



PENINGKATAN EFISIENSI ENERGI PADA SISTEM DISTRIBUSI SUMBERSARI PERUMDA AIR MINUM TUGU TIRTA KOTA MALANG

Galis Asmara¹, Adhi Yuniarto¹ dan Muhammad Sundoro²

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Noverber Jawa Timur

² Direktorat Air Minum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian PUPR

Email: galisasmara@pu.go.id

ABSTRAK

Pelayanan air minum Kota Malang diselenggarakan oleh Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang menggunakan kombinasi sistem perpompaan (73%) dan sistem gravitasi (27%). Dominasi sistem perpompaan mengakibatkan biaya energi di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang (Rp 478/m³) lebih tinggi dibandingkan rata-rata nasional (Rp 345,77/m³). Lokasi penelitian pada sistem distribusi Sumbersari dipilih karena operasional pompa berjalan selama 24 jam langsung melayani pelanggan. Pompa *eksisting* beroperasi mengikuti fluktuasi debit penggunaan pelanggan yang mengakibatkan penggunaan energi menjadi tidak efisien. Hal ini terjadi karena pompa beroperasi normal saat pemakaian air minimum pada jam pelayanan minimum (malam hari). Penelitian ini menganalisis peningkatan efisiensi energi pada Sistem Distribusi Sumbersari melalui skema pemasangan *Variable Speed Drive* (VSD) yang disimulasikan menggunakan aplikasi Epanet 2.0. Hasil analisis teknis menunjukkan bahwa pemasangan VSD dapat meningkatkan efisiensi pada sistem *eksisting* dengan menghasilkan penghematan tagihan listrik sebesar 10,16% dan *Specific Energy Consumption* (SEC) meningkat semula 0,38 kWh/m³ menjadi 0,35 kWh/m³.

Kata kunci: Efisiensi energi, *Variable Speed Drive* (VSD), Sistem Distribusi Sumbersari, *Specific Energy Consumption* (SEC)

ABSTRACT

Malang City drinking water service organized by Perumda Tugu Tirta Malang City uses a combination of a pumping system (73%) and a gravity system (27%). The dominance of the pumping system resulted in energy costs at Perumda Tugu Tirta higher than the national average. The location in the Sumbersari distribution system was chosen because the operation of pump runs for 24 hours directly serving customers. Existing pumps operate following the fluctuations in customer usage, which results in inefficient that occurs because the pump operates normally when the water usage is minimum night flow. The research analyzes energy efficiency improvement in Sumbersari Distribution System through the Variable Speed Drive (VSD) installation scheme using Epanet 2.0. The results showed that VSD can increase the efficiency of the existing system by generating savings of electricity bill about 10.16% and Specific Energy Consumption (SEC) increase from 0.38 kWh/m³ to 0.35 kWh/m³.

Keywords: *Sumbersari Distribution System, Energy efficiency, Variable Speed Drive (VSD), Specific Energy Consumption (SEC)*

PENDAHULUAN

Tantangan saat ini dalam sistem penyediaan air minum adalah memberikan pelayanan prima kepada pelanggan berdasarkan prinsip 4K, yaitu Kualitas, Kuantitas, Kontinuitas dan Keterjangkauan. Prinsip tersebut harus mampu dipenuhi oleh penyelenggara air minum dalam hal ini PDAM. Implementasinya mengharuskan PDAM mengupayakan berbagai cara salah satunya penggunaan sistem pemompaan. Dampak dari penggunaan sistem pemompaan akan berkontribusi besar pada beban biaya energi listrik yang dikonsumsi oleh PDAM.

Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang adalah perusahaan milik daerah yang menyelenggarakan pelayanan air minum di Kota Malang. Pelayanan air minum yang dilakukan oleh Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang menggunakan kombinasi sistem perpompaan sebesar 73% dan sistem gravitasi sebesar 27%. Dominasi sistem pemompaan ini mengakibatkan biaya energi di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang (Rp 478/m³) menjadi lebih tinggi dibandingkan rata-rata biaya energi secara nasional Rp 345,77/m³) (BPPSPAM, 2019).

Umumnya konsumsi energi listrik terbesar berasal dari penggunaan pompa untuk distribusi air minum ke pelanggan. Konsumsi energi listrik tersebut dapat menjadi lebih besar lagi apabila operasional pompa selama 24 jam langsung melayani pelanggan dan mengikuti fluktuasi debit aliran berdasarkan pemakaian air harian. Operasional pompa ini akan mengakibatkan penggunaan energi menjadi tidak efisien, karena ketika tidak ada pemakaian air atau jam pelayanan minimum (malam hari) pompa tetap beroperasi secara normal.

