

Identifikasi Biaya Energi pada Sistem Penyediaan Air Minum Kota Bangkalan Perusahaan Umum Daerah Air Minum Sumber Sejahtera

Awad Akbar Taebe^{1*}, Agus Slamet¹, and Bustomi²

¹ Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 60111, Indonesia

² Kementerian PUPR, Jl. Pattimura No. 20 Kebayoran Baru Jakarta Selatan 12110, Indonesia

* penulis koresponden: awad.taebe@pu.go.id

Abstrak: Permasalahan utama yang dialami Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) Air Minum di Indonesia antara lain konsumsi energi yang sangat besar. Penggunaan energi dalam mendukung penyelenggaraan SPAM sebagian besar digunakan pada pengoperasian pompa, dimana dapat mencapai lebih dari 80% terhadap total penggunaan energi. Perusahaan Air Minum Sumber Sejahtera Kabupaten Bangkalan sebagai salah satu BUMD menggunakan sistem perpompaan secara penuh pada sistem distribusi, hal tersebut menjadikan konsumsi energi pada SPAM Kota Bangkalan cukup tinggi, sehingga perlu dilakukan identifikasi terkait evaluasi beban energi yakni dengan melakukan audit energi menggunakan analisis Audit Energi Terperinci (AET) yang mencakup analisis nilai kualitas daya, efisiensi total pompa, dan specific energy consumption (SEC). Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan survei dan studi kasus. Hasil analisis menunjukkan bahwa kualitas daya untuk masing-masing pompa distribusi masih cukup baik dengan nilai ketidakseimbangan <1%. Tingkat efisiensi total pompa untuk masing-masing pompa distribusi masuk dalam kategori sangat rendah dengan nilai berkisar pada 35,22-51,46%. Nilai SEC pada masing-masing pompa distribusi belum dapat dikatakan ideal dengan nilai SEC berkisar 0,3-0,46 kWh/m³. Jam operasi pompa juga memengaruhi dalam peningkatan biaya energi, dimana pompa distribusi dioperasikan secara penuh (24 jam). Pengoperasian pada waktu beban puncak (WBP) ini juga mengakibatkan perbedaan tarif pada tagihan energi.

Kata kunci: Efisiensi Energi, Audit Energi, Kualitas Daya, Efisiensi Pompa, *Specific Energy Consumption*

1. Pendahuluan

Air merupakan salah satu kebutuhan manusia, jumlah kebutuhan akan air selalu mengalami peningkatan secara bertahap [1]. Indonesia sebagai negara maritim memiliki potensi sumber daya air yang tinggi, akan tetapi Indonesia berada dalam urutan kelima dunia dalam potensi cadangan air, hanya 25% yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai kebutuhan masyarakat seperti irigasi, air baku, dan industri [2]. Konsumsi energi dalam sistem pasokan air berhubungan erat dengan permintaan air karena sebagian besar energi dikonsumsi dalam proses transportasi dan distribusi air dengan energi yang diperlukan untuk memompa air dari sumbernya [3]. Perlu adanya lembaga penyedia air untuk menyediakan air bagi masyarakat dengan kualitas yang baik dan kuantitas yang mencukupi [4].

Diterima: 10 Oktober 2023
Disetujui: 22 Desember 2023

Sitasi:
Taebe, A., A., Slamet, A., Bustomi.
Identifikasi Biaya Energi pada
Sistem Penyediaan Air Minum Kota
Bangkalan Perusahaan Umum
Daerah Air Minum Sumber
Sejahtera. *J. Teknik Sipil dan
Lingkungan*. 2023; 08 (03): 193-202.
<https://doi.org/10.29244/jsil.8.3.193-202>

Lembaga penyedia air di Indonesia sendiri diatur dan dikelola oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) yang tersebar di beberapa daerah. Meningkatnya kebutuhan akan air menjadikan lembaga penyedia air perlu melakukan perluasan cakupan wilayah guna memenuhi kebutuhan konsumsi air masyarakat, akan tetapi untuk mencapai akses air minum yang aman dan layak perlu memperluas cakupan wilayah namun terkendala biaya yang harus dikeluarkan [1]. Sistem Penyedia Air Minum (SPAM) di Indonesia harus memenuhi aspek kualitas, kuantitas, kontinuitas, dan keterjangkauan bagi masyarakat, sebagai perusahaan pengelola air memiliki peran penting dalam mengatasi distribusi air dan biaya operasional yang dikeluarkan [5]. Kenyataannya terdapat satu isu utama dalam penyelenggaraan SPAM di Indonesia yakni pembebanan biaya operasional dan produksi yang masih sangat tinggi sehingga belum dapat dikatakan *Full Cost Recovery* (FCR). FCR atau pemulihan biaya penuh merupakan salah satu indikator penting yang perlu diperhatikan setiap Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) Air Minum di Indonesia. Berdasarkan hasil audit kinerja BUMD Air Minum tahun 2022, tercatat hanya 37,79% dari keseluruhan BUMD (147 BUMD Air Minum) yang sudah dapat dikatakan memenuhi FCR. Penggunaan energi untuk pengoperasian pompa air dalam pelayanan PDAM diperkirakan mencapai lebih dari 80% dari keseluruhan konsumsi energi PDAM dan biaya ini bisa mencapai lebih dari 30% dari seluruh biaya operasional dimana yang terdiri atas unit air baku, unit pengolahan, hingga unit distribusi [6,7].

