

Audit Energi Sederhana pada Pompa Distribusi Q1, Q2, dan Q3 di IPA Sunggal Perumda Tirtanadi Provinsi Sumatera Utara

Almira Mili Rizkia*, Adhi Yuniarto

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

*Koresponden email: almiramili@gmail.com

Diterima: 3 Desember 2025

Disetujui: 14 Desember 2025

Abstract

A preliminary energy audit is a crucial step in identifying potential energy savings and improving operational efficiency in pump systems within water treatment installations. This study aims to evaluate the energy efficiency of distribution pumps Q1, Q2, and Q3 at the Sunggal Water Treatment Plant (IPA Sunggal) operated by Perumda Tirtanadi, North Sumatra Province, through a preliminary audit. The methodology includes measuring flow rate, pressure, current, voltage, and power factor to calculate hydraulic power, input power, pump efficiency, and Specific Energy Consumption (SEC). Results show that pump Q1 unit 3 and pump Q2 unit 7 have efficiencies below 60%, with SEC values indicating energy inefficiency. Improvement recommendations are provided based on efficiency criteria, ranging from impeller adjustments to complete pump replacement. This audit serves as the initial step toward a comprehensive energy audit plan to support energy efficiency and sustainability in the water distribution system.

Keywords: *energy audit, pump efficiency, specific energy consumption*

Abstrak

Audit energi sederhana merupakan langkah penting dalam mengidentifikasi potensi penghematan energi dan meningkatkan efisiensi operasional sistem perpompaan pada instalasi pengolahan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi energi pada pompa distribusi Q1, Q2, dan Q3 di IPA Sunggal milik Perumda Tirtanadi Provinsi Sumatera Utara melalui audit energi awal. Metode yang digunakan meliputi pengukuran debit, tekanan, arus, tegangan, dan faktor daya untuk menghitung daya hidrolik, daya input, efisiensi pompa, serta *Specific Energy Consumption* (SEC). Hasil audit menunjukkan bahwa pompa Q1 nomor 3 dan pompa Q2 nomor 7 memiliki efisiensi di bawah 60%, dengan nilai SEC yang menunjukkan ketidakefisienan energi. Rekomendasi perbaikan diberikan sesuai kriteria efisiensi, seperti penyetelan impeller hingga penggantian pompa. Audit ini menjadi dasar perencanaan audit energi menyeluruh guna mendukung efisiensi dan keberlanjutan sistem distribusi air.

Kata Kunci: *audit energi, efisiensi pompa, specific energy consumption*

1. Pendahuluan

Air merupakan salah satu prioritas nasional memperkuat infrastruktur untuk mendukung pengembangan ekonomi dan pelayanan dasar. Dalam program *Sustainable Development Goals* (SDGs), salah satunya adalah air bersih [1]. Penyediaan air bersih tersebut tertuang dalam *Goal 6*, yaitu menjamin ketersediaan dan pengelolaan air bersih dan sanitasi yang berkelanjutan untuk semua. Penyediaan kebutuhan dasar masyarakat, yaitu air minum dan sanitasi, difokuskan pada beberapa tujuan utama, antara lain: (1) peningkatan pengelolaan aset (*asset management*) dalam penyediaan air minum dan sanitasi; (2) pemenuhan kebutuhan dasar air minum dan sanitasi untuk masyarakat; (3) penyelenggaraan layanan air minum dan sanitasi yang dapat dipercaya dan profesional; dan (4) penyediaan sumber pembiayaan yang terjangkau untuk layanan air minum dan sanitasi, khususnya bagi masyarakat kurang mampu.

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) sebagai sarana penyedia air minum diharapkan mampu mencapai target Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2025-2029, yaitu 43% rumah tangga dengan akses air minum aman, 40,42% rumah tangga dengan akses air minum jaringan perpipaan, dan 30% rumah tangga pedesaan dengan akses air minum aman pada tahun 2029. Upaya yang dapat dilakukan untuk mencapai target tersebut dengan memperhatikan sasaran aspek 4K, (1) Kuantitas memenuhi standar minimal 90 liter/orang/hari; (2) Kualitas disesuaikan dengan standar Kesehatan Permenkes Nomor 2 Tahun 2023; (3) Kontinuitas dengan mencukupi kebutuhan air minum dalam 24 jam; dan (4) Keterjangkauan, dapat dijangkau dengan biaya yang wajar [2].