Efisiensi energi adalah bagian penting untuk meningkatkan nilai ekonomi suatu sistem dengan cara mengurangi penggunaan energi. Pengurangan penggunaan energi dapat dilakukan dengan merubah cara operasional dan pemeliharaan, investasi pada teknologi yang lebih efisien, pengaturan waktu operasi, dan melakukan konversi energi (Thollander et al., 2020). Efisiensi energi ini dapat dicapai dengan mengkaji *Unavoidable Minimum Energy (UME)* yang digunakan sebagai acuan minimum dalam memastikan pelayanan air minum yang efisien

(Bolognesi et al., 2014). Setidaknya ada 6 (enam) langkah yang dapat dilakukan dalam pengurangan energi, yaitu penilaian awal penggunaan energi, diagnosis sistem, analisis sistem, eksplorasi potensi tindakan, menyusun prioritas dengan analisis biaya-manfaat dan melakukan sertifikasi (Cabrera et al., 2017).

Upaya yang telah dilakukan oleh Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang dalam hal efisiensi energi adalah dengan melakukan rekayasa teknis, diantaranya pembangunan reservoir-reservoir baru untuk mengantisipasi fluktuasi aliran, pemasangan *kapasitor bank* di panel induk reservoir Mojolangu untuk menghindari denda kVAr dan pemasangan *Variable Speed Drive (VSD)* di pompa menuju wilayah pelayanan Plaosan. Berbagai upaya tersebut belum dilakukan secara menyeluruh. Masih terdapat lokasi stasiun perpompaan yang operasional pompanya melayani pelanggan secara langsung, salah satunya Sistem Perpompaan Summersari. Sistem ini beroperasi selama 24 jam tanpa henti, mengikuti pemakaian puncak dan minimum pelanggan.

Skema pelayanan air minum di Sistem Distribusi Summersari menggunakan sistem pengaliran dengan perpompaan dengan jenis *submersible*. Pompa yang digunakan berjumlah 1 buah dengan kapasitas 10 liter/detik, tekanan 40 meter dan daya (P) 11 kWh. Sumber air baku berasal dari sumur bor dengan rata-rata produksi air sebesar 6,97 liter/detik. Sampai dengan bulan Agustus 2021, sistem ini memiliki 855 sambungan rumah yang didominasi tipe domestik dengan rata-rata pemakaian 0,49 m³/hari/SR. Pengaliran ke pelanggan menggunakan jaringan pipa tipe cabang.

Berdasarkan data SIG dari Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang, lokasi pelayanan pada Sistem Distribusi Summersari memiliki kontur wilayah yang bervariasi pada rentang elevasi 430-463 meter. Adapun lokasi sumur bor dan pompa berada pada ketinggian 452 meter dengan titik SR terjauh pada ketinggian 463 meter. Pelayanan air minum eksisting menggunakan jenis pipa yang yaitu berbeda-beda, yaitu pipa GIP, PVC dan PE. Pipa-pipa tersebut memiliki diameter bervariasi sebesar 50 mm, 75 mm, 100 mm dan 150 mm.

Peningkatan efisiensi energi pada sistem ini sangat berpeluang untuk diterapkan. Alternatif yang dapat diterapkan dalam hal meningkatkan efisiensi energi adalah dengan cara pemasangan VSD yang akan membantu kerja motor bervariasi berdasarkan pemakaian pelanggan.

Variable Speed Drive (VSD) adalah salah satu cara untuk menghemat energi, ketika pompa memiliki VSD, kecepatan rotasinya dapat dikendalikan dengan pemrograman sehingga menghasilkan debit dan tekanan yang bervariasi (Sunela, 2017). Prinsip kerja VSD adalah mengubah input motor (listrik AC) menjadi DC dan kemudian menjadi AC lagi dengan output frekuensi yang dikehendaki (Anindita et al., 2016). VSD dapat menurunkan biaya operasional pompa dalam sebuah sistem air minum sebesar 5% dibandingkan *Fix Speed Drive* (FSD) (Moreira & Ramos, 2013). Penggantian pompa yang sesuai dengan spesifikasi dan pemasangan *Variable Speed Pump* (VSD) akan memberikan peluang penghematan energi listrik bruto lebih dari 35% per tahun (Suparno, 2013).