Perusahaan Umum Daerah Air Minum (PERUMDAM) Sumber Sejahtera Kabupaten Bangkalan menggunakan sistem perpompaan secara penuh pada sistem distribusi khususnya di SPAM Kota Bangkalan. Biaya energi terhitung mulai dari beban energi yang dibutuhkan PDAM untuk menghasilkan produksi (1 m³ air), dalam hal ini beban listrik, solar, ataupun bahan bakar lain [8]. Biaya energi yang dikeluarkan Perumdam Sumber Sejahtera mencapai Rp890/m³ nilai tersebut jauh melebihi beban biaya energi rata-rata secara nasional yakni sebesar Rp356,34/m³ [6,9].

Berdasarkan data di atas PERUMDAM Sumber Sejahtera perlu melakukan evaluasi terkait beban biaya energi yang besar sehingga dapat mengidentifikasi penyebab tingginya biaya energi dan rekomendasi perbaikan dalam peningkatan efisiensi energi pada sistem distribusi. Dalam beberapa tahun terakhir beberapa peneliti membahas model yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan konsumsi air dan energi dengan tujuan mengurangi konsumsi biaya air dan energi [10]. Salah satu langkah yang dapat dilakukan terkait evaluasi beban energi yakni dengan melakukan audit energi. Audit energi yang dimaksud ialah melakukan analisis terhadap aliran energi guna mengurangi jumlah pemakaian tanpa memengaruhi atau mengganggu hasil dari produksi. Audit Energi Terperinci (AET) mencakup pemeriksaan aspek teknis dengan meninjau nilai dari kualitas daya suatu sistem, nilai efisiensi total pompa, dan *Specific Energy Consumption* (SEC).

Nilai kualitas daya suatu sistem dilakukan dengan menganalisis hasil pengukuran ketidakseimbangan nilai tegangan serta faktor daya. Dimana faktor daya minimum yang ditetapkan oleh PLN sebesar 0,86. Rendahnya faktor daya dapat dikarenakan tingginya daya reaktif akibat penggunaan beban induktif pada sistem kelistrikan [11]. Pengukuran dilakukan pada pompa distribusi untuk mengetahui karakteristik dan fluktuasi energi listrik yang digunakan oleh pompa. Pengukuran perlu dilakukan karena ketidakseimbangan tegangan akan menjadi satu permasalahan kualitas daya yang berakibat pada berkurangnya efisiensi [12,13].

Efisiensi total pompa merupakan salah satu indikator yang dapat menilai efisiensi energi [14]. Efisiensi total pompa adalah besaran yang menunjukkan perbandingan antara daya input berupa daya listrik yang dibutuhkan dengan daya output hidrolis yang dikeluarkan pompa, batas minimal efisiensi total pompa adalah sebesar 60%. Jika nilai efisiensi pompa kurang dari 60% maka perlu dilakukan perbaikan. Efisiensi 50%-60% memerlukan perbaikan minor berupa penyetelan kembali dan perbaikan impeller. Jika efisiensi total pompa kurang dari 50% maka perlu adanya perbaikan mayor impeller atau penggantian pompa secara keseluruhan [15].

Specific energy consumption (SEC) merupakan parameter penting dalam mengevaluasi suatu efisiensi [16]. SEC dapat mengukur pemakaian energi oleh suatu proses sistem, SEC merupakan konsumsi energi (kWh) untuk setiap satuan volume produksi tertentu pada jangka waktu tertentu [15]. Nilai SEC dapat menunjukkan hasil perbandingan antara energi yang terpakai dengan produk yang dihasilkan. Nilai SEC dinyatakan dalam satuan kWh/m³, dengan batasan nilai sebesar 0,4 kWh/m³, ketika hasil nilai SEC melewati nilai tersebut maka dapat dinyatakan sistem tersebut tidak efisien.

Mengacu pada latar belakang ini, maka audit energi pada Perumdam Sumber Sejahtera perlu dilaksanakan khusus pada SPAM Kota Bangkalan. Tujuan dari penelitian ini diharapkan menghasilkan output berupa kajian audit energi mengaju pada aspek teknis. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi masukan serta bahan pertimbangan bagi Perumdam Sumber Sejahtera dalam upaya penghematan energi khususnya pada SPAM Kota Bangkalan.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan survei dan studi kasus. Pendekatan survei digunakan untuk mengamati kondisi lapangan dan pendekatan studi kasus digunakan untuk mengetahui gambaran permasalahan sistem instalasi pompa distribusi. Dua pendekatan digunakan dengan tujuan dapat melakukan kajian optimasi guna meningkatkan efisiensi energi pada sistem pompa distribusi. Terdapat beberapa tahapan dalam penelitian ini, yaitu:

2.1 Perumusan Latar Belakang

Tahap ini dilakukan untuk memperoleh informasi dan gambaran umum permasalahan yang dapat dijadikan *gap research* dan *novelty* dalam penelitian khususnya pada SPAM Kota Bangkalan. Bagian ini akan menjelaskan penyebab permasalahan yang terjadi serta solusi diselesaikan masalah tersebut melalui sebuah penelitian.

