

ALTERNATIF PENINGKATAN EFISIENSI ENERGI SISTEM DISTRIBUSI INSTALASI KOTA WISATA PERUMDA AIR MINUM TIRTA KAHURIPAN

Rizeki Nanda Utama¹, Agus Slamet¹, Ade Syaiful Rachman²

¹Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

²Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia

Email: rizekinanda@pu.go.id, agusslamet@enviro.its.ac.id

Abstrak

Perumda Air Minum Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor tengah berupaya meningkatkan kinerja pelayanan. Upaya yang dilakukan salah satunya adalah peningkatan efisiensi energi. Menurut Penilaian Kinerja BUMD Air Minum tahun 2020, biaya energi Perumda Air Minum Tirta Kahuripan sebesar Rp 526/m³ yang mana lebih tinggi dari standar biaya energi nasional yaitu sebesar Rp 352,16/m³. Instalasi Kota Wisata merupakan salah satu unit yang memiliki penggunaan energi pompa yang cukup besar. Tujuan penelitian menganalisis peluang peningkatan efisiensi energi di Perumda Air Minum Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data kelistrikan (kualitas daya) pompa. Data-data diolah untuk menentukan nilai konsumsi energi spesifik dan kajian efisiensi energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pompa yang memiliki nilai konsumsi energi spesifik sebesar 0,5 kWh/m³ dengan efisiensi pompa sebesar 46,43%. Alternatif peningkatan efisiensi energi dilakukan dengan penggantian pompa dan pemasangan VSD yang diperkirakan dapat menurunkan penggunaan listrik sebesar 522,2 Kw atau dapat menurunkan biaya energi dari Rp 419,5/m³ menjadi Rp 370,9/m³.

Kata kunci: efisiensi energi, air minum, konsumsi energi spesifik

Abstract

Perumda Air Minum Tirta Kahuripan is currently trying to improve service performance. One of the efforts made is to increase energy efficiency. According to the performance assesment in 2020, energy cost of Perumda Air Minum Tirta Kahuripan is Rp 526/m³ which is higher than the national energy cost standard of Rp 352.16/m³. Instalasi Kota Wisata is one of the units that uses a large energy. The purpose of this research is to analyze the opportunity to increase energy efficiency in Perumda Air Minum Tirta Kahuripan. The research was conducted by collecting electrical data (power quality) of the pump. The data is processed to determine the value of specific energy consumption and energy efficiency studies. The results showed that there is a pump that has a specific energy consumption value of 0.5 kWh/m³ with a pump efficiency of 46.43%. Alternative energy efficiency improvements are carried out by replacing pumps

and installing VSDs which are estimated to reduce electricity use by 522.2 Kw or reduce energy costs from Rp. 419,4/m³ to Rp. 370,9/m³.

Keywords: energy saving, drinking water, spesific energy consumption

Pendahuluan

Perumda Air Minum Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor memiliki 8 cabang yaitu Cabang Cibinong, Cabang Cileungsi, Cabang Jonggol, Cabang Ciawi, Cabang Kedung Halang, Cabang Ciomas, Cabang Leuwiliang dan Cabang Parung Panjang. Wilayah cakupan pelayanan sebesar 30,56% dan memiliki jumlah pelanggan sebanyak 173.451 pelanggan ([Direktorat Air Minum, 2020](#)). Perumda Air Minum Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor memiliki biaya energi sebesar Rp 526/m³ berdasarkan Buku Kinerja BUMD Air Minum oleh Direktorat Air Minum Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tahun 2020. Kondisi ini lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata biaya energi BUMD Air Minum nasional sebesar Rp 352,16/m³ sehingga perlu adanya upaya untuk meningkatkan efisiensi energi di wilayah Perumda Air Minum Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor.

Upaya untuk meningkatkan efisiensi energi pernah dilakukan oleh Perumda Air Minum Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor tetapi belum menyeluruh ke semua cabang pelayanan. Instalasi Kota Wisata adalah salah satu unit pelayanan yang berada dalam wilayah Cabang Cileungsi dan belum pernah dilakukan evaluasi pada sistem distribusi. Pemakaian energi listrik Instalasi Kota Wisata merupakan pemakaian listrik terbesar ke-3 dari total keseluruhan biaya energi listrik dalam 1 (satu) tahun sebesar 11,93% berdasarkan data pemakaian energi listrik tahun 2018. Instalasi Kota Wisata berfungsi sebagai salah satu penampungan air (reservoir) hasil produksi Instalasi Pengolahan Air (IPA) Gunung Putri yang selanjutnya didistribusikan ke daerah pelanggan. Selain itu dalam Instalasi Kota Wisata terdapat salah satu *booster pump* yang digunakan untuk distribusi air ke reservoir Agrowisata.