METODE PENELITIAN

Langkah dari penelitian ini adalah 1) melakukan audit energi untuk mengetahui total pemakaian energi eksisting, selanjutnya 2) melakukan kajian teknis pada jaringan pipa dengan Epanet 2.0, 3) melakukan perencanaan sistem dengan pemasangan *Variable Speed Driver* (VSD) beserta analisis jaringan pipa dengan Epanet 2.0, dan 4) mengidentifikasi peningkatan efisiensi energi dengan cara menghitung total pemakaian energi dan nilai SEC.

Langkah pertama audit energi dilakukan dengan mencari *Specific Energy Consumption* (SEC), yaitu dengan membagi seluruh nilai energi yang terpakai atau konsumsi energi (kWh) terhadap nilai produk atau volume produksi air (1000 m³). Tolak ukur dari SEC adalah < 0,4. Apabila sebuah PDAM mendapatkan nilai di atas 0,4 maka terindikasi tidak efisien dalam memproduksi air minum.

Langkah kedua adalah kajian teknis jaringan pipa *eksisting* melalui aplikasi Epanet dengan memasukkan data-data *base demand*, jenis pipa, diameter, panjang pipa, debit aliran dan elevasi lokasi penelitian Hasil simulasi akan

dibandingkan dengan kriteria pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 27 tahun 2016, yaitu nilai kecepatan dan tekanan minimum. Adapun kecepatan minimum pada pipa distribusi adalah 0,3 meter/detik dan tekanan minimum adalah 0,5-1 bar pada titik pelayanan terjauh. Tekanan yang digunakan adalah sebesar 0,75 bar atau 7,5 meter sesuai SNI 7509:2011.

Langkah ketiga adalah perencanaan VSD dengan cara identifikasi kerja frekuensi minimum motor pompa *eksisting* melalui data sekunder berupa spesifikasi teknis motor pompa. Kemudian identifikasi fluktuasi pemakaian pelanggan selama 24 jam serta perhitungan pengaruh debit, head, dan daya pompa saat VSD aktif beroperasi. Tahapan berikutnya adalah simulasi jaringan pada Epanet 2.0 dengan membandingkan kriteria *pressure* dan kecepatan.

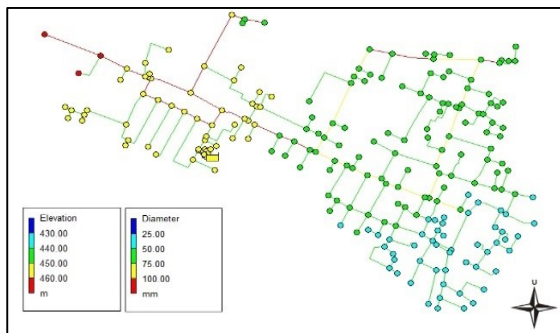
Langkah terakhir adalah analisis total pemakaian energi dengan skema VSD. Pada tahap ini dilakukan perhitungan berapa persen peningkatan efisiensi yang dapat dicapai. Penghematan tersebut mengacu pada besaran konsumsi listrik yang dihemat. Selanjutnya dihitung nilai SEC untuk mengetahui perubahan / peningkatan nilai efisiensi jika VSD dipasang pada sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

IDENTIFIKASI KONDISI EKSISTING SISTEM DISTRIBUSI SUMBERSARI

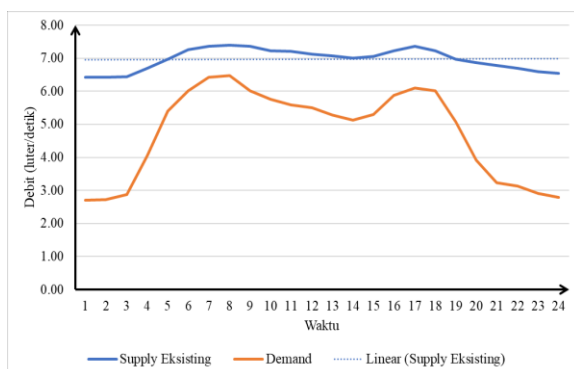
Skema pelayanan air minum di Sistem Distribusi Sumbersari dari sumur bor memiliki rata-rata produksi air (Mei-Juli) sebesar 6,97 liter/detik. Sampai dengan bulan Agustus 2021, sistem ini memiliki 855 sambungan rumah yang didominasi tipe domestik dengan rata-rata pemakaian 0,49 m³/hari/SR. Sistem pengaliran air minum menggunakan sistem perpompaan dengan jenis *submersible*. Pompa yang digunakan berjumlah 1 buah dengan kapasitas 10 liter/detik, tekanan 40 meter dan daya (P) 11 kWh. Data SIG Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang juga menunjukkan bahwa Sistem Distribusi Sumbersari memiliki kontur wilayah yang bervariasi dengan rentang elevasi 430-463 meter, lokasi sumur bor dan pompa berada pada ketinggian 452 meter dengan titik SR terjauh pada ketinggian 463 meter.