2.2 Identifikasi Permasalahan

Permasalahan yang telah ditemukan berdasarkan analisis dalam latar belakang akan diidentifikasi dengan tujuan mempertajam permasalahan yang akan diteliti. Permasalahan yang diangkat untuk dijadikan bahan penelitian merupakan hasil identifikasi kondisi isu utama permasalahan konsumsi energi di SPAM Kota Bangkalan. Hasil identifikasi tersebut dijadikan pertanyaan penelitian yang lebih fokus sehingga menjadi dasar penetapan tujuan penelitian.

2.3 Menetapkan Tujuan dan Manfaat Penelitian

Pertanyaan penelitian yang diperoleh dari tahap sebelumnya akan menjadi dasar tujuan dalam penelitian yang diharapkan dapat menjadi jawaban dari pertanyaan penelitian yang telah ditentukan, dan dapat menjadi manfaat bagi beberapa pihak terkait khususnya SPAM Kota Bangkalan dan mengambil keputusan.

2.4 Menentukan Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian sangat penting, adanya batasan masalah bertujuan untuk memudahkan penulis dalam membatasi ruang lingkup masalah yang akan dibahas agar tidak melebar dari objek yang akan dibahas dalam penelitian, sehingga penulis bisa lebih fokus membahas penelitian sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya.

2.5 Tinjauan Pustaka

Tahap ini dilakukan dengan mempelajari dan menganalisis sumber-sumber literatur terkait bahasan penelitian. Sumber dapat diperoleh dari beberapa literatur seperti buku, jurnal ilmiah, atau laporan-laporan terkait penelitian. Literatur yang dibahas mengenai konsumsi energi, instalasi dan sistem pompa.

2.6 Pengumpulan data

Pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Adapun data primer yang dikumpulkan sebagai berikut:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran secara langsung dilapangan. Adapun data primer yang dikumpulkan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Pengukuran Debit Air

Pengukuran debit dilakukan pada pipa dari pompa distribusi ke sistem distribusi untuk mengetahui debit yang dialirkan pompa distribusi ke jaringan distribusi. Pengambilan data menggunakan bantuan alat *ultrasonic flow meter* model TUF-2000H.
- b. Pengukuran Tekanan *Discharge* Pompa

Pengukuran tekanan dilakukan pada titik-titik kritis sistem distribusi untuk kebutuhan analisis jaringan.
- c. Pengukuran Parameter Kelistrikan Pompa

Pengukuran dilakukan untuk menghitung konsumsi energi yang dibutuhkan pompa dan menghitung nilai SEC pompa. Pengambilan data ini menggunakan bantuan alat *power analyzer* dengan model DW-6095.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari hasil olahan pihak lain atau instansi tertentu. Adapun data sekunder yang dikumpulkan sebagai berikut:

- a. Data Spesifikasi Motor dan Pompa

Data yang diperlukan dalam menganalisa dan menghitung efisiensi pompa dan motor diuraikan pada Tabel 1:

Tabel 1. Data Spesifikasi Teknis Motor dan Pompa

Data Umum	Data Spesifik (<i>Name Plate</i>)	
	Data Pompa	Data Motor
Lokasi pompa/motor pompa	Merk/tipe pompa	Output power (kW)
Fungsi pompa	Kapasitas pompa	Tegangan (Volt)
Jenis pompa	Head (<i>discharge</i>)	Arus listrik (Ampere)
Jumlah jam operasional pompa (per tahun)		Cos ϕ
Tahun pemasangan		Efisiensi (η)
Historis pemeliharaan		

Sumber: Pedoman Pelaksanaan Efisiensi Energi di PDAM, 2014

- b. Peta Jaringan Distribusi

Peta jaringan distribusi yang telah disusun oleh SPAM Kota Bangkalan dapat digunakan dalam melakukan simulasi kondisi hidrolis jaringan.
- c. Data Pelanggan pada Wilayah Layanan

Data Sambungan Rumah (SR) pelanggan dapat digunakan dalam penelitian, data diperoleh dari bagian hubungan pelanggan dan bagian teknik SPAM Kota Bangkalan.
- d. Data Elevasi Jaringan Distribusi

Data elevasi diperoleh dari data Digital Elevation Model (DEMNAS) yang bisa diakses dari geoportal nasional pada laman <https://tanahair.indonesia.go.id/>

2.7 Melakukan Pengolahan dan Analisis Data

Tahap pengolahan dan analisis data yang telah dikumpulkan selanjutnya akan dilakukan analisis terkait penyebab tingginya biaya energi pada SPAM Kota Bangkalan.