Pada bulan Januari 2021 biaya energi Instalasi Kota Wisata sebesar 419,4 Rp/m³ dan bulan Februari 2021 sebesar 415,4 Rp/m³. Data tersebut dapat menunjukkan adanya biaya pemakaian energi masih lebih besar dibandingkan dengan volume produksi atau yang keluar dari Instalasi Kota Wisata. Energi listrik merupakan salah satu bagian yang paling banyak digunakan dalam biaya operasi sistem distribusi air ([Bene, Selek, & Hös, 2010](#)). Biaya listrik yang tinggi dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu penggunaan energi yang bukan peningkatan kapasitas produksi atau distribusi, umur peralatan dan penggunaan energi yang tidak efisien ([Mulyono, 2020](#)). Penggunaan energi yang tidak efisien dapat disebabkan oleh efisiensi pompa yang mulai menurun. Selanjutnya efisiensi pompa yang menurun dapat disebabkan juga karena desain sistem yang tidak optimal, adanya kavitasi dan juga adanya komponen pompa yang aus ([Muji, Dan, & Aziz, 2014](#)). Selain dari efisiensi, pengukuran konsumsi energi spesifik juga dapat dilakukan untuk melihat indikasi penggunaan yang tidak efisien pada pompa. Konsumsi energi spesifik adalah jumlah energi yang digunakan untuk menghasilkan satuan produk atau keluaran ([Kementerian ESDM, 2017](#)).

Tindakan penghematan energi dalam Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) dapat dilakukan dengan antara lain melakukan optimalisasi jaringan pipa dan aksesoris ([Dewi, Koosdaryani, & Muttaqien, 2015](#); [Mulyono, 2020](#); [Pandey, Singh, & Mahar, 2020](#)), melakukan penggunaan sistem otomasi ([Saravanan, Anusuya, Kumar, & Son, 2018](#)), meningkatkan efisiensi operasi pompa ([Rizki Syahputra, Budiarto, & Wilopo,](#)

2018), memperbaiki instalasi listrik (Kementerian PUPR, 2014; Mulyono, 2020). Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan analisa terhadap pemakaian energi pompa distribusi di Instalasi Kota Wisata ditinjau dari evaluasi nilai konsumsi energi o, efisiensi total pompa dan efisiensi motor pompa untuk selanjutnya menentukan alternatif kegiatan peningkatan efisiensi energi yang sesuai dengan kebutuhan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis metode penelitian yaitu metode kuantitatif. Metode kuantitatif dilakukan dengan mengumpulkan data kelistrikan (frekuensi, daya aktif, daya semu, daya reaktif, faktor daya, voltase, arus) menggunakan *power analyzer*. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pengukuran selama 12 jam selama 3 hari. Selain itu mengumpulkan data debit pompa menggunakan meter air, data tekanan pompa menggunakan *pressure gauge* atau manometer dan data putaran pompa menggunakan *stroboscope* di Instalasi Kota Wisata. Kemudian data-data tersebut diolah untuk menentukan nilai konsumsi energi spesifik dan efisisiensi.

Data-data yang diperoleh kemudian diolah dalam nilai konsumsi energi spesifik, efisiensi total sistem pompa, efisiensi motor pompa. Konsumsi Energi spesifik (KES) adalah nilai perbandingan antara energi listrik yang dipergunakan dengan produk hasil olahan. Standar konsumsi energi spesifik yaitu 0,4 Kwh/m³ yang mana apabila di atas standar dapat dikatakan sebuah sistem belum efisien. Efisiensi pompa dan motor pompa merupakan efisiensi dari sistem pompa. Hasil olah data ini dapat digunakan untuk menentukan apakah pompa masih dapat dipergunakan ($\eta > 60\%$), perlu perbaikan mayor ($\eta < 50\%$) atau perlu perbaikan minor ($50\% < \eta < 60\%$).