Pelayanan air minum eksisting menggunakan jenis pipa yang yaitu berbeda-beda, yaitu pipa GIP, PVC dan PE. Pipa tersebut memiliki diameter bervariasi (50 mm, 75 mm, 100 mm dan 150 mm). Informasi elevasi node dan diameter pipa dirangkum dalam **Gambar 1**. Penggunaan pompa eksisting berkontribusi dalam hal pengaliran air ke wilayah yang lebih tinggi (node warna kuning dan merah) dan menambah tekanan air ke wilayah pelayanan yang lebih rendah. Dalam hal operasional pompa, aliran air didistribusikan secara langsung ke pelanggan. Sistem ini tidak dilengkapi dengan reservoir sehingga pompa beroperasi terus-menerus selama 24 jam. Operasional pompa ini mengakibatkan kerja pompa mengikuti fluktuasi *demand* di pelanggan, baik di jam minimum maupun di jam maksimum.



Gambar 1. Elevasi Node dan Diameter Jaringan Pipa Eksisting

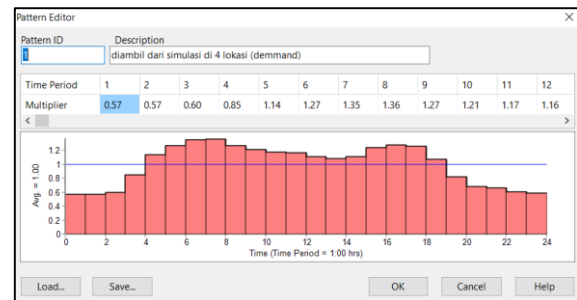
Perbandingan antara debit produksi dan pemakaian menunjukkan terjadinya fluktuasi operasional pompa, yaitu debit air yang diproduksi oleh pompa berfluktuasi dengan pemakaian pelanggan (**Gambar 2**) yang menunjukkan bahwa sistem aliran jaringan pipa eksisting selama 24 jam.



Gambar 2. Sistem Aliran Jaringan Pipa Eksisting

Analisis Jaringan Pipa Eksisting

Analisis jaringan pipa eksisting menggunakan simulasi Epanet 2.0. Data-data yang dimasukkan adalah *base demand* ril (Mei-Juli 2021), data kontur, data panjang pipa, diameter pipa dan jenis pipa. Simulasi jaringan pada aplikasi Epanet 2.0 membutuhkan data kurva operasional (debit 40 Liter/detik dan Head 40 meter) dan *Demand pattern* atau fluktuasi pemakaian pelanggan (**Gambar 3**).

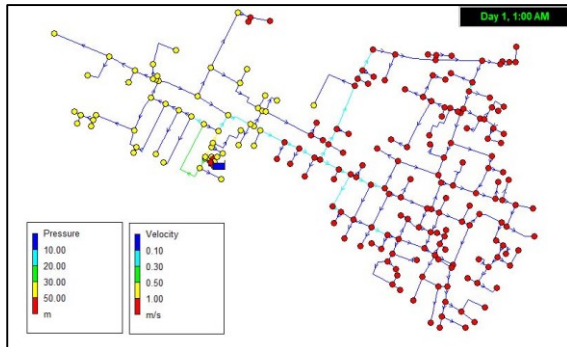


Gambar 3. Fluktuasi Pemakaian Pelanggan di Sistem Distribusi Sumbersari

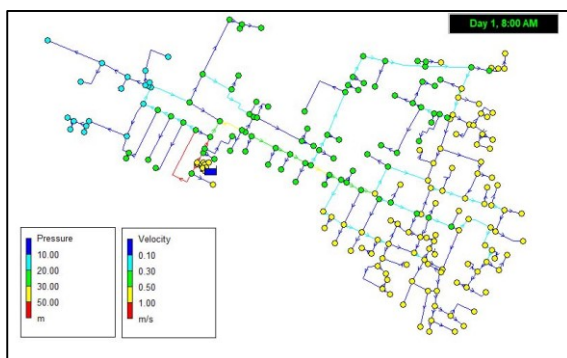
Kriteria untuk menilai jaringan pipa adalah kriteria *pressure* dan kecepatan. Secara umum, hasil simulasi jaringan pipa *eksisting* dengan periode 24 jam menunjukkan bahwa kinerja jaringan pipa dapat dikatakan baik dari kriteria *pressure* karena seluruh wilayah pelayanan memenuhi batas minimum yang dipersyaratkan. Berbeda halnya dengan kecepatan, kriteria ini tidak tercapai pada sebagian besar wilayah pelayanan karena menunjukkan nilai dibawah batas minimum yang dipersyaratkan. Kriteria *pressure* yang digunakan adalah 0,7 bar (7 meter) dan kecepatan 0,3-3 meter/detik sesuai dengan Peraturan Menteri PUPR Nomor 27 Tahun 2016.