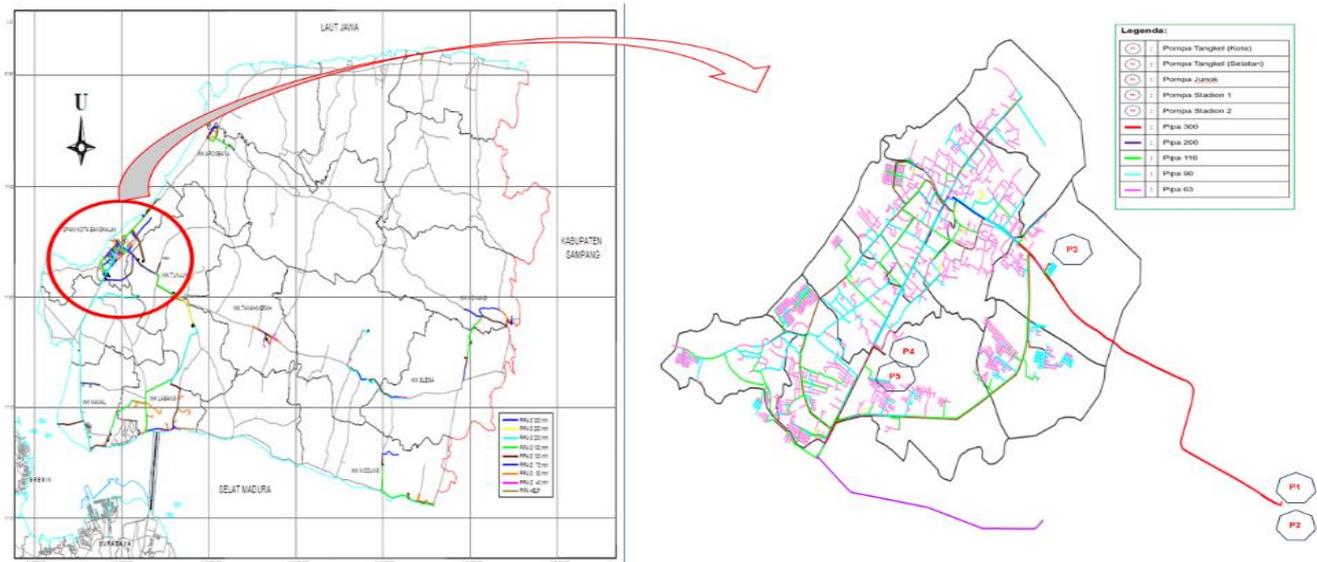
2.8 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan diberikan berdasarkan hasil dari seluruh kegiatan penelitian. Kesimpulan yang didapatkan akan menjadi jawaban dari tujuan penelitan yang ada. Saran berisi gambaran untuk penelitian lanjutan yang belum sempat terlaksana ataupun perbaikan yang dapat dilanjutkan kedepannya sesuai dengan topik penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Gambaran Umum SPAM Kota Bangkalan

SPAM Kota Bangkalan merupakan salah satu SPAM milik Perumdam Sumber Sejahtera Kabupaten Bangkalan yang difungsikan untuk melayani dan mendistribusikan air minum ke pelanggan di area Kota Bangkalan. Sistem distribusi pada SPAM Kota Bangkalan menggunakan sistem pemompaan secara penuh dimana terdapat lima pompa distribusi yang dioperasikan secara 24 jam. Peta jaringan SPAM Kota Bangkalan dapat terlihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Peta Jaringan SPAM Bangkalan

Pada peta jaringan dalam Gambar 1, sebaran pompa distribusi di SPAM Kota Bangkalan dinotasikan dengan kode (P1-P5). SPAM Kota Bangkalan juga menggunakan berbagai macam jenis perpipaan serta ukuran diameter yang berbeda. Spesifikasi masing-masing pompa distribusi berdasarkan *nameplate* pompa dijabarkan pada Tabel 2. Dari Tabel 8, pompa distribusi Tangkel Kota dan Selatan difungsikan sebagai pompa pemasok utama dengan debit spesifikasi mampu mencapai 100 L/detik dengan *head* sebesar 80 m. Pompa Junok, Stadion 1, dan Stadion 2 difungsikan sebagai pompa penunjang suplai debit aliran dengan masing-masing debit spesifikasi mencapai 15, 18, dan 18 L/detik dengan *head* masing-masing 80, 95, dan 95 m.