Pengambilan data konsumsi energi spesifik dilakukan pada pompa distribusi yang beroperasi. Pengambilan data primer dilakukan menggunakan alat *power meter analyzer*, tang ampere dan *stroboscope*. Power meter analyzer berfungsi untuk mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, frekuensi, faktor daya dan harmonisa sedangkan *stroboscope* berfungsi untuk mengukur putaran motor pompa. Penggunaan power meter analyzer untuk pompa dengan ampere dibawah 100 ampere dan tang ampere untuk pompa dengan ampere diatas 100 A. Dokumentasi saat pengukuran dapat dilihat pada gambar 1. Pengambilan data dilakukan pada pompa yang beroperasi pada saat dilakukan pengukuran. Pengukuran dilakukan dalam waktu 12 jam atau menyesuaikan dengan jam operasi pompa selama 3 (tiga) hari (Rizki Syahputra et al., 2018).

U	rms [V]	peak+ [V]	peak- [V]	THD [%]
ch1	382.6	548.8	-551.8	1.1
ch2	384.2	552.0	-549.2	1.0
ch3	385.8	555.8	-554.1	1.0

I	rms [A]	peak+ [A]	peak- [A]	KF
ch1	92.6	133.9	-133.7	1.0
ch2	88.4	125.3	-125.3	1.0
ch3	92.2	132.0	-131.3	1.0

	P [W]	S [VA]	Q [var]	PF
ch1	18.95k	35.43k	29.94k	0.535
ch2	19.03k	33.96k	28.13k	0.560
ch3	20.02k	35.57k	29.41k	0.563
sum	58.0k	60.6k	17.6k	0.957

Uave [V]	Iave [A]	Uimb [%]
384.2	91.1	0.5

Gambar 1. Hasil pengukuran menggunakan power analyzer salah satu pompa

Hasil dan Pembahasan

Instalasi Kota Wisata memiliki 14 pompa distribusi yang beroperasi dan memiliki jam operasi yang berbeda-beda. Pompa distribusi adalah pompa yang berfungsi untuk memompa air dari reservoir menuju pelanggan. Wilayah distribusi Instalasi Kota Wisata meliputi Kota Wisata, Legenda Wisata, Limus Nunggal, Perkampungan dan reservoir Agrowisata. Terdapat 9 pompa yang beroperasi dan lainnya berfungsi sebagai cadangan dan ada juga yang mengalami kerusakan. Daftar pompa dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Data pompa distribusi Instalasi Kota Wisata

Pompa	Jenis	Outlet Distribusi	Keterangan	Daya	L/d	Head (m)
Pompa 1	Centrifugal	Legenda Wisata	Operasi	55	70	50
Pompa 2	Centrifugal	Legenda Wisata	Operasi	75	70	60
Pompa 3	Centrifugal	Limus Nunggal dan Kota Wisata	Rusak	45	45	45
Pompa 4	Centrifugal	Limus Nunggal dan Kota Wisata	Operasi	22	20	45
Pompa 5	Centrifugal	Limus Nunggal dan Kota Wisata	Operasi	22	20	45
Pompa 6	Centrifugal	Limus Nunggal dan Kota Wisata	Rusak	37	50	45
Pompa 7	Centrifugal	Limus Nunggal dan Kota Wisata	Operasi	55	70	50
Pompa 8	Multistage Centrifugal	Perkampungan (Cileungsi)	Cadangan pompa 10	37	30	100
Pompa 9	Centrifugal	Agrowisata	Cadangan pompa 11 dan 12	90	50	100
Pompa 10	Multistage Centrifugal	Perkampungan (Cileungsi)	Operasi	37	30.5	80
Pompa 11	Multistage Centrifugal	Agrowisata	Operasi	75	50	100
Pompa 12	Multistage Centrifugal	Agrowisata	Operasi	75	50	100

Pada tabel 1 dapat dilihat bahwa tidak semua pompa beroperasi, dari 12 unit pompa terdapat 8 pompa yang beroperasi. Beberapa pompa beroperasi secara bergantian seperti pompa Legenda Wisata (pompa 1 dan 2), pompa Perkampungan (pompa 10 dan

8) dan sebagian pompa Limus Nunggal dan Kota Wisata (pompa 7, pompa 4 dan pompa 5). Terdapat pompa yang beroperasi secara paralel yaitu pompa Limus Nunggal dan Kota Wisata (pompa 4 dan 5) serta pompa Agrowisata (pompa 11 dan 12). Berdasarkan data-data tersebut pengukuran dilakukan pada 8 pompa yang beroperasi.