Hasil simulasi jaringan di Sistem Distribusi Sumbersari, baik pada jam minimum (**Gambar 4**) dan jam maksimum (**Gambar 5**) menunjukkan jaringan pipa eksisting dapat mengalirkan air ke seluruh pelanggan karena setiap node memiliki sisa tekanan (*pressure*), dimana kriteria tekanan di seluruh jaringan pipa telah terpenuhi karena sudah melebihi kriteria minimum 0,7 bar (7 meter). Adapun kriteria kecepatan sebesar 0,3-3 meter/detik tidak terpenuhi karena hampir seluruh wilayah pelayanan memiliki kecepatan di bawah 0,3 meter/detik (warna biru muda dan biru tua), hanya terdapat sebagian kecil segmen jaringan pipa yang memenuhi (warna hijau dan kuning)

yaitu pipa yang berlokasi dekat dengan sumur. Nilai kecepatan yang tidak terpenuhi tersebut dikarenakan penggunaan pipa yang berdiamater besar dibandingkan kebutuhan. Diamater besar tersebut oleh Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang dipersiapkan untuk mengantisipasi pertumbuhan jumlah pelanggan ke depannya.



Gambar 4. Hasil Simulasi Jaringan Eksisting pada Jam Minimum



Gambar 5. Hasil Simulasi Jaringan Eksisting pada Jam Maksimum

Total Energi dan Tagihan Listrik

Pengukuran lapangan dilakukan dengan menggunakan *power meter* untuk parameter kelistrikan dan alat ukur *flow* dan tekanan di SCADA untuk parameter hidrolis. Hasil pengukuran sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Data Hidrolis dan Kelistrikan

Pengukuran	Nilai	Satuan
Debit	6.97	liter/detik
Head discharge	3.13	bar
Head suction	3.6	bar
Frekuensi	50	Hz
Daya	9.35	kWh

Berdasarkan data pada Tabel 1, operasional pompa di Sistem Distribusi Sumbersari secara terus-menerus selama 24 jam

mengonsumsi energi listrik sebesar 9,35 kWh atau 6881,47 kWh dalam 1 bulan. Sistem ini termasuk dalam kategori B2 dengan tarif listrik per kWh sebesar Rp 1444,7. Pada kategori B2 berlaku tarif 1 harga atau tidak ada perbedaan tarif saat Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Beban Puncak (LWBP). Adapun total tagihan yang harus dibayarkan oleh Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang adalah sebesar Rp 9.941.662 setiap bulannya.

Specific Energy Consumption (SEC)

Nilai SEC merupakan indikator atau acuan yang digunakan untuk menilai tingkat efisiensi energi pada Sistem Distribusi Sumbersari dimana semakin kecil nilai SEC maka pemakaian energi dianggap semakin efisien (Kementerian PUPR, 2014). Nilai SEC mencerminkan perbandingan antara nilai energi yang terpakai terhadap volume produksi air yang dihasilkan dalam periode waktu tertentu. SEC diperoleh dengan cara melakukan audit energi. Pengukuran lapangan dengan menggunakan *power meter* menunjukkan rata-rata energi listrik harian adalah sebesar 9,35 kWh atau 6881,47 kWh dalam 1 bulan, sedangkan produksi air berdasarkan rata-rata 3 bulan terakhir PDAM Malang (Mei-Juli 2021) sebesar 18.071 m³/bulan. Berdasarkan kedua angka tersebut diperoleh nilai SEC pada sistem ini sebesar 0,38 kWh/m³.

