piutang pelanggan dan menerapkan strategi pemulihan yang lebih tepat sasaran. Invensis (2025) menunjukkan bahwa digitalisasi proses piutang dan penggunaan alat otomatisasi dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan menurunkan risiko piutang macet. Centime (2025) menambahkan bahwa pemberian insentif pembayaran dini serta tindak lanjut aktif terhadap pelanggan yang menunggak adalah praktik terbaik untuk mempercepat arus kas. Studi-studi ini sejalan dengan upaya PLN dalam mengidentifikasi dan memitigasi risiko saldo tinggi setiap tanggal 21, melalui strategi seperti segmentasi pelanggan, otomatisasi, pemberian insentif, dan penerapan pemantauan ketat untuk mencegah eskalasi piutang menjadi beban keuangan yang ekstrem (Hapsari et al., 2025).

Penelitian menunjukkan bahwa pemutusan layanan listrik secara fisik oleh petugas (manual disconnection) sering kali menghadapi tantangan operasional signifikan seperti inefisiensi waktu dan biaya, serta potensi dampak sosial terhadap pelanggan (ComEd, 2012). Sebagai respons, beberapa utilitas air dan listrik mulai menerapkan sistem pemutusan otomatis atau smart metering untuk meningkatkan efektivitas dan kecepatan proses (Nguyen et al., 2023). Studi dari Batam (PLN Batam) juga menunjukkan bahwa proses manual pemutusan meter sering mengalami kesalahan pencatatan dan ketidaksesuaian data pelanggan, yang memperburuk backlog piutang (Neliti, 2020). Kajian tentang smart grids dan smart meters menekankan bahwa otomatisasi tidak hanya mengurangi beban kerja petugas, tetapi juga memungkinkan pemantauan waktu nyata sehingga pemutusan bisa dilakukan tepat pada tanggal jatuh tempo (Wang et al., 2018; Ibrahim et al., 2020). Sementara itu, ulasan tentang disconnection praktik di utilitas menyarankan bahwa sistem manual rentan terhadap keterlambatan dan mempengaruhi kepuasan pelanggan, yang pada akhirnya dapat melemahkan efek edukatif dari pemutusan (Energy Justice Lab, 2025). Implementasi smart metering disarankan sebagai jalan tengah yang mempertimbangkan faktor teknis, sosial, dan regulasi, sehingga aktivitas pemutusan dapat dilakukan efisien dan tepat waktu setiap tanggal 21 tanpa mengorbankan kualitas layanan (Ibrahim et al., 2020; Wang et al., 2018).

Mitigasi lainnya adalah melalui pemasangan Advanced Metering Infrastructure (AMI). AMI merupakan sistem yang mengintegrasikan perangkat pengukuran dan komunikasi dua arah, yang memungkinkan pemantauan data konsumsi energi, tegangan, arus, serta kondisi daya hampir secara real-time (Isminarti, 2023; Wijanto, 2024). Sistem ini juga mampu melakukan kontrol jarak jauh terhadap kwhmeter pelanggan, termasuk pemutusan dan penyambungan kembali daya (Lilihata et al., 2023; Munthe, 2021). AMI merupakan pengembangan dari teknologi Advanced Meter Reading, dengan penambahan kemampuan konektivitas melalui Home Area Network yang memungkinkan otomatisasi dan efisiensi dalam manajemen jaringan listrik pelanggan.