Banyak PDAM di Indonesia menghadapi tantangan berat berupa beban biaya energi yang sangat besar dalam mengoperasikan instalasi penyediaan air minum. Dalam praktiknya, porsi biaya listrik dan sumber energi lainnya dapat menyerap lebih dari sepertiga total biaya operasional, sehingga menjadi komponen pengeluaran yang paling dominan [3]. Beban ini berpotensi terus meningkat seiring dengan tren kenaikan tarif dasar listrik PLN. Biaya ini akan terus meningkat sehubungan dengan kenaikan tarif dasar listrik PLN yang cenderung naik. Namun, sebagian besar PDAM belum memanfaatkan listrik secara optimal, yang mengakibatkan tingginya biaya produksi dan distribusi air minum. Kondisi tersebut pada akhirnya berpotensi meningkatkan tarif air yang dibebankan kepada konsumen. Jika masalah ini terus dibiarkan, kinerja PDAM dan kualitas pelayanan air minum kepada masyarakat akan terpengaruh negatif.

Perumda Tirtanadi Provinsi Sumatera Utara memiliki mandat untuk menyediakan layanan air minum yang terjangkau dan berkualitas, mengelola limbah secara tepat, serta mendukung upaya pelestarian lingkungan dan peningkatan kualitas permukiman. Selain memberi manfaat bagi perusahaan, penyelenggaraan layanan tersebut juga ditujukan untuk menghasilkan nilai tambah bagi seluruh pemangku kepentingan [4]. Dalam rangka mencapai tujuan tersebut, Perumda Tirtanadi menjalankan berbagai kegiatan usaha, termasuk pengelolaan dan distribusi air minum yang memenuhi standar kesehatan secara merata dan teratur kepada masyarakat. Perusahaan ini juga melaksanakan aktivitas yang berkaitan dengan pengolahan limbah melalui sistem yang memenuhi ketentuan kesehatan lingkungan, serta mengembangkan usaha lain yang berhubungan dengan penyediaan air, pengelolaan limbah, dan perlindungan lingkungan.

Sistem penyediaan air minum di Perumda Tirtanadi dilakukan melalui Instalasi Pengolahan Air (IPA). Salah satunya ialah IPA Sunggal, merupakan instalasi pengolahan terbesar di Perumda Tirtanadi Provinsi Sumatera Utara dengan kapasitas mencapai 2.350 liter/detik [5]. Dalam mendistribusikan air yang telah diolah, IPA Sunggal menggunakan sistem perpompaan yang akan berpengaruh pada pemakaian energi listrik di PDAM. Tingginya konsumsi energi yang diperlukan untuk mengoperasikan motor pompa yang kurang efisien berdampak langsung pada peningkatan biaya produksi dan distribusi air. Kondisi ini tidak hanya memperbesar beban operasional, tetapi juga menurunkan kinerja keuangan PDAM secara keseluruhan, karena proporsi biaya energi menjadi semakin dominan dalam struktur biaya operasional [3].

Biaya energi merupakan seluruh pengeluaran PDAM untuk kebutuhan listrik, solar, gas, dan bahan bakar lainnya yang diperlukan dalam proses menghasilkan 1 m³ air [3]. Berdasarkan Buku Kinerja BUMD Penyelenggaraan Sistem Penyelenggaraan Air Minum (SPAM) Tahun 2024 oleh Kementerian PUPR, biaya energi rata-rata nasional adalah Rp380,13/m³. Sedangkan biaya energi Perumda Tirtanadi di atas rata-rata nasional, yaitu Rp448/m³ [6]. IPA Sunggal Perumda Tirtanadi telah melakukan upaya peningkatan efisiensi energi, salah satunya melalui pengaturan kecepatan motor pompa menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD). Namun, implementasi VSD saat ini masih terbatas pada satu unit pompa dan belum mencakup seluruh pompa yang beroperasi, sehingga potensi optimalisasi pengaturan kecepatan belum dapat dimaksimalkan. Kondisi ini ditambah dengan usia pompa yang telah beroperasi lebih dari 20 tahun. Evaluasi terhadap kinerja pompa diperlukan untuk mengidentifikasi peluang-peluang penghematan energi di IPA Sunggal. Langkah yang dapat dilakukan oleh Perumda Tirtanadi Provinsi Sumatera Utara ialah melakukan audit energi awal yang selama ini belum dilaksanakan.

