

STUDI EFISIENSI ENERGI POMPA WILAYAH DISTRIBUSI INTAN PAKUAN PERUMDA TIRTA PAKUAN KOTA BOGOR

Fira Riza Aulia, Ali Masduqi, Muhammad Sundoro

Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Email: firarizaalia@pu.go.id, masduqi@its.ac.id

Abstrak

Untuk meningkatkan cakupan pelayanan, Perumda Tirta Pakuan Kota Bogor perlu melakukan penurunan biaya operasional. Bagian penting dari biaya operasional adalah biaya energi, maka perlu adanya pengurangan terhadap konsumsi energi. Berdasarkan data daftar biaya listrik Perumda Tirta Pakuan, pemakaian energi paling besar di sistem distribusi adalah pada wilayah pelayanan Intan Pakuan. Biaya pemakaian listrik rumah pompa Intan Pakuan pada tahun 2020 adalah Rp. 211.786.451. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis kinerja pompa sehingga dapat diketahui konsumsi energi pompa dan diberikan rekomendasi perbaikan yang dapat meningkatkan pelayanan serta penghematan energi yang dapat dilakukan. Dilakukan pengukuran pemakaian energi pompa dan parameter kelistrikan pompa. Selain itu, dilakukan pengukuran fluktuasi debit air di *discharge* pompa. Berdasarkan hasil pengolahan data, diketahui bahwa efisiensi pompa pada jam puncak adalah 38,41%, sedangkan pada jam minimum adalah 21,68%, dan nilai efisiensi pompa berdasarkan rata-rata konsumsi energi dan distribusi air adalah 31,6%. Rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan adalah penggantian pompa yang sesuai dengan kebutuhan pemakaian. Setelah dilakukan perhitungan dengan pompa rekomendasi, didapatkan efisiensi pompa meningkat menjadi 74,52% dan terjadi penghematan biaya konsumsi listrik sebesar Rp.842.089 setiap bulannya.

Kata kunci: pompa; efisiensi energi; sistem distribusi air minum

Abstract

To increase the service coverage, Perumda Tirta Pakuan Kota Bogor needed to reduce operational costs. An important part of operational costs was energy costs, so it was necessary to reduce energy consumption. Based on Perumda Tirta Pakuan electricity bill, the largest energy consumption in the distribution system was Intan Pakuan service area. The cost of electricity consumption for Intan Pakuan pump house in 2020 is Rp. 211.786.451. Therefore, it was necessary to analyze the performance of the pump so that the pump/s energy consumption can be known and recommendations for improvements that can improve service and energy savings can be made. Measurements were made on the pump energy consumption and pump electrical parameters. In addition, measurements of fluctuations in water flow at the pump discharge were carried out. Based on the results of data processing, the pump efficiency at peak hours was 38.41%, while at minimum hours was 21.68%, and the pump efficiency based on the average energy

consumptions and water distribution was 31.6%. Recommendations for improvement that can be done was to replace the pump according to usage needs. After calculation with the recommended pump, it was found that the pump efficiency increased to 74.52% and there was a savings in electricity consumption costs of Rp. 842.089 per month.

Keywords: *pump; energy efficiency; water distribution system*

Pendahuluan

Berdasarkan Laporan Buku Kinerja Direktorat Air Minum Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tahun 2020, cakupan pelayanan Perumda Tirta Pakuan adalah 75,73% dari total penduduk di wilayah pelayanannya (BPPSPAM, 2019). Untuk mencapai target pelayanan 100% sesuai Peraturan Presiden Nomor 18 Tahun 2020 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) Tahun 2020-2024, Perumda Tirta Pakuan perlu melakukan pengembangan dan pengoptimalan sistem yang sudah ada.