Data-data hasil pengukuran diolah dengan menghitung hasil perbandingan daya listrik yang digunakan dan debit yang dihasilkan sehingga diperoleh nilai Konsumsi Energi Spesifik (KES) untuk masing-masing pompa yang mana dapat dilihat pada tabel 2. Nilai KES diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$KES = \frac{\text{konsumsi energi (Kwh)}}{\text{jumlah keluaran (m}^3\text{)}}$$

Tabel 2. Data nilai rata-rata harian konsumsi energi spesifik distribusi Instalasi Kota Wisata

Pompa	Hari ke-	Debit (m ³ /jam)	Daya	KES/SEC (Kwh/m ³)	Outlet
Pompa 1	1	220,73	58,42	0,26	Legenda Wisata
	2	236,45	59,38	0,25	
	3	279,71	60,50	0,22	
Rata-rata		245,63	59,43	0,24	
Pompa 2	1	197,07	73,67	0,37	Legenda Wisata
	2	212,02	72,88	0,34	
	3	195,61	73,30	0,37	
Rata-rata		201,57	73,28	0,36	
Pompa 4 dan Pompa 5	1	158,21	46,03	0,32	Limus dan Kota Wisata
	2	150,09	46,08	0,33	
	3	151,99	46,03	0,33	
Rata-rata		153,43	46,05	0,33	
Pompa 7	1	232,83	53,73	0,23	Limus dan Kota Wisata
	2	247,05	54,39	0,22	
	3	255,01	57,65	0,23	
Rata-rata		244,96	55,26	0,23	
Pompa 10	1	65,31	21,50	0,31	Perkampungan
	2	68,23	21,45	0,33	
	3	74,91	21,34	0,28	
Rata-rata		69,48	21,43	0,31	
Pompa 11 dan Pompa 12	1	263,39	137,97	0,52	Agrowisata
	2	259,85	129,33	0,50	
	3	267,29	131,43	0,49	
Rata-rata		263,51	132,91	0,50	

Dari hasil olah data dapat dilihat bahwa terdapat pompa yang memiliki indikasi tidak efisien karena memiliki nilai KES diatas standar yaitu 0.4 Kwh/m³ ([Balai Teknik](#))

[Air Minum, 2014](#)) yaitu pompa booster Agrowisata 1 (pompa 11) dan Agrowisata 2 (pompa 12) dengan nilai KES sebesar 0,50. Secara operasi kedua pompa booster beroperasi secara paralel selama 24 jam. Susunan paralel dapat digunakan bila diperlukan kapasitas yang besar yang tidak dapat dipenuhi oleh satu pompa saja, atau bila diperlukan pompa cadangan yang akan dipergunakan bila pompa utama rusak/diperbaiki ([Tyler G. Hicks, 2008](#)). Berdasarkan dari nilai KES, kedua pompa ini memiliki indikasi adanya inefisiensi dan perlu adanya rencana tindakan peningkatan efisiensi energi pada pompa Agrowisata.

Pompa distribusi Agrowisata berada di rumah pompa 2 Instalasi Kota Wisata dan berjumlah 3 unit dimana terdapat 2 pompa beroperasi (pompa 11 dan 12) dan 1 pompa lainnya sebagai cadangan (pompa 9). Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal multistage (pompa 11 dan 12) dan pompa sentrifugal (pompa 9). Pompa 11 dan pompa 12 masing-masing memiliki daya sebesar 75 kw dan beroperasi selama 24 jam secara paralel. Kapasitas desain debit ketiga pompa tersebut adalah 50 l/d. Pompa distribusi Agrowisata dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pompa distribusi Agrowisata

Untuk mengetahui debit air yang didistribusikan terdapat water meter yang terpasang. Pengukuran dilakukan dalam 3 hari selama 12 jam mulai tanggal 17, 19 dan 21 Agustus 2021. Pengambilan data dilakukan setiap 1 jam dari pukul 09.00 hingga pukul 20.00. Rata-rata hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 3. Hasil pengukuran debit Agrowisata

Pompa	Tanggal	Waktu	Debit (l/d)	Debit Desain (l/d)
Pompa 11	17 Agustus 2021	09.00 - 20.00	37,10	50
	19 Agustus 2021	09.00 - 20.00	36,60	50
	21 Agustus 2021	09.00 - 20.00	37,65	50
Pompa 12	17 Agustus 2021	09.00 - 20.00	37,10	50
	19 Agustus 2021	09.00 - 20.00	36,60	50
	21 Agustus 2021	09.00 - 20.00	37,65	50