Penggantian kWh meter berbasis AMI telah dieksplorasi sebelumnya, seperti studi oleh Idara et al. (2024) yang membandingkan pemrograman dinamis, algoritma genetika, dan Google OR-Tools untuk optimasi rute penggantian meter di ULP Tegalrejo, dan menemukan OR-Tools unggul dalam jarak tempuh dan kecepatan. Namun, penelitian tersebut tidak mempertimbangkan pemetaan prioritas pelanggan berdasarkan pola tunggakan histori (Fitriani, 2021). Sementara itu, penelitian tentang pengelompokan konsumen menggunakan K-means pada data smart meter di London mengelompokkan pelanggan berdasarkan perilaku konsumsi, namun fokusnya adalah manajemen permintaan energi, bukan prioritas intervensi teknis seperti penggantian meter. Penelitian ini menjembatani dua gap ini dengan menggabungkan segmentasi pelanggan bermasalah tagging dan optimasi rute penggantian dalam satu kerangka kerja. Dengan menggunakan K-means (tervalidasi silhouette score menghasilkan $k=6$) untuk menyusun prioritas pelanggan yang harus diganti meter-nya dan algoritma genetika untuk menentukan rute optimal—total jarak optimal 1.434,29 km dan waktu tempuh 18.868,58 menit (populasi 50 kromosom, 500 generasi)—penelitian ini menawarkan pendekatan yang terpadu, efisien, dan praktis bagi PLN Unit Induk Distribusi.

Tujuan dari penelitian ini adalah menyusun model integratif untuk memprioritaskan pelanggan yang perlu dilakukan penggantian kWhmeter dan menentukan rute teknis yang optimal berdasarkan keterbatasan waktu dan personil. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan solusi praktis yang efisien bagi PLN dalam upaya mitigasi risiko saldo rekening tinggi dan peningkatan efektivitas operasional di lapangan.