Pengembangan sistem pelayanan air minum memerlukan biaya lebih, sehingga perlu peningkatan pendapatan dan penurunan pengeluaran biaya operasional. Bagian penting dari biaya operasional adalah biaya energi, maka pengurangan terhadap konsumsi energi harus dilakukan (Winarto, 2016). Biaya energi Perumda Tirta Pakuan adalah Rp. 108/m³, sudah lebih rendah dari rata-rata biaya energi BUMD Air Minum Nasional yaitu Rp. 352,16/m³ (BPPSPAM, 2019). Biaya ini dipengaruhi oleh sebagian besar pengaliran air di Perumda Tirta Pakuan tidak menggunakan sistem pompa, melainkan gravitasi. Biaya energi keseluruhan yang rendah tidak menjamin bahwa penggunaan energi sudah sangat efisien sehingga tidak terdapat rugi-rugi energi (Kementerian PUPR, 2014).

Konsumsi energi pada jaringan distribusi dipengaruhi oleh penggunaan pompa (Martin-Candilejo et al., 2020), (Mala-Jetmarova et al., 2017), (Salomons & Housh, 2020), (Luna et al., 2019). Pengoperasian pompa dapat menyebabkan inefisiensi energi pada jaringan distribusi sehingga perlu dilakukan audit kinerja pompa (Kementerian PUPR, 2014), (Aalsey & Arsyad, 2018), (Kamal et al., 2019). Penggunaan pompa yang lebih efisien dapat mengurangi konsumsi energi sampai dengan 30% (Cabrera et al., 2017).

Berdasarkan data daftar biaya listrik Perumda Tirta Pakuan, pemakaian energi paling besar di sistem distribusi adalah wilayah pelayanan Intan Pakuan. Biaya pemakaian listrik rumah pompa Intan Pakuan pada tahun 2020 adalah Rp. 211.786.451. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi kinerja pompa yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kinerja pompa sehingga dapat diketahui konsumsi energi pompa sehingga dapat diberikan rekomendasi perbaikan yang dapat meningkatkan pelayanan serta penghematan energi yang dapat dilakukan.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data primer dan data sekunder. Data primer merupakan hasil pengukuran pemakaian energi dan parameter kelistrikan pompa selama 24 jam dengan menggunakan alat *Power Quality Analyzer* Hioki 3197. Selain itu dilakukan pengukuran debit air di *discharge* pompa menggunakan alat *Ultrasonic Flow Meter* yang dihubungkan dengan *data logger* sehingga dapat merekam fluktuasi debit air selama 24 jam. Data sekunder merupakan data spesifikasi pompa, data pemakaian air pelanggan, data tekanan pelanggan, dan tarif pemakaian air.

Berdasarkan data yang terkumpul, dilakukan analisis terhadap pompa yang digunakan untuk mengetahui efisiensi kinerja pompa dan konsumsi energi spesifik pompa. Kemudian dilakukan analisis rekomendasi perbaikan serta penghematan energi yang dapat dilakukan.

Hasil dan Pembahasan

Wilayah pelayanan Intan Pakuan merupakan salah satu wilayah pelayanan yang termasuk pada Zona 1 distribusi Perumda Tirta Pakuan. Data rata-rata pemakaian pelanggan sesuai rekening bulan Januari sampai dengan Juni 2021 dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Pemakaian Air Wilayah Pelayanan Intan Pakuan

Titik Distribusi	Data Pemakaian Air (l/s)	Jumlah Pelanggan (SL)
Titik D	1,1	10
Titik E	0,1361	21
Titik F	0,2514	30
Titik G	0,0024	1
Titik I	0,2667	39
Titik J	0,2832	40
Titik K	0,94	96
Titik L	0,5071	69
Titik M	0,3671	23
Titik N	1,5653	95
Titik O	0,3132	45
Titik P	1,9492	71
Titik Q	0,2919	5
Titik R	0,2758	7
Titik S	0,2445	16
Titik X	0,003	2
Titik Y	0,0381	9
Titik Z	0,0417	5
Titik AA	0,1027	18

Titik AD	1,1058	160
Titik AE	0,6314	97
Titik AF	0,5874	75
Titik AG	1,2904	26
Titik AH	0,7751	110
Titik AJ	0,1399	4
Titik AM	0,208	27
Titik AN	1,989	79
Total	15,4064	1180