Tabel 2. Data Pompa Distribusi SPAM Kota Bangkalan

No	Lokasi	Koordinat	Elevasi (m)	Debit (Q) Spesifikasi (L/detik)	Head Total Spesifikasi (m)
1	Pompa Tangkel (Kota)	7°3'33.91" S 112°47'53.99"E	10	100	80
2	Pompa Tangkel (Selatan)	7°3'33.91" S 112°47'53.99"E	10	100	80
3	Pompa Junok	7°1'57.27" S 112°45'52.52"E	3	15	80
4	Pompa Stadion 1	7°2'28.91" S 112°44'23.94"E	4	18	95
5	Pompa Stadion 2	7°2'34.43" S 112°44'26.82"E	3	18	95

3.2 Analisis Daya Hidrolis pada Pompa Distribusi

Sistem pemompaan memiliki prinsip kerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi hidrolik, daya listrik diubah terlebih dahulu menjadi energi mekanik yang selanjutnya diteruskan melalui poros yang berputar hingga menghasilkan energi hidrolis pada pompa [17]. Dalam mengukur daya kinerja pompa diperlukan pengukuran debit serta *head* total pada pompa. Pengukuran debit dan tekanan dilakukan pada setiap pompa distribusi SPAM Kota Bangkalan. Debit terukur merupakan debit output dari masing-masing pompa distribusi yang dihitung secara aktual dan pembacaan tekanan discharge (H_d) dilihat melalui nilai pada *manometer discharge* (H_d) dan tekanan *suction* pompa (H_s) berdasarkan nilai dari tinggi muka air ke pompa distribusi. Hasil ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Debit dan *Head* Pompa Distribusi

No	Lokasi	Debit (Q) (L/detik)	Head (H_d) (m)	Head (H_s) (m)	Head Total (m)
1	Pompa Tangkel (Kota)	107,10	40	10	50
2	Pompa Tangkel (Selatan)	91,42	58	10	68
3	Pompa Junok	14,24	34	26	60
4	Pompa Stadion 1	17,57	40	25	65
5	Pompa Stadion 2	18,76	38	25	63

Bedasarkan hasil pengukuran pada Tabel 3, nilai debit dan tekanan terdapat perbedaan jika dibandingkan pada nilai spesifikasi pada *name plate* pompa. Penurunan nilai debit tertinggi terdapat pada pompa distribusi **Tangkel Selatan** dengan deviasi mencapai 8,58%, sedangkan penurunan tekanan mengalami penurunan yang cukup besar disetiap pompa (berkisar 12-33%) dengan nilai penurunan tertinggi terdapat pada pompa distribusi **Tangkel Kota** dengan deviasi sebesar 33%. Hal ini dapat disebabkan kurangnya perawatan yang baik serta SOP yang belum memadai yang menurunkan kinerja pompa seiring bertambahnya umur teknis pompa.

Perhitungan daya hidrolis pada pompa distribusi ditampilkan pada **Tabel 4** dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_w = \rho \times g \times Q \times H_{tot} \quad (1)$$

dengan, P_w = daya hidrolis pompa (Watt); ρ = massa jenis fluida ($\text{kg}\cdot\text{m}^3$); g = gravitasi (m/detik^2); Q = debit fluida (m^3/detik); H = *head* total pompa (m)

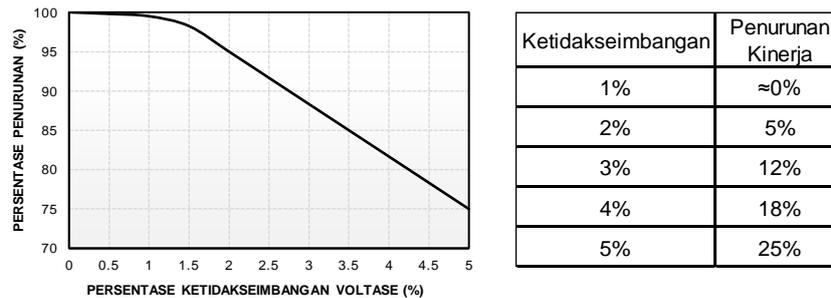
Tabel 4. Hasil Perhitungan Daya Hidrolis Pompa

No	Lokasi	H_{tot} (m)	Debit (Q) (L/detik)	ρ (kg/m^3)	g (m/s^2)	P_w (kW)
1	Pompa Tangkel (Kota)	50	107,10	998	9,81	52,427
2	Pompa Tangkel (Selatan)	68	91,42	998	9,81	60,862
3	Pompa Junok	60	14,24	998	9,81	8,364
4	Pompa Stadion 1	65	17,57	998	9,81	11,181
5	Pompa Stadion 2	63	18,76	998	9,81	11,571

Perhitungan daya hidrolis ini memperlihatkan besarnya energi diberikan masing-masing pompa pada air per satuan waktu. Dari perhitungan Tabel 4, pompa Tangkel Kota dan Selatan memiliki daya hidrolis terbesar sebesar 52,427 kW dan 60,862 kW. Perbedaan dari daya hidrolis ini terjadi karena perbedaan karakteristik kinerja pompa Tangkel kota dan selatan yang memang di atas pompa junok, stadion 1 dan stadion 2.