Pada tabel 3, debit rata-rata tertinggi sebesar 37,65 l/d dan debit rata-rata terendah sebesar 36,60 l/d. Debit air yang didistribusikan tidak terpengaruh oleh jam puncak atau non puncak karena pompa ini berfungsi mendistribusikan air dari reservoir Instalasi Kota Wisata menuju reservoir Agrowisata. Untuk daya nyata rata-rata pompa 11 sebesar 69,92 Kw dan pompa 12 sebesar 73,28 Kw. Daya rata-rata yang terukur mendekati daya nyata yang tercantum dalam *nameplate* pompa. Data rata-rata hasil pengukuran parameter kelistrikan pompa 11 dan pompa 12 tersaji dalam tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil pengukuran parameter kelistrikan Agrowisata

Pompa	Parameter Kelistrikan	Hasil Pengukuran (rata-rata)
Pompa 11	Tegangan (Voltase)	394.1
	Arus (Ampere)	119.6
	Faktor Daya	0.86
	Frekuensi	50,06
	Daya (Kw)	69,92
Pompa 12	Tegangan (Voltase)	391,5
	Arus (Ampere)	108.7
	Faktor Daya	0.86
	Frekuensi	50.09
	Daya (Kw)	62,99

Pada tabel 4 dapat dilihat untuk parameter kelistrikan dari pompa 11 dan pompa 12 seperti parameter tegangan, frekuensi, dan faktor daya masih dalam kondisi normal karena masih dalam batasan kriteria teknik serta arus (ampere) yang masih sesuai *nameplate*. Batas deviasi parameter tegangan adalah 10% dan hasil pengukuran berada dibawah batas yaitu sebesar 3,71% untuk pompa 11 dan 3,03% untuk pompa 12. Parameter frekuensi memiliki batas deviasi sebesar 5% dan hasil pengukuran menunjukkan deviasi sebesar 0,12% untuk pompa 1 dan 0,18% untuk pompa 12. Faktor daya memiliki standar nilai sebesar 0,85 dan hasil pengukuran menunjukkan nilai faktor daya berada diatas standar yaitu 0,86 untuk kedua pompa.

Hasil pengukuran pada tabel 2 menunjukkan bahwa konsumsi energi untuk pompa 11 dan pompa 12 memiliki indikasi tidak efisien karena berada diatas standar maksimal konsumsi energi spesifik yaitu 0,4 Kwh/m³. Selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi total pompa dan efisiensi motor pompa menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_H}{P_S}$$

Dimana :

P_H = daya hidrolis

P_S = daya shaft/poros pompa

Daya hidrolis adalah daya yang diperlukan oleh pompa untuk mengangkat sejumlah zat cair pada ketinggian tertentu. Daya hidrolis dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$P_H = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{1000} \text{ KW}$$

Dimana :

ρ = Massa jenis, kg/m^3

g = Gaya gravitasi

H = Head, m

Q = Debit, m^3/s

Efisiensi motor dapat dihitung dengan menghitung *load factor* motor pompa menggunakan teknik *Voltage Compensated Amperage Ratio* ([Kementerian PUPR, 2014](#)), yaitu:

$$LF = \frac{I_{ukur} \times V_{ukur}}{I_{np} \times V_{np}}$$

Dimana:

LF : Faktor beban (Load Factor)

I_{ukur} : Ampereterukur prorata dari tiga fasa

V_{ukur} : Voltage terukur rata – rata antar fasa

I_{np} : Arus sesuai name plate

V_{np} : Voltage antar fasa sesuai name plate

Setelah faktor beban motor diketahui, maka efisiensi motor dapat dihitung memakai rumus seperti berikut ([Kementerian PUPR, 2014](#)) ([Kiplangat, 2012](#)):

$$\eta_m = \frac{P_{np} \times LF}{P_{in}} \times 100\%$$

Dimana:

P_{np} = Daya motor sesuai name plate (kW)

P_{in} = Daya terukur (daya aktual)

Untuk efisiensi total pompa diatas 60% masih dapat digunakan, 50%-60% memerlukan perbaikan minor dan jika dibawah 50% membutuhkan perbaikan mayor ([Kementerian PUPR, 2014](#)). Pada tabel 5 dapat dilihat efisiensi pompa dari pompa 11 dan pompa 12 berada dibawah kriteria teknik yang dianjurkan yaitu 46,43%. Efisiensi motor menunjukkan masih stabil karena faktor beban diatas 50% yaitu 0,93 untuk pompa 11 dan 0,84 untuk pompa 12.