Sumber: Perumda Tirta Pakuan, 2021

Pengukuran debit pompa dilakukan dengan membaca data pada *ultrasonic flow meter* yang terhubung dengan *data logger*. Alat yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Berdasarkan data pengukuran debit selama 24 jam, dilakukan pengelompokan durasi setiap dua jam. Setelah itu dapat diketahui bahwa jam puncak wilayah pelayanan adalah pada pukul 08.00 sampai dengan pukul 10.00 dengan nilai rata-rata kebutuhan air sebanyak 60,14 m³/h. Sedangkan jam minimum terjadi pada pukul 02.00 sampai dengan pukul 04.00 dengan nilai rata-rata kebutuhan air sebanyak 26,02 m³/h. Pola distribusi air pada jaringan pipa dapat dilihat pada **Tabel 2** dan grafik fluktuasi debit air selama 24 jam dapat dilihat pada **Gambar 2**.

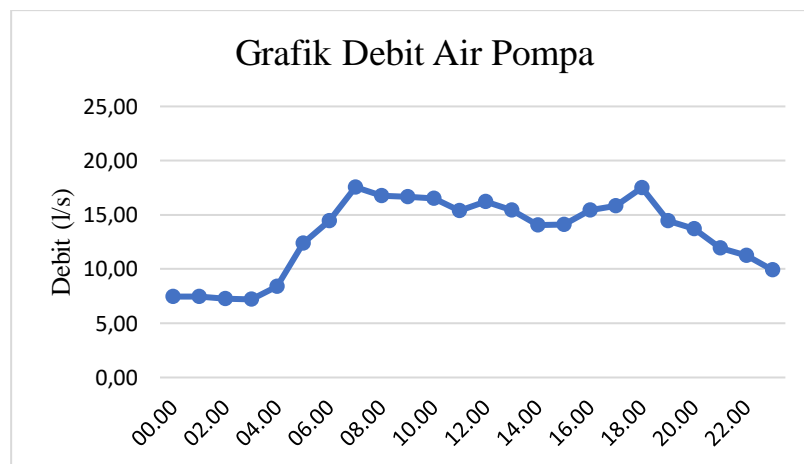


Gambar 1 Ultrasonic Flow Meter untuk Pembacaan Debit Aliran

Tabel 2 Pola Distribusi Air Wilayah Pelayanan Intan Pakuan

Jam	Rata-rata Distribusi Air (l/s)	Faktor Pengali
00.00-02.00	7,45	0,56
02.00-04.00	7,23	0,55
04.00-06.00	10,39	0,79
06.00-08.00	15,82	1,2
08.00-10.00	16,70	1,26
10.00-12.00	15,95	1,21
12.00-14.00	15,84	1,20
14.00-16.00	14,08	1,07
16.00-18.00	15,63	1,18
18.00-20.00	15,98	1,21
20.00-22.00	12,84	0,97
22.00-00.00	10,57	0,8

Sumber: Perumda Tirta Pakuan, 2021



Gambar 4 Fluktuasi Pengukuran Debit Pompa

Pengukuran pompa dilakukan dengan menggunakan alat *Power Quality Analyzer* (**Gambar 3**). Pada saat pengukuran pompa dilakukan pencatatan setiap 30 menit. Untuk hasil pengukuran fluktuasi pemakaian energi pompa dapat dilihat pada **Gambar 4**. Pompa yang digunakan pada wilayah pelayanan ini menggunakan sistem manual dalam pengoperasiannya. Satu pompa dioperasikan secara manual untuk melayani selama 24 jam dan besoknya pompa kembali digilir secara manual oleh operator. Pompa digunakan dengan pengaturan kapasitas aliran sebesar 16 l/s dan *head* sebesar 28 m. Pengoperasian pompa dilakukan berdasarkan kebutuhan pemakaian. Adapun kapasitas desain pompa adalah 25 l/s dan *head* desain adalah 65,3 m. Pengoperasian pompa yang tidak sesuai dengan desain pompa dapat mengakibatkan efisiensi pompa lebih rendah.