3.3 Analisis Kualitas Daya pada Pompa Distribusi

Salah satu parameter yang memengaruhi kualitas daya listrik yakni ketidakseimbangan tegangan (unbalance voltage). Ketidakseimbangan nilai tegangan ini umumnya terjadi pada jaringan listrik yang memiliki tiga fasa. Jaringan listrik tiga fasa umumnya terdiri atas tiga kabel bertegangan (380V) dan satu kabel netral yang sering digunakan dalam instalasi jaringan pada bidang industri ataupun pabrik. Batas ketidakseimbangan tegangan ini telah diatur oleh *The National Equipment Manufacturers Association* (NEMA) yakni tidak lebih besar dari 5%. Ketidakseimbangan tegangan yang lebih besar dari 1% mengalami penurunan [18]. Ketidakseimbangan dan penurunan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Nilai Penurunan Performa Motor terhadap Ketidakseimbangan Tegangan

Pompa distribusi SPAM Kota Bangkalan digolongkan kedalam jaringan 3 fasa, sehingga terdapat 3 nilai (Ch-1, Ch-2, Ch-3) tegangan untuk masing-masing jaringan. Perhitungan nilai ketidakseimbangan tegangan ditampilkan pada Tabel 5 dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Unbalance} = \frac{\text{Deviasi max dari tegangan rata - rata}}{\text{Vrata - rata}} \times 100\% \tag{2}$$

Berdasarkan analisis diatas, kualitas daya masing-masing pompa listrik masih tergolong ideal ditandai dengan nilai ketidakseimbangan tegangan untuk setiap pompa distribusi masih dalam batas limit (< 1%) sehingga tidak terjadi penurunan performa yang signifikan (mendekati 0%). Selain ketidakseimbangan tegangan, pengaruh faktor daya juga dapat memengaruhi kualitas daya suatu instalasi. Faktor daya untuk masing-masing pompa distribusi sudah memenuhi ketentuan ketetapan PLN (>0,85) sehingga untuk masing-masing pompa distribusi SPAM Kota Bangkalan tidak dikenakan denda atau biasa disebut denda kVAR. Denda kVAR sendiri dapat diartikan “kelebihan” daya yang diberikan PLN untuk membangkitkan beban induktif suatu peralatan motor (daya reaktif).

Tabel 5. Hasil Pengukuran Nilai Ketidakseimbangan Tegangan

No	Lokasi	Tegangan (Volt)				Unbalance (%)	Cos φ
		Ch-1	Ch-2	Ch-3	Avg		
1	Pompa Tangkel (Kota)	392,0	390,3	395,0	392,43	0,65	0,87
2	Pompa Tangkel (Selatan)	393,0	396,3	390,3	393,20	0,79	0,88
3	Pompa Junok	391,8	389,8	392,2	392,27	0,75	0,86
4	Pompa Stadion 1	389,1	389,1	383,7	387,30	0,93	0,88
5	Pompa Stadion 2	351,5	348,8	346,5	348,93	0,74	0,89

3.4 Analisis Kinerja Pompa Distribusi

Efisiensi total pompa adalah besaran yang menunjukkan perbandingan antara daya input berupa daya listrik yang dibutuhkan dengan daya output hidrolis yang dikeluarkan pompa. Perhitungan daya output dari pompa (daya listrik) ditampilkan pada Tabel 6 dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P = Avg V \times Avg I \times \sqrt{3} \times Cos \varphi \tag{3}$$

dengan, P = daya listrik (Watt); Avg V = rata-rata nilai tegangan (Volt); avg I = rata-rata nilai arus (A); Cos φ = faktor daya

Tabel 6. Hasil Pengukuran Kelistrikan pada Pompa Distribusi

No	Lokasi	Avg V (Volt)	Avg I (A)	Cos φ	P (kW)
1	Pompa Tangkel (Kota)	392,43	193,9	0,87	114,547
2	Pompa Tangkel (Selatan)	393,20	207,83	0,88	124,410
3	Pompa Junok	392,27	40,88	0,86	23,753
4	Pompa Stadion 1	387,30	36,80	0,88	21,725
5	Pompa Stadion 2	348,93	44,13	0,89	23,444

Daya listrik yang dihasilkan ini merupakan daya aktif ataupun daya rata-rata yang sebenarnya ditransmisikan (dikonsumsi) oleh suatu peralatan. Nilai cos φ pada masing-masing pompa distribusi sudah tergolong ideal (>0,86). Dengan tingginya nilai faktor daya untuk masing-masing pompa distribusi mengindikasikan bahwa kerugian yang diakibatkan “kelebihan” daya dari PLN dapat diturunkan. Nilai daya listrik (daya aktif) inilah yang akan dijadikan tolak ukur dalam melihat tingkat efisiensi pompa distribusi dengan membandingkan daya listrik masing-masing pompa dengan daya hidrolis yang dihasilkan oleh pompa distribusi.