PERENCANAAN VARIABLE SPEED DRIVE (VSD)

Prinsip kerja VSD adalah mengubah *input* motor (listrik AC) menjadi DC dan kemudian menjadi AC lagi dengan *output* frekuensi yang dikehendaki (Anindita et al., 2016). Penggunaan *Variable Speed Drive* (VSD) pada sebuah sistem perpompaan memberikan keuntungan berupa tidak terjadi kelebihan tekanan, terjadi penghematan energi dan mengurangi biaya operasional (Suparno, 2013). Apabila proses kerja motor melalui VSD bisa disesuaikan dengan kebutuhan maka sistem menjadi lebih efisien karena tidak akan ada energi yang terbuang (Kusuma, 2020). Kebutuhan untuk mencapai sistem perpompaan yang efisien muncul karena adanya permintaan air (*demmand*) yang bervariasi (Sunela, 2017). Sama halnya di Sistem Distribusi Sumbersari, yaitu diperlukan menurunkan frekuensi motor berdasarkan data fluktuasi pelanggan, dimana ketika *demand* di pelanggan berada pada jam

minimum (malam hari) maka frekuensi motor pompa juga akan bekerja minimum.

Pengaruh VSD terhadap Debit, Head dan Daya

Penerapan VSD dengan merubah frekuensi motor (hz) akan mempengaruhi kecepatan putar motor (rpm). Hal ini akan mempengaruhi kinerja secara keseluruhan. Doe (2004) menjelaskan bahwa pengaruh kecepatan putar terhadap kinerja pompa secara keseluruhan dikenal dengan hukum afinitas. Hukum afinitas memungkinkan terbentuknya kurva pompa baru untuk kecepatan yang berbeda (Moreira & Ramos, 2013). Hukum afinitas tersebut menjelaskan hubungan antara debit, tekanan dan daya pada sebuah pompa sebagai berikut (BPMA, 2009) :

$$Q \approx n$$

$$H \approx n^2$$

$$P \approx n^3$$

dimana

Q = debit (liter/detik)

H = head (meter)

P = daya (kWh)

n = kecepatan putar motor (rpm)

Tabel 2. Hubungan Antara Perubahan Frekuensi dengan Q, H, dan P di Sistem Distribusi Sumpersari

Frekuensi (Hz)	Debit (Liter/detik)	Tekanan (bar)	Daya (kWh)
50	6.97	6.73	9.35
49	6.83	6.47	8.80
48	6.70	6.20	8.27
47	6.56	5.95	7.77
46	6.42	5.70	7.28
45	6.28	5.45	6.82
44	6.14	5.21	6.37
43	6.00	4.98	5.95
42	5.86	4.75	5.54
41	5.72	4.53	5.16
40	5.58	4.31	4.79

Sumber : Hasil Perhitungan (2021)

Berdasarkan **Tabel 2**, dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan pada daya pompa jika frekuensi motor diturunkan. Semakin kecil frekuensi maka daya yang dihasilkan juga semakin kecil. Hal ini didukung dengan hasil penelitian Moreira dan Ramos (2013) dimana

pengurangan 10% kecepatan pompa memberikan penurunan sebesar 27% daya dan penurunan head pompa sebesar 19%.

Pemilihan Frekuensi Kerja VSD

Hasil pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa penurunan frekuensi kerja motor berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi, dimana daya listrik yang dikonsumsi menjadi semakin kecil. Namun apabila dihubungkan dengan pelayanan air minum pada Sistem Distribusi Sumpersari, tidak seluruh pengaturan frekuensi tersebut dapat diterapkan. Penerapan VSD pada lokasi penelitian mempertimbangkan 1) Debit minimum berdasarkan *demand* pelanggan yang harus disediakan pompa ketika VSD aktif dan 2) Head minimum untuk menjangkau seluruh wilayah pelayanan, nilai ini diperoleh dari total *headloss* pada simulasi Epanet 2.0 pada sistem eksisting dan mempertimbangkan sisa tekan 0,7 bar di titik pelayanan terjauh.

Selanjutnya, penggunaan VSD di Sistem Distribusi Sumpersari direncanakan mulai beroperasi pada pukul 19.00 sampai dengan pukul 03.00 setiap harinya sesuai dengan **Tabel 3**, dimana di luar jam tersebut pompa beroperasi normal (VSD tidak aktif). Jam operasional yang ditentukan adalah waktu dimana pemakaian pelanggan berada pada jam minimum sehingga dapat dilakukan penurunan frekuensi kerja motor. Nilai kerja frekuensi yang disarankan adalah 45 Hz Pemilihan frekuensi tersebut didasarkan pada perbandingan antara debit dan tekanan yang dibutuhkan pelanggan agar tidak mengganggu pelayanan.