Preliminary Audit merupakan tahap awal audit energi yang dilakukan melalui pengukuran terbatas dan pengumpulan data primer [7]. Melalui tahap ini, identifikasi permasalahan terkait penggunaan energi serta memperkirakan potensi penghematan yang dapat dicapai. Dalam pelaksanaan audit ini, langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan informasi dasar terkait operasional energi, seperti catatan penggunaan listrik setiap bulan dari PLN dan pemakaian genset cadangan, serta data volume produksi air pada periode yang sama. Tahapan ini kemudian dilengkapi dengan kunjungan lapangan untuk menelaah kondisi fasilitas secara umum. Meskipun tidak dilakukan pengukuran teknis yang mendetail, peninjauan tersebut memberikan gambaran awal mengenai karakteristik sistem yang dievaluasi dan membantu mengidentifikasi area yang berpotensi memberikan penghematan energi [3]. Dalam hal ini, audit energi awal dilakukan pada pompa distribusi Q1, Q2 dan Q3 IPA Sunggal, dikarenakan pompa Q1 merupakan pompa dengan kapasitas terbesar, sedangkan pompa Q2 dan Q3 merupakan pompa dengan usia tertua.

Audit energi awal dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat efisiensi pompa distribusi serta menentukan nilai *Specific Energy Consumption* (SEC). Selain itu, audit energi awal pada pompa distribusi IPA Sunggal ini juga merupakan langkah awal Perumda Tirtanadi Provinsi Sumatera Utara untuk melakukan audit energi secara menyeluruh baik di IPA Sunggal, maupun pada IPA lainnya, pompa *booster* dan bangunan pendukung lainnya.

2. Metode Penelitian

IPA Sunggal Perumda Tirtanadi Provinsi Sumatera Utara belum pernah melakukan audit energi sebelumnya, sehingga langkah awal penelitian diawali dengan mengevaluasi terhadap daya dan efisiensi pompa. Kegiatan ini dilakukan melalui pengukuran debit dan *head* pompa untuk menghitung efisiensinya, kemudian hasilnya dibandingkan dengan spesifikasi pompa yang tersedia. Debit pompa dilakukan dengan menggunakan alat *flow meter* (**Gambar 1**), sedangkan tekanan diukur melalui pembacaan manometer yang terpasang pada pompa distribusi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pengukuran tekanan yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu *head total*, dimana *head total* merupakan penjumlahan dari tekanan *suction* dan tekanan *discharge*.

Pengukuran kelistrikan pada pompa distribusi IPA Sunggal dilakukan menggunakan tang ampere/*clamp meter* (**Gambar 3**). Alat ini mampu mengukur beberapa besaran listrik seperti arus listrik (ampere) dan tegangan (volt) yang mengalir pada tiga fasa. Sedangkan pengukuran faktor daya dilakukan melalui pembacaan pada panel listrik. Keseluruhan pengukuran tersebut dilakukan pada tanggal 9 April 2025 selama 24 jam dengan dilakukan pencatatan setiap satu jam. Setelah variabel tersebut diperoleh, kemudian dilakukan perhitungan nilai SEC pompa (kWh/m^3) dan efisiensi pompa (%). Efisiensi pompa merujuk pada seberapa efektif perubahan energi dari daya putar poros pompa menjadi daya hidrolis yang dihasilkan oleh pompa. Saat motor menerima suplai listrik, energi tersebut diproses di dalam motor dan diubah menjadi tenaga mekanik akibat interaksi medan elektromagnetik. Tenaga mekanik yang dihasilkan inilah yang memutar poros motor.

Besarnya kemampuan motor dalam mengonversi energi listrik menjadi tenaga mekanis tercermin dari nilai efisiensinya, yakni seberapa besar energi masuk yang benar-benar dimanfaatkan untuk menghasilkan putaran pada poros. Putaran poros motor selanjutnya disalurkan ke poros pompa, sehingga daya mekanik tersebut dapat menggerakkan bagian-bagian pompa dan memungkinkan proses pemindahan air berlangsung [8]. Ketentuan batas maksimal nilai SEC ialah $0,4 \text{ kWh/m}^3$ dan apabila nilai SEC pompa berada diatas batas tersebut, maka sistem pompa dinyatakan tidak efisien [9]. Hasil analisis efisiensi pompa juga digunakan untuk menentukan rekomendasi tindakan yang perlu dilakukan terhadap pompa untuk peningkatan efisiensi energi.