Selanjutnya untuk rata-rata nilai efisiensi total pompa dan efisiensi motor tersaji dalam tabel 5.

Tabel 5. Nilai efisiensi total pompa dan efisiensi motor Agrowisata

Pompa	Hari ke-	Daya hidrolik	Efisiensi pompa	Load Factor	Efisiensi motor pompa	Outlet
Pompa 11	1	61,6	44,68	0,947	100	Agrowisata
	2	60,8	47,02	0,899	100	
	3	62,6	47,60	0,952	100	
Rata-rata		61,7	46,43	0,933	100	

Pompa 12	1	61,6	44,68	0,826	100	Agrowisa ta
	2	60,8	47,02	0,896	100	
	3	62,6	47,60	0,803	100	
Rata-rata		61,7	46,43	0,842	100	

Efisiensi yang rendah pada pompa dapat disebabkan karena dalam pengoperasian terdapat pengaturan valve pada discharge pompa untuk mengatur debit yang dihasilkan. Kondisi ini dapat menyebabkan performa pompa menjadi tidak maksimal sehingga terlihat dari efisiensi yang berada dibawah kriteria. Pengaturan valve pompa dapat menyebabkan penurunan dalam hal efisiensi, operasi, biaya dan keandalan pompa sehingga perlu mempertimbangkan metode operasi yang digunakan (Wu, Lai, Wu, & Wang, 2015). Selain itu, efisiensi rendah dapat terjadi karena kondisi paralel mengubah kinerja pompa akibat operasi bersamaan dalam satu sistem. Pompa yang beroperasi secara paralel dapat meningkatkan jumlah debit tetapi tidak dengan tekanan pompa. Rendahnya nilai efisiensi kinerja pompa dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti desain sistem yang tidak optimal, adanya kavitasi, instalasi listrik yang tidak tepat, pola pengoperasian tidak tepat, turunnya kinerja peralatan listrik dan pompa, serta pemeliharaan pompa yang tidak sempurna (Muji dkk., 2014).

Berdasarkan hasil pengukuran pompa yang telah dilakukan energi listrik yang dibutuhkan oleh pompa untuk mendistribusikan air dari reservoir Instalasi Kota Wisata menuju reservoir Agrowisata dapat dihitung. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 6 dengan mempertimbangkan pemakaian pompa di Waktu Beban Puncak (WBP) yakni pada pukul 17.00-22.00 dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) yakni pukul 23.00-16.00.

Tabel 6. Pemakaian energi listrik dan biaya listrik pompa Agrowisata

Pompa	Pemakaian (Kwh)		Biaya (Rp)		Total/hari		Produksi air (m³)
	LWBP	WBP	LWBP	WBP	Energi (Kwh)	Biaya (Rp)	
Agrowisata	2.629,6	692	1.035,78	1.553,67	3.321,6	3.798.827	6.665,8

Pada tabel 6 dapat dilihat bahwa biaya listrik yang perlu dikeluarkan oleh Perumda Air Minum Tirta Kahuripan sebanyak Rp 3.798.827,00 per hari atau Rp 113.964.810,00 per bulan. Berdasarkan perhitungan nilai konsumsi energi spesifik dan efisiensi total pompa yang tidak masuk dalam kriteria teknis maka perlu ada tindakan peningkatan efisiensi energi dengan mengganti pompa eksisting. Selain mengganti pompa ditambahkan juga pemasangan inverter VSD (*Variable Speed Drive*). Pompa yang akan digunakan menggunakan spesifikasi dengan debit 90 l/d, head 100 meter, putaran 1500 rpm dan daya 160 Kw. Pompa baru ini direncanakan beroperasi secara tunggal dan menggunakan VSD. Penggunaan VSD dapat menghemat penggunaan energi pada sistem distribusi dengan kondisi operasi yang tinggi (Marchi, Simpson, & Ertugrul, 2012). Menurut data pengukuran pompa Agrowisata debit terendah sebesar 68,24 l/d dan debit tertinggi sebesar 77,15 l/d dengan daya 138,4 Kw sehingga pengaturan frekuensi pompa dapat ditentukan.