Perhitungan efisiensi pompa untuk masing-masing pompa distribusi ditampilkan pada Tabel 7 menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = Pw/P \times 100\% \tag{4}$$

dengan, η = efisiensi pompa (%); Pw = daya hidrolis pompa (Watt); P = daya listrik (Watt).

Tabel 7. Hasil Perhitungan Efisiensi Pompa

No	Lokasi	Efisiensi Pompa (%)	SEC (KWh/m ³)
1	Pompa Tangkel (Kota)	45,77	0,30
2	Pompa Tangkel (Selatan)	48,92	0,38
3	Pompa Junok	35,22	0,46
4	Pompa Stadion 1	51,46	0,34
5	Pompa Stadion 2	49,36	0,35

Dari hasil perhitungan diatas, didapatkan nilai efisiensi total untuk masing-masing pompa distribusi sudah tergolong rendah yakni berkisar 35-52%. Merujuk Buku Pedoman Pelaksanaan Efisiensi Energi di PDAM batas minimal efisiensi total pompa adalah sebesar 60% [15]. Jika nilai efisiensi pompa kurang dari 60% maka perlu dilakukan perbaikan. Dengan tingkat efisiensi total pompa tersebut diperlukan tindakan perbaikan secara mayor atau penggantian pompa secara keseluruhan. Penyebab turunnya tingkat efisiensi suatu pompa distribusi dapat disebabkan kurangnya maintance pompa serta pengoperasian pompa yang tidak sesuai SOP, pemanfaatan operasional dan penggunaan pompa yang tepat juga dapat membantu meningkatkan efisiensi energi hingga 30% [19].

Nilai SEC yang didapatkan dari sistem pompa distribusi SPAM Kota Bangkalan juga perlu menjadi perhatian khusus, dikarenakan nilai SEC masing-masing sistem pompa distribusi sudah mendekati batas kriteria yakni berkisar 0,3-0,46 kWh/m³. Tingginya nilai tersebut dikarenakan penurunan performa teknis pompa distribusi yang mengakibatkan rendahnya nilai produksi pompa (debit) serta konsumsi daya listrik pompa cenderung meningkat.

3.5 Analisis Jam Operasional Pompa

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.28 Tahun 2016, tarif listrik dibebankan berdasarkan waktu beban puncak (WBP) dan luar waktu beban puncak (LWBP) ditambah adanya denda jika terdapat pemakaian daya reaktif yang melebihi dari kontrak pelanggan [20]. Hasil pelaporan rekening listrik dari Perumdam Sumber Sejahtera ditampilkan pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Jam Operasi Pompa Distribusi berdasarkan LWBP dan WBP

No	Tahun	Bulan	Penggunaan LWBP (kWh)	Penggunaan WBP (kWh)
Pompa Tangkel Kota dan Selatan				
1	2023	Januari	156.008	31.520
2		Februari	151.160	29.600
3		Maret	165.832	33.352
Pompa Junok				
1	2023	Januari	9.370	1.919
2		Februari	8.679	1.737
3		Maret	10.171	2.062
Pompa Stadion 1 dan 2				
1	2023	Januari	28.586	5.705
2		Februari	26.768	5.381
3		Maret	26.327	5.299

Dari hasil Tabel 8, penggunaan energi listrik untuk pompa distribusi pada WBP masih cukup tinggi. Nilai kWh yang dikeluarkan masing-masing berkisar 29.600-33.352 kWh untuk sistem distribusi Tangkel, 1.737-2.062 kWh untuk distribusi Junok, dan 5.299-5705 kWh untuk sistem distribusi Stadion. Penetapan WBP umumnya dari jam 17.00 sampai dengan 22.00, sedangkan LWBP adalah di luar jam dari jam 17.00-22.00. Dalam meminimalkan lonjakan tarif di WBP, operasi pompa dapat diminimalisasi dengan mengatur frekuensi putaran pompa sehingga menurunkan nilai kWh atau menggunakan *elevated reservoir* sehingga pompa tidak beroperasi selama 24 jam penuh [3].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis audit energi terperinci (AET) yang dilakukan diatas diketahui bahwa kualitas daya untuk masing-masing pompa distribusi masih cukup baik hal ini ditandai dengan nilai ketidakseimbangan tegangan yang masih <1% serta nilai faktor daya ($\cos\phi$) yang baik yakni berada >0,85. Namun, tingkat efisiensi total pompa untuk masing-masing pompa distribusi masih sangat rendah yakni berkisar pada 35,22-51,46% yang mana tingkat efisiensi pompa sebaiknya berkisar >60%. Nilai SEC pada masing-masing pompa distribusi juga belum dapat dikatakan ideal, dikarenakan masih terdapat nilai SEC yang >0,4 kWh yakni pada pompa distribusi Junok dengan nilai SEC sebesar 0,46 kWh. Identifikasi faktor penyebab tingginya konsumsi energi juga dapat dilihat waktu pengoperasian pompa. Pengoperasian pompa secara 24 jam mengakibatkan adanya pembebanan tarif berlebih pada waktu beban puncak (WBP).