Gambar 1. Flow Meter

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025



Gambar 2. Manometer

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025



Gambar 3. Alat Ukur Tang Ampere/Clamp Meter

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025

Tabel 1. Rekomendasi Tindakan Efisiensi Pompa

Kriteria Efisiensi Pompa	Tindakan
$\eta_t > 60\%$	Pompa berada dalam kondisi baik, tidak memerlukan Tindakan perbaikan
$\eta_t = 55\% - 60\%$	Penyetelan ulang impeller dan kegiatan pembersihan
$\eta_t = 50\% - 55\%$	Melakukan rekondisi, perbaikan impeller serta penyetelan ulang
$\eta_t < 50\%$	Melakukan perbaikan menyeluruh pada impeller atau mengganti pompa secara keseluruhan

Sumber: Kementerian PUPR (2014)

3. Hasil dan Pembahasan

Daya Hidrolis Pompa Distribusi Q_1 , Q_2 , dan Q_3

Sistem distribusi menggunakan pompa tipe sentrifugal yang digerakkan oleh energi listrik dari PLN. Energi listrik tersebut diubah menjadi energi kinetik melalui motor penggerak. Motor ini kemudian memutar poros pompa yang terhubung langsung dengan impeller. Saat impeller berputar, air yang berada di dalamnya ter dorong oleh sudu-sudu impeller lalu menciptakan gaya sentrifugal yang menyebabkan air mengalir dari bagian tengah impeller menuju saluran di antara sudu dan keluar dengan kecepatan tinggi [10]. Daya hidrolis adalah energi yang dihasilkan untuk memindahkan air dari satu titik ke titik lainnya dalam sistem perpipaan, sehingga menghasilkan *head* tertentu. Untuk menentukan besarnya daya hidrolis pada pompa, diperlukan pengukuran debit aliran serta *head* total yang dihasilkan oleh pompa [11]. Hasil pengukuran debit dan tekanan serta hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 2**. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan daya hidrolis adalah sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1) [12].

Dimana,

Ph : Daya hidrolis (kW)

ρ : Massa jenis fluida = 998 kg/m^3

G : Gravitasi (m/s²)

Q : Debit air (m^3/s)

Q : Desir air (m/s)
H : Head pompa (m)

Tabel 2. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Daya Hidrolis Pompa Q1, Q2, dan Q3

Pompa Distribusi	Daya Hidrolis Pompa						
	Q (L/det)	H total (m)	Q (m³/s)	ρ (kg/m³)	g (m/s²)	Ph (kW)	
Q1	3	370.75	20.7	0.371	998	9.81	75.14
Q2	$\frac{5}{7}$	410.76	29.5	0.415	998	9.81	119.95
Q3	8						
	$\frac{9}{10}$	517.57	26.1	0.518	998	9.81	132.25

Sumber: Hasil Perhitungan (2025)

Tabel 3. Spesifikasi Pompa Q1, Q2, dan Q3

Pompa Distribusi	Jenis Pompa	Tahun Pemasangan	Q (L/det)	Daya (kW)	Daerah Pelayanan	Keterangan
Q1	3	Sentrifugal	2006	360	250	Beroperasi
	4	Sentrifugal	2006	360	250	Tidak Beroperasi
Q2	5	Sentrifugal	1975	220	132	BP. Gaperta
	6	Sentrifugal	1975	220	132	BP. Sei Agul, Darussalam,
	7	Sentrifugal	1975	220	132	Ayahanda
Q3	8	Sentrifugal	1975	220	132	Beroperasi
	9	Sentrifugal	1975	220	132	Gatot Subroto, Putri Hijau, Purwo, Yos
	10	Sentrifugal	1975	220	132	Sudarso

Sumber: Bagian Pengolahan IPA Sunggal (2025)

Berdasarkan spesifikasi pompa pada **Tabel 3** di atas, debit untuk pompa Q1 berdasarkan pengukuran lapangan sebesar 370,75 L/det bekerja sedikit diatas spesifikasi pompa yaitu sebesar 360 L/det. Sementara debit untuk pompa Q2 berdasarkan pengukuran lapangan sebesar 410,76 L/det untuk kedua pompa dan pompa Q3 hasil pengukuran sebesar 517,57 L/det untuk ketiga pompa. Dengan demikian, pompa Q2 dan Q3 masih bekerja sesuai dengan kapasitas desain.