Tabel 3. Operasional VSD di Sistem Distribusi Sumpersari

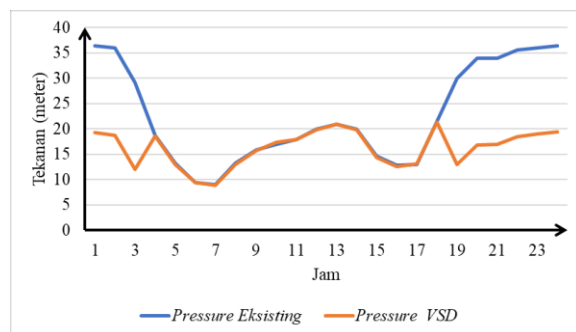
Jam	Operasional VSD			
	Frekuensi (Hz)	Head (m)	Debit (lps)	Daya (P)
01:00	45	5.45	6.28	6.82
02:00	45	5.45	6.28	6.82
03:00	45	5.45	6.28	6.82
19:00	45	5.45	6.28	6.82
20:00	45	5.45	6.28	6.82
21:00	45	5.45	6.28	6.82
22:00	45	5.45	6.28	6.82
23:00	45	5.45	6.28	6.82
00:00	45	5.45	6.28	6.82

Sumber: Hasil perhitungan (2021)

Analisis Jaringan Pipa dengan VSD

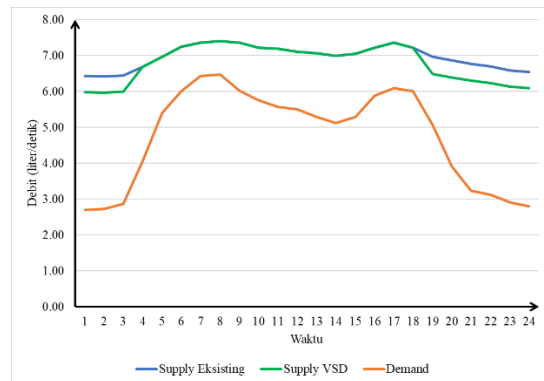
Hasil simulasi jaringan distribusi eksisting yang dipasang VSD dengan Epanet 2.0 menunjukkan bahwa kinerja jaringan pipa dapat dikatakan baik. Kriteria *pressure* pada seluruh wilayah pelayanan memenuhi batas minimum yang dipersyaratkan. Namun sama halnya dengan sistem *eksisting*, kriteria kecepatan tidak tercapai pada sebagian besar wilayah pelayanan karena menunjukkan nilai dibawah batas minimum.

Berkaitan dengan *pressure*, perubahan jaringan pipa dengan pemasangan VSD terlihat dari penurunan tekanan (**Gambar 5**). Penurunan *pressure* terjadi karena saat VSD aktif di jam minimum, pompa beroperasi pada kecepatan putar yang lebih rendah. Penurunan ini tidak mempengaruhi kualitas pelayanan karena *pressure* tersebut masih mencukupi untuk pengaliran ke pelanggan.



Gambar 5. Perbandingan *Pressure* di Titik Pelayanan Terjauh Sistem Eksisting dan Pemasangan VSD

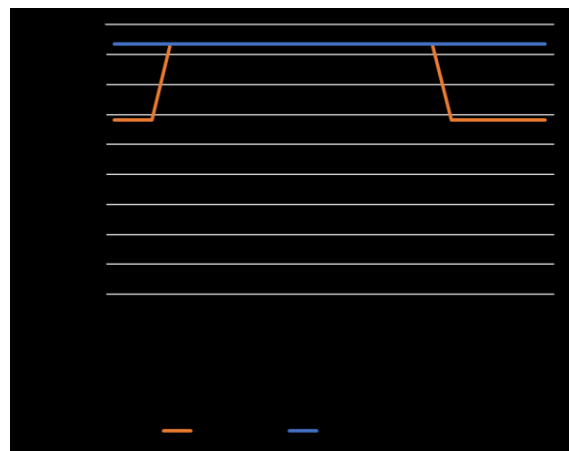
Selain perubahan *pressure*, terdapat juga perubahan pada debit operasional. **Gambar 6** menunjukkan debit operasional pompa yang dipasang VSD (garis hijau) mengalami penurunan dibandingkan sistem eksisting (garis biru). Penurunan debit juga tidak mempengaruhi pelanggan karena debit produksi masih lebih besar daripada debit pemakaian.