Pada pompa sentrifugal prinsip merubah putaran impeller dapat digunakan untuk mengatur debit dan head. Putaran dapat diatur menggunakan cara mekanis maupun

elektronis. Penggunaan cara elektronis lebih banyak digunakan karena lebih mudah dalam pengaturan secara kontinyu. Persamaan yang menunjukkan hubungan antar putaran pompa dengan kapasitas, head dan daya pompa dapat dinyatakan hukum kesebangunan pompa (*affinity laws*) seperti persamaan berikut ([Kementerian PUPR, 2014](#)) ([BPMA & Gambica, 2009](#)):

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

Keterangan:

- Q₁ = Debit saat frekuensi 50 Hz (l/d)
- Q₂ = Debit sesuai frekuensi yang diinginkan (l/d)
- H₁ = Head (tekanan) saat frekuensi 50 Hz (l/d)
- H₂ = Head (tekanan) sesuai frekuensi yang diinginkan (l/d)
- P₁ = Daya saat frekuensi 50 Hz (l/d)
- P₂ = Daya sesuai frekuensi yang diinginkan (l/d)
- n₁ = Frekuensi 50 Hz (l/d)
- n₂ = Frekuensi yang diinginkan (l/d)

Dimana Q₂, H₂ dan P₂ adalah debit, head dan daya poros motor pada kecepatan atau frekuensi n₂ < frekuensi maksimal; Q₁, H₁ dan P₁ adalah debit, head dan daya poros motor pada kecepatan atau frekuensi n₁ = frekuensi maksimal ([Stoffel, 2015.](#)). Berikut ini gambaran hubungan antar putaran pompa dengan kapasitas, head dan daya pada pompa baru yang dapat dilihat pada tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 7 Hubungan antar putaran pompa dengan kapasitas, head dan daya pompa baru

Frekuensi (Hz)	Q (l/d)	H (m)	P (Kwh)	n _s (rpm)	n _r (rpm)
50	90	100	160	1500	1480
45	81	81	116,6	1350	1332,5
40	72	64	81,9	1200	1184,4
35	63	49	54,9	1050	1036,4

Pada tabel 7 dapat dilihat bahwa terdapat penurunan debit, head dan daya seiring dengan penurunan frekuensi. Debit air yang didistribusikan pompa menuju reservoir Agrowisata tidak terpengaruh oleh jam puncak pemakaian air sehingga penggunaan dapat dilakukan selama 24 jam dengan rentang frekuensi 40-50 Hz untuk mengurangi biaya pemakaian listrik. Debit pada frekuensi ini masih diatas rata-rata debit pengukuran sehingga diasumsikan masih memnuhi kebutuhan reservoir agrowisata. Berdasarkan perhitungan tabel 7 selanjutnya dapat juga dihitung untuk gambaran pemakaian energi dan biaya listrik. Berikut ini adalah gambaran perbandingan pemakaian energi sebelum dan sesudah penggantian pompa serta penggunaan inverter dapat dilihat pada tabel 8 sebagai berikut:

Tabel 8. Perbandingan pemakaian energi sebelum dan sesudah penggantian pompa serta penggunaan inverter

Kondisi	Pemakaian (Kwh)		Biaya (Rp)		Total		Produksi air (m ³)
	LWBP	WBP	LWBP	WBP	Energi (Kwh)	Biaya (Rp)	
Eksisting	2.629,6	692	1.035,78	1.553,67	3.321,6	3.798.827	6.665,8
Ganti pompa serta pemasangan VSD	2.216,2	583,2	1.035,78	1.553,67	2.799,4	3.201.555	6.998,4

Pada tabel 8 dapat dilihat terdapat penurunan pemakaian energi listrik sebesar 522,2 Kw dan terdapat penurunan biaya listrik sebesar Rp 597.272,00 dalam 24 jam operasi dengan adanya penggantian pompa serta pemasangan inverter VSD. Selain itu nilai konsumsi energi spesifik yang dihasilkan menurun menjadi 0,40 Kwh/m³ dari nilai pengukuran sebesar 0,5 Kwh/m³.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Konsumsi energi spesifik rata-rata pompa distribusi Instalasi Kota Wisata masih berada dalam standar kriteria teknik dan terdapat satu pompa yang memiliki nilai konsumsi energi spesifik diatas standar yaitu pompa agrowisata sebesar 0,5 Kwh/m³ dimana standar konsumsi energi spesifik adalah 0,4 Kwh/m³.
2. Sistem pompa Agrowisata eksisting membutuhkan perbaikan mayor dikarenakan efisiensi total pompa Agrowisata masih rendah sebesar 46,43%.
3. Kegiatan peningkatan efisiensi energi yang dapat dilakukan terhadap pompa Agrowisata adalah dengan melakukan penggantian pompa serta pemasangan VSD yang mana dapat menghemat energi 522,2 kWh/hari atau menurunkan biaya energi dari dari Rp 419,4/m³ menjadi Rp 370,9/m³.