Kualitas Daya Pompa Distribusi Q1, Q2, dan Q3

Kualitas daya yang telah diukur digunakan untuk perhitungan daya input. Daya input merupakan daya listrik yang dibutuhkan oleh motor sebagai penggerak pompa (kW) dengan Persamaan (2) sebagai berikut [13]:

Dimana,

Pi : Daya input ke motor (kW)

V : Tegangan rata-rata antar phasa (Volt)

I : Arus rata-rata antar phasa (A)

$\cos \theta$: Faktor daya

Tabel 4. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Daya Input Pompa Q1, Q2, dan Q3

Pompa Distribusi	V Rata-Rata	I Rata-Rata	Cos θ	Pi (kW)	
Q1	3	337.7	242.5	0.98	138.84
Q2	5	339.7	235.0	0.98	135.31
	7	396.2	362.5	0.98	243.48
Q3	8	383.6	204.0	0.99	134.03
	9	380.7	216.2	0.97	138.10
	10	380.7	211.6	0.97	135

Sumber: Hasil Perhitungan (2025)

Perhitungan efisiensi pompa dan nilai SEC untuk masing-masing pompa Q1, Q2 dan Q3 ditampilkan pada **Tabel 5** dengan menggunakan Persamaan (3) sebagai berikut :

Dimana,

η : Efisiensi pompa (%)

Ph : Daya hidrolis (kW)

Pi : Daya input (kW)

Sedangkan SEC merupakan rasio perbandingan antara jumlah energi yang dikonsumsi untuk setiap satuan volume air yang diproduksi [14]. Semakin rendah nilai SEC, maka penggunaan energi untuk produksi dan distribusi air semakin efisien. Penggunaan daya yang dinyatakan efisien apabila nilai $SEC < 0,4 \text{ kWh/m}^3$. Nilai ini dapat dijadikan patokan dalam pengelolaan energi pada instalasi produksi maupun distribusi. Persamaan SEC dapat dilihat pada persamaan (4) berikut:

Tabel 5. Hasil Perhitungan Efisiensi Pompa dan Nilai SEC

Tabel 3. Hasil Perhitungan Efisiensi Pompa dan NGR SEC					
Pompa Distribusi	Ph (kW)	Pi (kW)	η (%)	SEC (kWh/m ³)	
Q1	3	75.14	138.84	54.12	0.37
Q2	5		135.31	88.65	0.33
	7	119.95	243.48	49.27	0.59
	8		134.03	98.68	0.26
Q3	9	132.25	138.10	95.77	0.27
	10		135	97.84	0.26

Sumber: Hasil Perhitungan (2025)

Berdasarkan perhitungan pada **Tabel 5**, diketahui bahwa pompa Q3 memiliki nilai efisiensi tertinggi, sedangkan pompa Q2 nomor 7 menunjukkan efisiensi terendah. Efisiensi pompa memiliki hubungan terbalik dengan nilai SEC, dimana pompa dengan efisiensi tinggi menghasilkan nilai SEC yang rendah, sementara pompa dengan efisiensi rendah memiliki nilai SEC yang lebih tinggi.

Pemakaian Energi

Biaya energi dapat dihitung dari pemakaian listrik dan jumlah produksi/jumlah air terdistribusi. Kenaikan biaya energi dapat muncul akibat ketidaksesuaian antara pemakaian energi dan kapasitas produksi/distribusi air, ditambah dengan faktor usia peralatan dan praktik penggunaan energi yang belum efisien [15]. Biaya energi di IPA Sunggal selama Januari-Maret 2025 memiliki rata-rata sebesar Rp354,02/m³ seperti ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Biaya Energi IPA Sunggal Januari-Maret 2025

Bulan	Jml Hari Produksi	Total Pemakaian (kWh)	Tagihan Listrik (Rp)	Air Terdistribusi (m ³)	Biaya Energi (Rp/m ³)
Jan	31	2.212.060	2.127.540.387	6.171.911	344,71
Feb	28	2.725.590	2.197.472.628	5.454.266	402,89
Mar	31	1.861.160	1.944.090.677	6.182.351	314,46
Total		2.798.810	6.269.103.692	17.808.528	
Rata-Rata		2.266.270	2.089.701.231	5.963.176	354.02

Sumber: Hasil Perhitungan (2025)

