

AUDIT ENERGI PADA POMPA *SUBMERSIBLE* DI PDAM GUNA MEMPEROLEH PELUANG PENGHEMATAN ENERGI

Muhammad Burhanuddin¹ Sapto Nisworo² Deria Pravitasari³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Tidar

Jl Kapten Suparman 39 Magelang 56116 Indonesia

muhammad.burhanuddin@students.untidar.ac.id¹ sapto.nisworo@untidar.ac.id²,
deria.pravitasari@untidar.ac.id³

INTISARI

PDAM mengeluarkan biaya listrik terbesar pada sistem pemompaan sebagai sistem produksinya. Penggunaan energi listrik untuk menggerakkan pompa hingga mencapai 50% - 80% dari total energi listrik yang digunakan PDAM, sisanya digunakan untuk operasional kantor dan pencahayaan, diperkirakan tidak sesuai untuk ukuran konsumsi energi dari keseluruhan konsumsi listrik PDAM yang diakibatkan Penambahan kapasitas produksi, keausan pada pompa serta pemakaian energi yang tidak efisien. Evaluasi untuk masalah ini dengan melakukan audit energy yang mengacu pada ISO 50002, Penelitian ini membahas audit energi mengenai evaluasi untuk identifikasi kondisi/status terkini kinerja sistem pompa dan menentukan potensi penghematan energi listrik dengan tahap awal perlu diketahui efisiensi dan kinerja pompa, kualitas daya listrik serta total konsumsi energi, sehingga dapat merekomendasi program penghematan energi listrik untuk proyeksi yang akan datang. Penelitian ini menghasilkan program penghematan energi listrik dengan melakukan pemasangan kapasitor bank dengan metode kompensasi individual pada beban sebagai perbaikan faktor daya. Pemasangan kapasitor bank pada penelitian ini membutuhkan total daya kapasitor senilai 5,57 kVar yang diharapkan mencapai nilai $\cos \phi$ 0,91. pemasangan kapasitor bank mampu mereduksi pengeluaran setiap tahunnya sebesar Rp. 2.694.976 dengan total biaya pemasangan sebesar Rp. 2.203.200 dan BEP total akan ditempuh selama 9 bulan

Kata Kunci: *Audit Energi, PDAM, Faktor Daya.*

ABSTRACT

PDAM spends the largest electricity costs on the pumping system as its production system. The use of electrical energy to drive pumps reaches 50% - 80% of the total electrical energy used by PDAMs, the rest is used for office operations and lighting, it is estimated that it is not suitable for the measurement of energy consumption of the PDAM's overall electricity consumption due to the addition of production capacity, wear on the pumps and inefficient use of energy. Evaluation for this problem by conducting an energy audit referring to ISO 50002, This study discusses an energy audit regarding evaluation to identify the current condition/status of the pump system performance and determine the potential for saving electrical energy. total energy consumption, so that it can recommend electrical energy saving programs for future projections. This research resulted in an electrical energy saving program by installing a capacitor bank with an individual compensation method on the load as a power factor improvement. The capacitor bank installation in this study requires a total capacitor power of 5.57 kVar which is expected to reach a $\cos \phi$ value of 0.91. the installation of a capacitor bank is able to reduce the annual cost of Rp. 2,694,976 with a total installation cost of Rp. 2.203.200 and BEP total will be taken for 9 month.

Keywords: *Energy Audit, PDAM, Power Factor.*

I. PENDAHULUAN

Badan Pendukung Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (BPPSPAM) pada tahun 2013 menunjukkan data mencengangkan

bahwa 341 PDAM hanya 142 PDAM yang berstatus sehat, kelebihan 128 PDAM kurang sehat dan 71 PDAM lemah[4]. Penggunaan