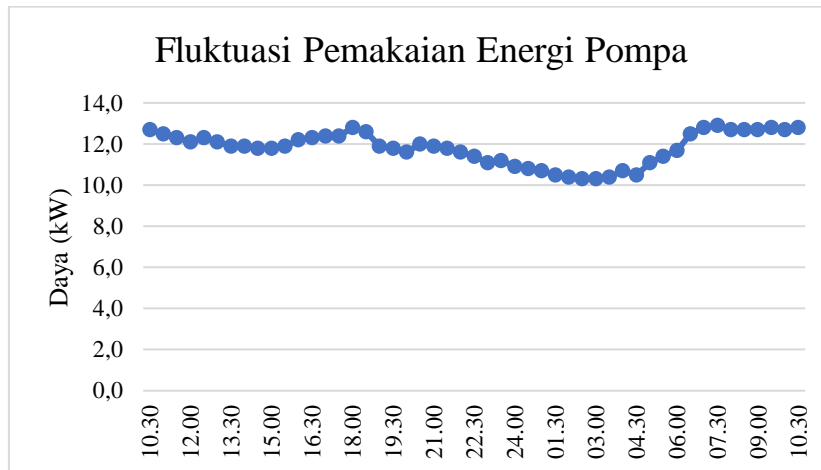


Gambar 3 Power Quality Analyzer

Berdasarkan data debit dan daya yang diperoleh maka akan dianalisis untuk mencari nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) melalui persamaan (1), yaitu:

$$SEC = \frac{\text{Konsumsi Energi (kWh)}}{\text{Jumlah Air yang Dihasilkan (m}^3\text{)}} \quad (1)$$

Hasil perhitungan nilai SEC dapat dilihat pada **Tabel 3**.



Gambar 4 Fluktuasi Pemakaian Energi Pompa

Tabel 3. Nilai SEC Pompa

Rata-Rata Konsumsi Energi (kW)	Rata-Rata Distribusi Air (m ³ /h)	SEC (kWh/m ³)
11,7	47,54	0,25

Setelah dilakukan penghitungan SEC sesuai dengan persamaan (1), maka didapatkan nilai SEC sebesar 0,25 kWh/m³. Dengan demikian dapat diketahui bahwa untuk mendistribusikan 1 m³ air pompa membutuhkan 0,25 kWh. Sehingga dapat dikatakan bahwa SEC pompa yang digunakan sudah berada diatas standar SEC yang dapat dikatakan memenuhi syarat efisiensi energi, yaitu < 0,4 kWh/m³.

Selain mengukur konsumsi energi, pengukuran pompa menggunakan alat *Power Quality Analyzer* juga dapat mengetahui parameter kelistrikan pompa. Hasil pengukuran parameter kelistrikan lainnya dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Parameter Kelistrikan

Parameter Kelistrikan	Rata-Rata Hasil Pengukuran
Tegangan (V)	396 Volt
Arus (A)	22 A
Frekuensi (Hz)	50 Hz
Faktor Daya	0,85

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa tegangan rata-rata terukur adalah sebesar 396 Volt, arus yang digunakan sebesar 22 Ampere, nilai frekuensi sebesar 50 Hz, serta nilai faktor daya 0,85. Parameter kelistrikan tersebut masih dalam batas nominal sesuai dengan data desain pompa sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada kendala dari kelistrikan pompa. Nilai faktor daya juga masih berada dalam nilai standar batas yaitu $\geq 0,85$ (BTAM, 2019) sehingga tidak terkena denda KVARH.