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang telah memberikan bantuan berupa beasiswa dalam pelaksanaan studi ini serta kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan Perumda Air Minum Sumber Sejahtera atas bantuannya dalam pengumpulan dan penyusunan data untuk studi ini.

Daftar Pustaka

- [1] Q. Constantya, A. Slamet, and G. N. R. Pandin, "Analisis Peluang Peningkatan Efisiensi Energi Pada Instalasi Pompa Wadit 3 Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang," *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 6, no. 11, 2021.
- [2] U. Andawayanti, H. Muldianto, E. Suhartanto, and W. Soetopo, "Analisis Biaya Pengelolaan Air Dengan Metode Sistem Dinamik Pada Waduk Jatigede," *J. Tek. Pengair.*, vol. 12, no. 2, pp. 197–204, 2021, doi: 10.21776/ub.pengairan.2021.012.02.11.
- [3] Y. Chang, G. Choi, J. Kim, and S. Byeon, "Energy cost optimization for water distribution networks using demand pattern and storage facilities," *Sustain.*, vol. 10, no. 4, 2018, doi: 10.3390/su10041118.
- [4] I. Zimoch and E. Bartkiewicz, "Optimization of energy cost in water supply system," *E3S Web Conf.*, vol. 22, pp. 1–8, 2017, doi: 10.1051/e3sconf/20172200204.
- [5] O. Giustolisi, D. Laucelli, and L. Berardi, "Operational Optimization: Water Losses versus Energy Costs," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 139, no. 4, pp. 410–423, 2013, doi: 10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000681.
- [6] F. K. Aley and M. I. Arsyad, "Audit Energi Listrik Pada Perusahaan Daerah Air Minum (Pdam) Tirta Khatulistiwa," *J. Tek. Elektro Univ. ...*, vol. 7, no. 2, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/35147>.
- [7] Kementerian PUPR, *Petunjuk Teknis Penelitian PDAM*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian PUPR, 2012.
- [8] I. M. W. Artha, "Pengaruh Sistem Pengaliran Air Dengan Elevated Reservoir Dalam Meningkatkan Efisiensi Energi Pdam Bandarmasih," Institut Teknologi Sepuluh November, 2021.
- [9] Kementerian PUPR, "Kinerja BUMD Air Minum 2022. Jakarta: Direktorat Air Minum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian PUPR," Jakarta, 2022.
- [10] M. Emami Javanmard, S. F. Ghaderi, and M. Hoseinzadeh, "Data mining with 12 machine learning algorithms for predict costs and carbon dioxide emission in integrated energy-water optimization model in buildings," *Energy Convers. Manag.*, vol. 238, no. April, p. 114153, 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2021.114153.
- [11] A. C. Basudewa, D. A., Ariwibowo, W., Widyantoro, M., & Hermawan, "Analisa Penggunaan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya Pada Gedung IDB Laboratory UNESA," *J. Tek. Elektro*, 2020.
- [12] G. Grusso, C. D. Londono, L. Daniel, and P. Maffezzoni, "Advanced probabilistic load flow methodology for voltage unbalance assessment in PV penetrated distribution grids," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 155, no. October 2023, 2024, doi: 10.1016/j.ijepes.2023.109556.
- [13] V. . A. Shankar, S. Umashankar, P. Sanjeevikumar, L. Mihet-Popa, V. Fedak, and V. K. Ramachandaramurthy, "Power Quality Performance Analysis of grid tied PV fed Parallel Pumping System under Normal and Vibrating Condition," *Energy Procedia*, vol. 145, pp. 497–503, 2018, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.04.092>.
- [14] A. Mamade, D. Loureiro, D. Covas, and H. Alegre, "Energy auditing as a tool for improving service efficiency of water supply systems," *Procedia Eng.*, vol. 89, pp. 557–564, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.478.
- [15] Kementerian PUPR, *Pedoman Pelaksanaan Efisiensi Energi di PDAM*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian PUPR, 2014.
- [16] W. H. Ng, Y. Y. Liang, and G. A. F. Weihs, "Quantifying the potential of pressure retarded osmosis advanced spacers for reducing specific energy consumption in hybrid desalination," *J. Water Process Eng.*, vol. 55, no. June, p. 104197, 2023, doi: 10.1016/j.jwpe.2023.104197.
- [17] B. Stoffel, *Assessing the Energy Efficiency of Pumps and Pump Units*. Belanda: Elsevier, 2015.
- [18] Nema, "National Electrical Manufacturers Association : Application Guide for Ground," New York, 2014.
- [19] E. Cabrera, E. Gómez, V. Espert, and E. Cabrera, "Strategies to Improve the Energy Efficiency of Pressurized Water Systems," *Procedia Eng.*, vol. 186, pp. 294–302, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.248.
- [20] Kementerian ESDM, "Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 28 Tahun 2016," 2016.