METODE

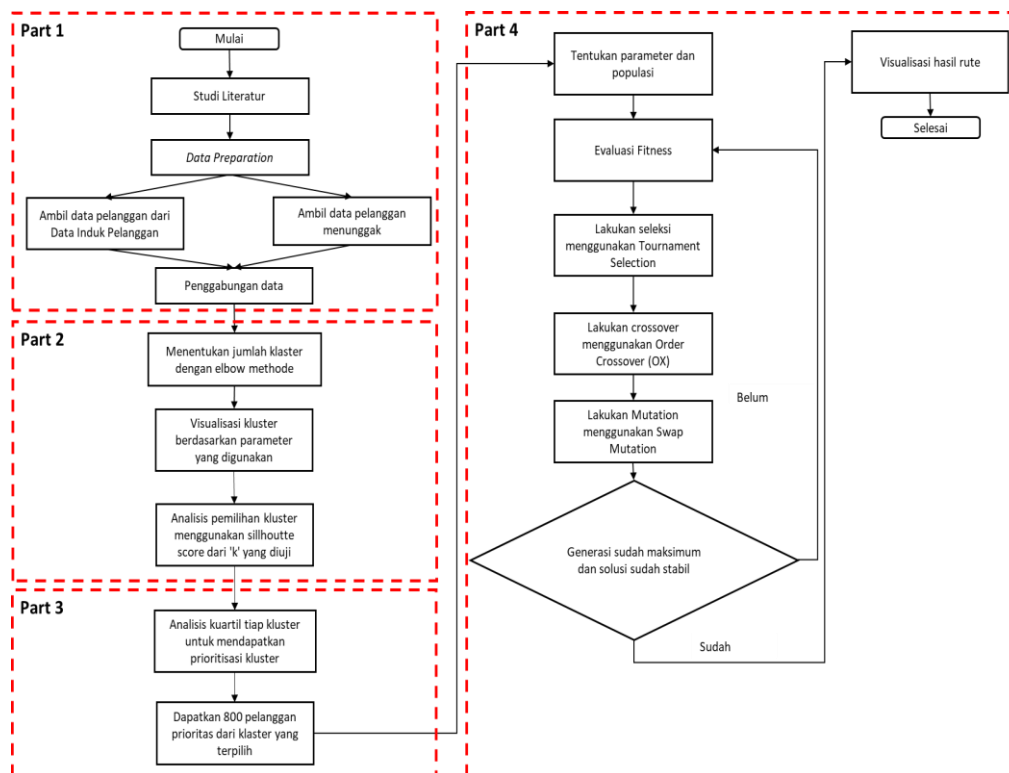
Penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif, yang bertujuan untuk menyusun model pengambilan keputusan dalam prioritas pelanggan dan optimasi rute penggantian kWhmeter berbasis keterbatasan sumber daya teknis. Penelitian ini menggunakan metode simulasi dan pemodelan matematis yang dikombinasikan dengan algoritma K-means untuk proses pengelompokan pelanggan, serta algoritma genetika untuk perhitungan rute optimal.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh pelanggan PLN yang tercatat dalam Data Induk Pelanggan Unit Layanan Pelanggan (ULP) D, yang berjumlah 63.800 pelanggan. Sampel dalam penelitian ini difokuskan pada pelanggan yang memiliki riwayat tunggakan tagihan listrik pada tanggal 21 setiap bulan, dengan periode pengamatan dari Januari 2022 hingga Juni 2024. Jumlah pelanggan sasaran yang akan diganti kWhmeternya adalah 800 pelanggan yang dipilih berdasarkan hasil klusterisasi prioritas.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari sistem internal PLN berupa Data Induk Pelanggan, data historis keterlambatan pembayaran, serta informasi teknis pelanggan. Studi literatur juga dilakukan untuk mendukung pemahaman teoritis mengenai algoritma K-means, metode optimasi berbasis algoritma genetika, serta pendekatan manajemen pelanggan dan risiko. Literatur dikaji berasal dari jurnal ilmiah, prosiding, serta buku akademik yang relevan.