Untuk mengetahui efisiensi kinerja pompa, dilakukan pengukuran dengan membandingkan daya hidrolis dan daya *shaft*. Nilai efisiensi pompa dapat diketahui berdasarkan persamaan (2) berikut:

$$\eta_{pump} = \frac{P_H}{P_S} (\%) \quad (2)$$

Keterangan:

η = efisiensi pompa

P_H = daya hidrolis, berupa daya yang dihasilkan (Watt)

P_S = daya *shaft*, daya nyata (Watt)

Daya hidrolis diperoleh berdasarkan persamaan (3) berikut:

$$P_H = \rho \times g \times H \times Q \quad (3)$$

Keterangan:

P_H = daya hidrolis (Watt)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

g = gravitasi (m/detik²)

H = *head* total (m)

Q = debit air (m³/detik)

Hasil perhitungan efisiensi pompa dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Perhitungan Efisiensi Kinerja Pompa

Waktu	Konsumsi Energi (kW)	Distribusi Air (m ³ /s)	Total Head (m)	Pw (kW) (γ·Q·H)	Efisiensi Kinerja (%)
Jam Puncak	12,8	0,018	28	4,92	38,41
Rata-Rata	11,7	0,013	28	3,70	31,61
Jam Minimum	9,3	0,007	28	2,02	21,68

Berdasarkan data pada Tabel 5 dapat diketahui bahwa kinerja pompa pada jam puncak adalah 38,41%, sedangkan pada jam minimum adalah 21,68%, dan nilai efisiensi pompa berdasarkan rata-rata konsumsi energi dan distribusi air adalah 31,6%. Standar nilai efisiensi untuk dapat dikatakan efisiensi energi yaitu $\geq 60\%$. Faktor penyebab rendahnya efisiensi kinerja pompa adalah tingginya konsumsi energi sedangkan debit air yang dihasilkan rendah terutama pada jam minimum pemakaian. Rugi-rugi energi menjadi semakin besar dikarenakan pompa dioperasikan diluar disain *operating point* (Winarto, 2013). Selain itu, nilai efisiensi pompa rendah dapat disebabkan oleh adanya kavitasi, penurunan kinerja sistem pompa, kelistrikan, dan pemeliharaan pompa yang tidak optimal (Cabrera et al., 2017), (Mutofan, 2017). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa pompa baik pada jam puncak, jam minimum, ataupun pada rata-rata pemakaian masih berada dibawah nilai standar sehingga perlu dilakukan peningkatan efisiensi kinerja pada pompa. Berdasarkan Pedoman Efisiensi Energi Kementerian PUPR, efisiensi di bawah 50% perlu pemeliharaan pompa ataupun perbaikan ringan sedangkan untuk efisiensi di bawah 40% perlu perbaikan berat ataupun penggantian pompa.

Pemakaian energi listrik pompa dapat dihitung berdasarkan hasil pengukuran pompa. Perusahaan Listrik Negara telah membagi perhitungan konsumsi energi listrik menjadi Waktu Beban Puncak (WBP) yaitu pukul 17.00 – 22.00 dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) yaitu waktu selain WBP. Pemakaian energi listrik eksisting pompa dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Konsumsi Energi Listrik Eksisting Pompa Wilayah Pelayanan Intan Pakuan

Konsumsi Energi (kWh/bulan)		Total (kWh/bulan)
WBP	LWBP	
2.166	6.474	8.640

Dari data konsumsi energi listrik pada **Tabel 6**, dapat diketahui bahwa konsumsi energi listrik eksisting pompa selama satu bulan adalah 2.166 kWh pada WBP dan 6.474 kWh pada LWBP, sehingga total energi listrik adalah 8.640 kWh. Kemudian

dapat dihitung biaya yang dikeluarkan untuk kebutuhan listrik pompa. Perhitungan biaya pemakaian listrik pompa dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Biaya Pemakaian Listrik Pompa Wilayah Pelayanan Intan Pakuan

Konsumsi Energi (kWh/bulan)		Tarif Listrik (Rp.)		Biaya Listrik (Rp/bulan)
WBP	LWBP	WBP	LWBP	
2.166	6.474	1.553,67	1.035,78	10.070.889