Gambar 6. Perbandingan Sistem Aliran Jaringan Pipa Eksisting dengan Pemasangan VSD

Total Energi dan Tagihan Listrik

Penurunan frekuensi karena penggunaan VSD berdampak pada penurunan daya pompa (**Gambar 7**). Daya yang berkurang akan meningkatkan efisiensi karena biaya listrik menjadi lebih murah. Peningkatan efisiensi tersebut adalah sebesar 10,16% yaitu dari kebutuhan daya pompa semula rata-rata harian 9,35 kWh berkurang menjadi 8,4 kWh. Penurunan daya sebesar 10,16% menjadikan Perumda Tugu Tirta dapat menghemat biaya listrik sebesar Rp 999.408 setiap bulannya.



Gambar 7. Pengurangan Daya di Sistem Eksisting dengan VSD

Specific Energy Consumption (VSD)

Produksi air dan besaran energi listrik yang terpakai dengan VSD masing-masing adalah 17.221 m³/bulan dan 6027,10 kWh dalam 1 bulan, sehingga diperoleh nilai SEC sebesar 0,38 kWh/m³. Nilai SEC yang dicapai mengalami peningkatan dibandingkan dengan sistem eksisting tanpa menggunakan VSD.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pada hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan beberapa butir sebagai berikut:

1. Total pemakaian energi listrik di Sistem Distribusi Sumbersari *eksisting* adalah 6881,47 kW/bulan sehingga tagihan listrik yang dibayarkan Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang adalah sebesar Rp 9.941.662 setiap bulannya. Volume produksi rata-rata adalah 18.071 m³/bulan sehingga nilai SEC adalah sebesar 0,38 kW/m³;
2. Hasil perencanaan VSD dengan membandingkan kebutuhan debit dan tekanan minimum maka VSD dapat beroperasi pada pukul 19.00 sampai dengan 03.00 dengan frekuensi kerja 45 Hz;
3. Peningkatan efisiensi energi dengan skema VSD berpengaruh pada penurunan frekuensi kerja pompa semula konstan 50 Hz menjadi 45 Hz pada saat VSD aktif sehingga menurunkan pemakaian daya. Perubahan tersebut berpeluang menghemat tagihan listrik sebesar Rp 999.408 per bulan atau turun sebanyak 10,16%. Adapun nilai SEC mengalami peningkatan dari semula 0,38 kWh/m³ menjadi 0,35 kWh/m³.

REKOMENDASI

Berdasarkan uraian, diberikan rekomendasi berupa perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait bagaimana sistem kontrol operasional VSD berbasis IoT (*Internet of Things*).

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Kementerian PUPR yang telah memberikan kesempatan mengikuti program magister super-spesialis bidang air minum dan Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang sebagai lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Anindita, G., Setiawan, E., & Syahid, A. (2016). Optimasi Energi pada Motor Induksi 3 Fasa dalam Memproduksi Kebutuhan Air (Studi Kasus di PDAM Karang Pilang Surabaya). *Seminar Nasional Maritim, Sains Dan Teknologi Terapan*, 01(November), 87–94.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). Standar Nasional Indonesia (SNI) 7509:2011 tentang Tata Cara Perencanaan Teknik Jaringan Distribusi dan Unit Pelayanan Sistem Penyediaan Air Minum. *Standar Nasional Indonesia*, 28 hal.

Bolognesi, A., Bragalli, C., Lenzi, C., & Artina, S. (2014). Energy efficiency optimization in water distribution systems. *Procedia Engineering*, 70, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.021>

BPPSPAM. (2019). Buku Kinerja BUMD Penyelenggara SPAM. *Kementerian PUPR*.

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>

Doe. (2004). Variable Speed Pumping — A Guide to Successful Applications, Executive Summary is the result of a collaboration between the Hydraulic Institute, Europump, and the U.S. Department of Energy’s (DOE) Industrial Technologies Program. *A Guide to Variable Speed Pumping*, 20.

Moreira, D. F., & Ramos, H. M. (2013). Energy Cost Optimization in a Water Supply System Case Study. *Journal of Energy*, 2013, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/620698>

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27 /PRT /M /2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum

Sunela, M. (2017). *Real-Time Control Optimization of Water Distribution System with Storage*. <https://digi.lib.ttu.ee/i/?9007>

Suparno. (2013). Optimisasi Penggunaan Energi Listrik Pada Unit Pengolahan Air Minum Selat Panjang. In *Jurnal ELKHA* (Vol. 5, Issue 1).

Thollander, P., Karlsson, M., Rohdin, P., Wollin, J., & Rosenqvist, J. (2020). Energy auditing and measurements in practice. In *Introduction to Industrial Energy Efficiency* (pp. 89–146). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817247-6.00006-7>