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil audit energi awal yang telah dilakukan perhitungan, didapatkan efisiensi pompa distribusi IPA Sunggal pada pompa Q1 nomor 3 dan pompa Q2 nomor 7 berada dibawah 60%. Maka rekomendasi yang dapat diberikan kepada IPA Sunggal Perumda Tirtanadi Provinsi Sumatera Utara pada pompa Q1 nomor 3 ialah melakukan rekondisi, perbaikan impeller dan penyetelan kembali pompa. Sedangkan tindakan kepada pompa Q2 nomor 7 ialah melakukan perbaikan total impeller atau penggantian pompa secara keseluruhan dikarenakan efisiensi pompa yang rendah. Efisiensi pompa juga berkorelasi terhadap nilai SEC, dimana pompa Q2 nomor 7 yang memiliki efisiensi pompa terendah, memiliki nilai SEC diatas 0,4 kWh/m³, sehingga pompa tersebut dikatakan tidak efisien. Variasi efisiensi tersebut tidak terlepas dari kondisi fisik dan operasional pompa. Pompa yang telah beroperasi lebih dari umur operasionalnya, akan mengalami penurunan kinerja akibat keausan komponen, hingga perubahan kurva karakteristik pompa. Selain itu, penerapan VSD yang belum merata membatasi kemampuan sistem dalam mengatur kecepatan dan menyesuaikan kebutuhan *head* serta debit secara optimal. Kondisi ini menyebabkan pompa bekerja di luar titik operasi idealnya yang berdampak pada meningkatnya nilai SEC. Dengan demikian, diperlukan audit energi secara keseluruhan dan komprehensif pada IPA Sunggal Perumda Tirtanadi serta perumusan strategi terpadu berupa peremajaan pompa tua, perbaikan kondisi mekanis, serta perluasan implementasi VSD pada seluruh unit pompa distribusi.

5. Referensi

- [1] A. Syahwiah, A. Sapiddin, and, "Kebijakan Ketersediaan Air Bersih Dalam Mewujudkan Sustainable Development Goals (Sdgs) Di Indonesia," *Proceeding APHTN* ..., pp. 269–292, 2023
- [2] "Peraturan Presiden No. 12 Tahun 2025," 2025
- [3] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Pedoman Pelaksanaan Efisiensi Energi di PDAM*. 2014.
- [4] *Peraturan Daerah Nomor 2 Tahun 2022*. 2022.
- [5] D. H. Surya, "Pengolahan Air Sungai Menjadi Air Bersih di IPA PDAM Tirtanadi Sunggal," 2022.
- [6] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Kinerja BUMD Air Minum Tahun 2023 Wilayah 1," *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*, p. 102, 2023.
- [7] USAID, *Panduan Penyusunan Audit Efisiensi Energi*. 2019.
- [8] G. G. Wahab and E. Nurhayati, "Audit Energi Awal Pada Pompa Distribusi Sampangan dan Pompa Transport Kaligarang Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang," vol. IX, no. 4, pp. 10999–11005, 2024.
- [9] R. N. Utama, "Analisis Peningkatan Efisiensi Energi di Sistem Distribusi Instalasi Kota Wisata Perumda Air Minum Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor," 2021.
- [10] M. N. Arif and E. S. Soedjono, "Audit Energi Awal pada Pompa Distribusi IPA Waribang II Perumda Air Minum Tirta Sewakadarma Kota Denpasar," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. X, no. 3, pp. 14772–14779, 2025.
- [11] G. Asmara, "Peningkatan Efisiensi Energi pada Sistem Distribusi Sumbersari Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang," 2021.
- [12] K. PUPR, "Modul Efisiensi Energi Tahun 2018," vol. 16, no. 1, p. 20, 2018.
- [13] Balai Teknik Air Minum, *Masalah dan Solusi Sistem Pompa*. 2019.
- [14] F. D. C. Nugraha, "Peningkatan Efisiensi Energi Melalui Optimasi Sistem Perpompaan di Perumda Air Minum Kota Palangka Raya," 2024.
- [15] A. A. Taebe and A. Slamet, "Identifikasi Biaya Energi pada Sistem Penyediaan Air Minum Kota Bangkalan Perusahaan Umum Daerah Air Minum Sumber Sejahtera," vol. 08, no. 03, pp. 193–202, 2023, doi: 10.29244/jsil.8.3.193-202.