Berdasarkan perhitungan pada **Tabel 7**, diketahui bahwa biaya listrik yang harus dibayarkan untuk pompa eksisting wilayah pelayanan Intan Pakuan adalah Rp. 10.070.889. Potensi penghematan dapat dilakukan dengan perbaikan efisiensi dan desain sistem yang lebih baik pada setiap komponen sistem pompa (Winarto, 2013). Kondisi nilai SEC pompa sudah baik yaitu $< 0,4 \text{ kWh/m}^3$. Oleh karena itu pompa tidak memiliki kondisi KVARH. Namun untuk efisiensi kinerja pompa masih belum baik karena $< 60\%$. Selain karena kondisi mekanis pompa, pompa eksisting tidak efisien karena pengoperasian pompa tidak sesuai dengan titik efisiensi terbaik (*Best Efficiency Point*) (Klimaszewski et al., 2020), (Brentan et al., 2018). Hal ini disebabkan karena desain pompa lebih besar dari pada kebutuhan pemakaian. Oleh karena itu rekomendasi yang dapat dilakukan adalah melakukan penggantian pompa sesuai dengan kebutuhan. Berdasarkan data rata-rata pemakaian pelanggan sesuai rekening bulan Januari sampai dengan Juni 2021, maka dapat disimpulkan bahwa kebutuhan distribusi air pelanggan wilayah pelayanan Intan Pakuan adalah seperti pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Kebutuhan Distribusi Wilayah Pelayanan Intan Pakuan

Debit Kebutuhan Air Rata-Rata (l/s)	Faktor Pengali	Kebutuhan Distribusi (l/s)
15,41	1,3	20,033

Dari data **Tabel 8** diketahui kebutuhan distribusi air adalah 20 l/s, oleh karena itu digunakan pompa dengan kapasitas debit 25 l/s. Spesifikasi rekomendasi pompa yang akan digunakan adalah pompa dengan kapasitas 25 l/s, *head* desain 32,8 m, dan daya pompa 11 kW. Berdasarkan data spesifikasi tersebut, maka dapat dihitung konsumsi energi pompa rekomendasi (**Tabel 9**) dan biaya listrik selama sebulan yang dibutuhkan setelah dilakukan penggantian pompa (**Tabel 10**).

Tabel 9. Konsumsi Energi Listrik Pompa Rekomendasi

Konsumsi Energi (kWh/bulan)		Total (kWh/bulan)
WBP	LWBP	
1.980	6.474	7.920

Tabel 10. Biaya Pemakaian Listrik Pompa Rekomendasi

Konsumsi Energi (kWh/bulan)		Tarif Listrik (Rp.)		Biaya Listrik (Rp/bulan)
WBP	LWBP	WBP	LWBP	
1.980	6.474	1.553,67	1.035,78	9.228.800

Setelah dilakukan perhitungan pada konsumsi energi listrik dan biaya pemakaian listrik pompa rekomendasi (**Tabel 9**), dapat diketahui bahwa dengan melakukan penggantian pompa maka total konsumsi energi berkurang. Total konsumsi energi setiap bulan yang semula 8.640 kWh menjadi 7.920 kWh. Sehingga dapat dikatakan bahwa terjadi penghematan energi sebesar 720 kWh setiap bulannya. Biaya pemakaian listrik setiap bulannya (**Tabel 10**) juga berkurang karena total konsumsi energi berkurang. Terjadi penghematan biaya energi listrik sebesar Rp.842.089 setiap bulannya setelah dilakukan penggantian pompa. Selain mengurangi biaya pemakaian listrik, penggantian pompa juga dapat meningkatkan efisiensi kinerja pompa dan menurunkan nilai SEC pompa. Perbandingan efisiensi pompa, nilai SEC dan biaya energi listrik antara pompa eksisting dan pompa rekomendasi dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Perbandingan Efisiensi Pompa, SEC, dan Biaya Energi Pompa Eksisting dan Setelah Rencana Rekomendasi Perbaikan

Parameter	Eksisting	Rekomendasi Perbaikan
Efisiensi Pompa	31,60%	74,52%
SEC (kWh/m ³)	0,25	0,13
Biaya Energi Listrik (Rp/bulan)	10.070.889	9.228.800

Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi pompa, diperoleh efisiensi pompa wilayah pelayanan pada jam puncak adalah 38,41%, sedangkan pada jam minimum adalah 21,68%, dan nilai efisiensi pompa berdasarkan rata-rata konsumsi energi dan distribusi air adalah 31,6%. Efisiensi pompa baik pada jam puncak, jam minimum, ataupun pada rata-rata pemakaian masih berada dibawah nilai standar sehingga perlu dilakukan peningkatan efisiensi kinerja pada pompa. Nilai parameter kelistrikan lainnya seperti tegangan, arus, dan frekuensi masih sesuai dengan desain pompa serta faktor daya sudah memenuhi yaitu $\geq 0,85$. Rekomendasi yang dapat dilakukan adalah melakukan penggantian pompa sesuai dengan kebutuhan sehingga didapatkan penghematan sebesar Rp.842.089 setiap bulannya dan peningkatan efisiensi pompa menjadi 74,52%.

BIBLIOGRAFI

- Alsey, F. K., & Arsyad, M. I. (2018). *Audit Energi Listrik Pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Khatulistiwa*. 2, 1–6. [Google Scholar](#)
- BPPSPAM. (2019). *Buku Kinerja BUMD Penyelenggara SPAM*. Kementerian PUPR. [Google Scholar](#)
- Brentan, B., Meirelles, G., Luvizotto, E., & Izquierdo, J. (2018). Joint Operation of Pressure-Reducing Valves and Pumps for Improving the Efficiency of Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(9), 04018055. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000974](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000974) [Google Scholar](#)
- BTAM. (2019). *Efisiensi Energi*. Bekasi: Balai Teknik Air Minum Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. [Google Scholar](#)
- Cabrera, E., Gómez, E., Espert, V., & Cabrera, E. (2017). Strategies to Improve the Energy Efficiency of Pressurized Water Systems. *Procedia Engineering*, 186, 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.248> [Google Scholar](#)
- Kamal, A., Al-Ghamdi, S. G., & Koc, M. (2019). Revaluing The Costs and Benefits of Energy Efficiency: A Systematic Review. *Energy Research and Social Science*, 54(September 2018), 68–84. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.03.012> [Google Scholar](#)
- Kementerian PUPR. (2014). *Pedoman Pelaksanaan Efisiensi Energi di PDAM*. 82. [Google Scholar](#)
- Klimaszewski, P., Klonowicz, P., Lampart, P., Witanowski, Ł., Zaniewski, D., Jędrzejewski, Ł., & Suchocki, T. (2020). Design and Performance Analysis of ORC Centrifugal Pumps. *Archives of Thermodynamics*, 41(4), 203–222. <https://doi.org/10.24425/ather.2020.135860> [Google Scholar](#)
- Luna, T., Ribau, J., Figueiredo, D., & Alves, R. (2019). Improving Energy Efficiency in Water Supply Systems with Pump Scheduling Otimization. *Journal of Cleaner Production*, 213, 342–356. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.190> [Google Scholar](#)
- Mala-Jetmarova, H., Sultanova, N., & Savic, D. (2017). Lost in Optimisation of Water Distribution Systems? A Literature Review of System Operation. *Environmental Modelling and Software*, 93, 209–254. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.02.009> [Google Scholar](#)
- Martin-Candilejo, A., Santillán, D., & Garrote, L. (2020). Pump Efficiency Analysis for Proper Energy Assessment in Optimization of Water Supply Systems. *Water (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/w12010132> [Google Scholar](#)

Mutofan, E. A. (2017). Manajemen Pemanfaatan Energi Listrik pada pompa PDAM Tirta Moedal Produksi II Kota Semarang Melalui Audit Energi Listrik. *Universitas Negeri Semarang*, ISSN 2252-6811. [Google Scholar](#)

Salomons, E., & Housh, M. (2020). Practical real-time optimization for energy efficient water distribution systems operation. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124148> [Google Scholar](#)

Winarto, S. (2013). Penghematan Energi Pada Pompa. *Swara Patra*, 3(3). [Google Scholar](#)

Winarto, S. (2016). Optimasi Energi Pompa. *Swara Patra*, 6(2). [Google Scholar](#)

Copyright holder:

Fira Riza Aulia, Ali Masduqi, Muhammad Sundoro (2021)

First publication right:

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