Proses analisis data dilakukan secara bertahap. Pertama, data pelanggan disesuaikan formatnya dan dilakukan prapemrosesan. Selanjutnya, algoritma K-means diterapkan untuk

mengelompokkan pelanggan ke dalam beberapa kluster prioritas, dengan pemilihan jumlah kluster optimal menggunakan silhouette score. Setelah kluster prioritas ditentukan, data lokasi pelanggan yang terpilih diolah menggunakan algoritma genetika untuk menentukan rute penggantian kWhmeter paling optimal. Parameter yang digunakan dalam simulasi rute meliputi: jumlah tim teknisi sebanyak 4 tim (masing-masing 2 orang), target 800 kWhmeter, durasi kerja 22 hari (8 jam/hari), waktu penggantian per unit selama 20 menit, kecepatan kendaraan 30 km/jam, serta titik awal dan akhir di kantor ULP. Hasil dari proses optimasi akan menunjukkan urutan penggantian dan estimasi jarak serta waktu tempuh paling efisien yang dapat diimplementasikan di lapangan.

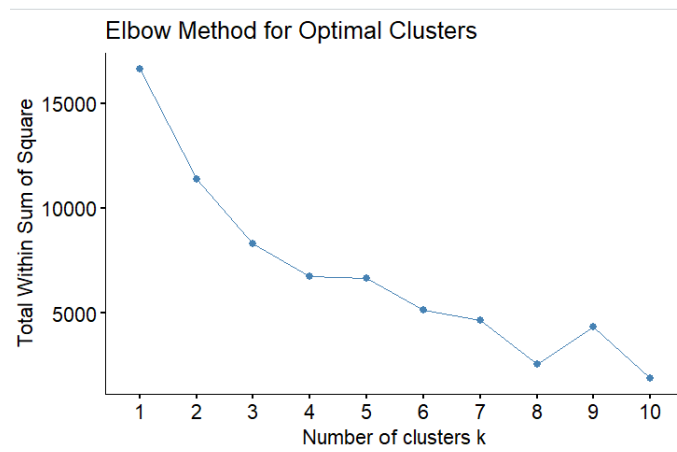


Gambar 1. Alur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

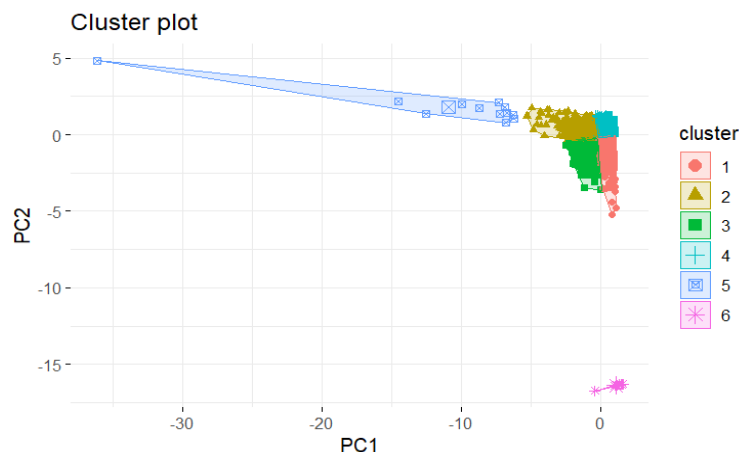
Visualisasi Kluster

Penentuan kluster yang optimal dapat dilakukan dengan menggunakan metode *elbow metode*.



Gambar 2. Hasil simulasi *elbow method*

Dari Gambar 2 dapat dilihat hasil simulasi *elbow method* dimana grafik tersebut mengalami pembentukan siku pada $k=4$ dan terus melandai serta tidak ada perubahan yang signifikan hingga $k=10$. Hasil visualisasi klaster dengan hasil paling optimal didapatkan klaster dengan ' k '=6 dibuktikan dengan *silhouette score* paling tinggi yaitu 0.482707 Hasil visualisasi klaster dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Hasil visualisasi klaster ' k '=6

Prioritisasi Pelanggan

Pada proses prioritisasi pelanggan ini, metode yang digunakan adalah kuartil yang hanya berfokus pada klaster-klaster di ' k '=6. Metode analisis kuartil ini memiliki langkah-langkah logika proses sebagai berikut:

- a. Data dikelompokkan berdasarkan klaster yang hanya fokus pada ' k ' yang sudah dipilih dalam hal ini ' k '=6.
- b. Setiap klaster akan dilakukan analisis kuartil untuk tiga variabel utama dengan:
 - 1) Q1 (kuartil 1): batas bawah (25%) dari distribusi data
 - 2) Q2 (kuartil 2): nilai median dari distribusi data
 - 3) Q3 (kuartil 3): batas atas (75%) dari distribusi data

Penentuan kluster prioritas dari enam kluster yang ada, nantinya akan dipilih pada Q3 dengan kombinasi dari tiga variabel yang memiliki kecenderungan bernilai tinggi dibandingkan dari kluster lainnya.

- c. Setelah ditentukan kluster yang memiliki Q3 tertinggi, data pada kluster tersebut diurutkan dari besar ke kecil
- d. Dari hasil yang sudah diurutkan, diambil 800 data teratas sesuai dengan batasan masalah pada penelitian ini.

Sesuai langkah-langkah tersebut di atas, maka didapatkan hasil melalui pengkodean R-Studio dengan keseluruhan data pada kluster 1.

Hasil Optimasi Algoritma Genetika

Penelitian ini akan dilakukan percobaan untuk variasi parameter populasi dan iterasi.

Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Kombinasi ukuran iterasi tetap dengan variasi ukuran populasi
- b. Kombinasi ukuran populasi tetap dengan variasi ukuran iterasi