BIBLIOGRAFI

- Balai Teknik Air Minum. (2014). *Efisiensi Energi*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat [Google Scholar](#)
- Bene, József Gergely, Sele, István, & Hös, Csaba. (2010). Neutral Search Technique for Short-Term Pump Schedule Optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(1), 133–137. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9496\(2010\)136:1\(133\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9496(2010)136:1(133)) [Google Scholar](#)
- BPMA, & Gambica. (2009). *Variable Speed Driven Pumps*. 0–47. [Google Scholar](#)
- Dewi, Kharina Hardiana, Koosdaryani, & Muttaqien, Adi Yusuf. (2015). Analisis Kehilangan Air Pada Pipa Jaringan Distribusi Air Bersih PDAMKecamatan Baki , Kabupaten Sukoharjo. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 9(1), 16 hal. [Google Scholar](#)
- Direktorat Air Minum. (2020). *Buku Kinerja BUMD Air Minum 2020*. 1–168. [Google Scholar](#)
- Kementerian ESDM. (2017). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 14 TAHUN 2012. *BMC Public Health*, 5(1), 1–8. [Google Scholar](#)
- Kementerian PUPR. (2014). *Pedoman Pelaksanaan Efisiensi Energi di PDAM*. 82. [Google Scholar](#)
- Kiplangat, Calvin. (2012). *an Energy Assessment of the Water Pumping Systems At the Gigiri Pumping Station By : Energy Management Department of Mechanical and Manufacturing Engineering University of Nairobi*. (October). [Google Scholar](#)
- Marchi, A., Simpson, A. R., & Ertugrul, N. (2012). Assessing variable speed pump efficiency in water distribution systems. *Drinking Water Engineering and Science*, 5(1), 15–21. <https://doi.org/10.5194/dwes-5-15-2012> [Google Scholar](#)
- Muji, Akhmad, Dan, Hartono, & Aziz, Amiral. (2014). *EVALUASI EFISIENSI POMPA SENTRIFUGAL PADA UNIT PENGOLAHAN AIR MINUM PUSAT DISTRIBUSI CILINCING Evaluation of the Centrifugal Pump Efficiency at the Cilincing Distribution Water Treatment Unit 1) 2)*. 1–10. [Google Scholar](#)
- Mulyono, Mulyono. (2020). Implementasi Demand Side Management (DSM) Pada Instalasi Pengolahan Air PDAM Mulia Baru. *Energi & Kelistrikan*, 12(1), 43–52. <https://doi.org/10.33322/energi.v12i1.934> [Google Scholar](#)

Pandey, Sonam, Singh, R. P., & Mahar, P. S. (2020). Optimal Pipe Sizing and Operation of Multistage Centrifugal Pumps for Water Supply. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 11(2), 04020007. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ps.1949-1204.0000447](https://doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000447) [Google Scholar](#)

Rizki Syahputra, Luqvi, Budiarto, Rachmawan, & Wilopo, Wahyu. (2018). Energy Saving Potency and Maintenance Costs Reduction in Water Treatment Plant (WTP) Pengok PDAM Tirtamarta Yogyakarta. *Proceedings - 2018 4th International Conference on Science and Technology, ICST 2018, 1*(February 2019), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528582> v [Google Scholar](#)

Saravanan, K., Anusuya, E., Kumar, Raghvendra, & Son, Le Hoang. (2018). Real-time water quality monitoring using Internet of Things in SCADA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6914-x> [Google Scholar](#)

Stoffel. (2015). *Assessing the Energy Efficiency of Pumps and Pump Units, 1st ed.;* Elsevier: Darmstadt, Germany, 2015. [Google Scholar](#)

Tyler G. Hicks (2008), Pump Operational And Maintenance, McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi. (2021).. [Google Scholar](#)

Wu, Peng, Lai, Zhounian, Wu, Dazhuan, & Wang, Leqin. (2015). Optimization Research of Parallel Pump System for Improving Energy Efficiency. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(8), 04014094. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000493](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000493) [Google Scholar](#)

Copyright holder:

Rizeki Nanda Utama, Agus Slamet, Ade Syaiful Rachman

First publication right:

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