Hasil dari proses optimasi metode Algoritma Genetika pada Tabel 1

Tabel 1. Hasil pengujian metode Algoritma Genetika

Populasi (kromosom)	Iterasi (generasi)	Repetisi	Waktu Total (menit)	Jarak Total (km)
50	500	1	18915.03	1457.52
50	500	2	18895.68	1426.84
50	500	3	18918.28	1460.14
50	500	4	18949.27	1474.64
50	500	5	18947.84	1473.92
100	500	1	18872.71	1436.35
100	500	2	18880.51	1440.25
100	500	3	18950.66	1475.33
100	500	4	18907.66	1454.83
100	500	5	18991.44	1445.72
150	500	1	18922.72	1461.36
150	500	2	18927.23	1463.62
150	500	3	18956.98	1478.49
150	500	4	18913.09	1456.55
150	500	5	18960.52	1480.26
500	50	1	18951.16	1475.58
500	50	2	18943.51	1471.75
500	50	3	18924.09	1462.04
500	50	4	18807.65	1403.82
500	50	5	18901.14	1450.57
500	100	1	18859.51	1429.75
500	100	2	18969.55	1484.78
500	100	3	18871.58	1435.79

Populasi (kromosom)	Iterasi (generasi)	Repetisi	Waktu Total (menit)	Jarak Total (km)
500	100	4	18906.09	1453.05
500	100	5	18952.19	1476.1
500	200	1	18868.65	1434.32
500	200	2	18961.11	1480.55
500	200	3	18910.22	1455.11
500	200	4	18911.57	1455.78
500	200	5	18952.93	1476.46

Sumber: data olahan

Dari hasil pengujian yang ada pada Tabel 1 di atas, dilakukan repetisi masing-masing sebanyak lima kali untuk setiap kombinasi parameter. Berdasarkan lima kali pengujian ulang dengan parameter yang sama, diperoleh hasil yang berbeda-beda baik dalam aspek total waktu maupun total jarak tempuh. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma genetika memiliki sifat stochastic atau tidak deterministik, di mana proses inisialisasi populasi awal dan mekanisme crossover serta mutasi dilakukan secara acak. Oleh karena itu, solusi optimal yang dihasilkan dari algoritma ini dapat bervariasi meskipun dijalankan dengan konfigurasi yang identik.

Secara umum, semakin besar jumlah populasi dan iterasi, solusi yang diperoleh cenderung lebih stabil dan optimal dibuktikan dengan nilai standar deviasi yang semakin kecil. Pengaruh terlalu kecilnya ukuran populasi dan iterasi mengakibatkan nilai yang dihasilkan lebih tidak stabil dibandingkan dengan ukuran populasi dan iterasi yang relatif lebih besar.

Dari tabel pengujian sesuai Tabel 1 di atas, dapat disimpulkan kombinasi ukuran populasi 150 kromosom dengan ukuran iterasi 500 generasi memiliki hasil yang paling stabil yang dibuktikan dengan nilai standar deviasi yang paling kecil. Namun, untuk hasil total jarak yang paling pendek dan total waktu yang paling rendah dicapai oleh pengujian kombinasi ukuran populasi 500 kromosom dengan ukuran iterasi 50 generasi yaitu 1.403,82 km dan 18.807,65 menit. Hasil total jarak dan total waktu tersebut adalah akumulasi proses penjadwalan pengerjaan penggantian kWhmeter yang dilakukan oleh 4 tim yang memiliki kesamaan yaitu selesai pada sebelas hari kerja. Hal tersebut relatif cukup jauh jika dibandingkan dengan batasan waktu maksimal pengerjaan yaitu 22 hari kerja.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa proses klastering pelanggan Unit Layanan Pelanggan (ULP) D yang menunggak berhasil dilakukan menggunakan metode K-Means, dengan hasil terbaik terbagi menjadi enam klaster berdasarkan nilai silhouette score tertinggi yaitu sebesar 0,482707. Dari hasil klaster tersebut, ditetapkan prioritas penggantian kWhmeter untuk 800 pelanggan yang ditentukan menggunakan pendekatan kuartil, dengan fokus pada klaster 1. Nilai tertinggi pada kuartil ketiga (Q3) menunjukkan bahwa pelanggan dengan frekuensi menunggak hingga 29 kali, umur

kWhmeter mencapai 122 bulan, dan total tunggakan hingga Rp68.551.594,00 menjadi kelompok prioritas utama. Dalam pengujian optimasi rute penggantian, hasil terbaik dicapai pada kombinasi ukuran populasi 50 kromosom dan 500 generasi iterasi, yang menghasilkan total jarak tempuh minimum sebesar 1.403,82 km dan waktu operasional terendah sebesar 18.807,65 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa metode kombinasi antara K-Means dan algoritma genetika efektif dalam menentukan prioritas teknis dan logistik penggantian meter secara efisien. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah mengintegrasikan variabel geografis dan biaya operasional aktual sebagai parameter tambahan dalam optimasi rute, serta mengembangkan dashboard visual berbasis GIS untuk mendukung pengambilan keputusan teknis secara real-time.

DAFTAR PUSTAKA

- Fitriani, R. W. (2021). *Peramalan kebutuhan material untuk permintaan pasang baru dan perubahan daya di PT PLN (Persero) UP3 XYZ*.
- Hapsari, A. A., SE, M. M., & GRCE, C. (2025). *Manajemen Risiko Keuangan: Strategi Proteksi dan Pengambilan Keputusan*. Takaza Innovatix Labs.
- Ismindari, I. (2023). *Pemodelan dan Simulasi Sistem Keamanan Jaringan Komunikasi pada Smart Grid*. Universitas Hasanuddin.
- Lilihata, J. A., Tumbelaka, H., & Khoswanto, H. (2023). Sistem Kendali Jarak Jauh Untuk Pemutusan dan Penyambungan kWh Meter Dengan Ponsel. *Teknika*, 12(2), 138–143.
- Munthe, S. G. (2021). *LKP Pemeliharaan Alat Pengukur dan Pembatas kWh Meter sebagai Pelayanan pada Pelanggan di PT. PLN ULP Simpang Kawat*.
- Darko, E. A., Adarkwah, S., & Donkor, F. (2016). *Management of accounts receivables in utility companies: A focus on Electricity Company of Ghana (ECG)*. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 6(11), 486–515.
- Electricity.ca. (2025). *Proactive businesses turning to specialized accounts receivable management*. Retrieved from Electricity.ca knowledge centre.
- Centime. (2025). *The ultimate guide to accounts receivable*. Retrieved from Centime website
- HighRadius. (2024). *Important strategies for managing receivables*. Retrieved from HighRadius blog.
- Invensis. (2025). *Top 10 accounts receivable management best practices for 2025*. Retrieved from Invensis blog.
- ComEd. (2012). Smart Grid Innovation Corridor: prioritizing disconnections, the cost of meter visits and implications for customer safety. [Case Study].
- Neliti. (2020). Electricity accounts receivables billing procedures at PT PLN Batam.
- Nguyen, L., Zhang, Y., & Smith, J. (2023). Prepaid water meters and water distribution system improvement. *Science of The Total Environment*, 825, 153713.
- Wijanto, I. E. (2024). *Komunikasi Data-Konsep dan Implementasi (Buku 1)*. Penerbit Andi.
- Wang, Y., Chen, Q., Hong, T., & Kang, C. (2018). Review of smart meter data analytics: applications, methodologies, and challenges. *IEEE Trans. Smart Grid*.
- Ibrahim, M. I., Nabil, M. N., Fouda, M. M., et al. (2020). Efficient privacy-preserving electricity theft detection with dynamic billing and load monitoring for AMI networks. *IEEE Access*, 8, 114882–114897.

Defriko Christian Dewandhika, Nurhadi Siswanto

Optimasi Rute Penggantian Kwhmeter Pascabayar dengan K-Means dan Algoritma Genetika

Energy Justice Lab. (2025). Tracking the pernicious challenge of utility disconnections: insights from the Utility Disconnections Dashboard. Whardana, R. M. M. (2023). *Mapping PT PLN (Persero) consumer willingness to make electricity account payments based on regional characteristics using the ranking analysis method. International Journal of Social Sciences and Research*, 3(10), 2586



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).