energi listrik untuk menggerakkan pompa hingga mencapai 50% - 80% dari total energi listrik yang digunakan PDAM, sisanya digunakan untuk operasional kantor dan pencahayaan. Komponen terbesar berasal seluruh pengeluaran yang dimuntahkan oleh PDAM yg menggunakan sistem pompa ialah pengeluaran listrik. pengeluaran ini mampu mencapai lebih asal 30% berasal seluruh pengeluaran operasional. PLN memberlakukan tarif disinsentif bagi pemakaian listrik pada waktu beban zenit, yaitu ketika beban puncak PLN ialah bersamaan dengan waktu zenit pemakaian air minum oleh pelanggan PDAM kurang lebih pukul 18.00 hingga 22.00, sebagai akibatnya pengeluaran listrik yang ditanggung PDAM semakin tinggi 35%. pengeluaran listrik yang tinggi menjadi beban berat untuk keuangan PDAM [4]. Pompa yang beroperasi saat luar waktu beban puncak selama 20 jam adalah 6.740 kWh dengan pengeluaran yang ditanggung mencapai Rp 12,9 juta/hari dengan volume air dipompakan 16.060 m³, dan saat operasi pada jam waktu beban puncak selama 4 jam adalah 1.348 kWh dengan pengeluaran ditanggung sebesar Rp 1,6 juta/hari dengan volume air di pompakan 3.212 m³ [4]. Tingginya pengeluaran listrik ini disebabkan oleh penggunaan energi listrik sesuai dengan penambahan kapasitas produksi/distribusi air..

II. LANDASAN TEORI

A. Audit Energi

Audit energi merupakan alat satu kegiatan awal pada rangka penerapan konservasi serta pengelolaan energi didalam suatu sistem produksi, seperti halnya PDAM didalam menyediakan pelayanan air minum [4]. Audit energi ditujukan buat mengevaluasi jumlah energi yang digunakan serta menghitung tenaga yang terbuang atau tidak dibutuhkan dan mengidentifikasi langkah-langkah yg bisa diambil untuk memanfaatkan tenaga lebih efisien. Hasil temuan akan dianalisis untuk

memperoleh potensi berikut nilai pengurangan pengeluaran energi. Tujuan primer artinya mengurangi konsumsi daya serta pengeluaran melalui perubahan fisik atau operasional [4].

Standar untuk melakukan audit energi di Indonesia mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) salah satunya ISO 50002. Menurut Standar Nasional Indonesia No.03-6196 tahun 2011, secara teknis pelaksanaan audit energi terbagi menjadi beberapa kriteria, yaitu:

1. *Walk through audit*

Walk through audit ini sering disebut audit mini. Audit yang mudah, tanpa perhitungan khusus, paling sederhana memainkan evaluasi yang mudah. Secara umum, fokus audit ini adalah pada pemeliharaan dan penghematan keuangan daerah yang tidak memerlukan pengeluaran pendanaan yang besar;

2. *Preliminary audit*

Audit paling sederhana diselesaikan pada bagian-bagian penting. Evaluasi diperoleh dengan bantuan menggunakan perhitungan yang muncul yang cukup jelas. Audit ini terdiri dari identifikasi sistem, evaluasi kondisi nyata, menghitung konsumsi daya, menghitung pemborosan daya dan berbagai proposal;

3. *Detailed audit*

Audit energi lengkap diselesaikan pada semua elemen yang menghabiskan daya listrik di samping semua penghematan finansial yang dapat dilakukan. Biasanya diselesaikan melalui organisasi auditor ahli dalam jangka waktu yang lama.

B. Pompa *Submersible*

Pompa *submersible* termasuk pompa sentrifugal jenis pompa sumur dalam. Pompa memakai sumbu vertikal dan motor penggerak adalah unit yang dipasang di bawah titik tertinggi

air dan posisi pompa digantung pada pipa penyalur. Motor terletak di titik tertinggi pompa karena air mengalir dari bawah, diameter motor lebih sederhana daripada pompa biasa. Cara kerjanya adalah dengan mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolis yang memberikan daya *sentrifugal* dalam fluida yang dipindahkan..

C. Efisiensi Pompa

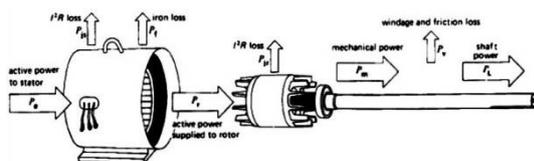
Efisiensi pompa (n_p), ialah kemampuan mengubah daya/energi poros pompa menjadi daya/energi yang digerakkan oleh tekanan dari pompa. Energi listrik yang masuk ke sistem pompa akan masuk ke motor terlebih dahulu. Memanfaatkan motor listrik, energi listrik diubah sebagai tenaga mekanik untuk poros poros. Tidak semua energi listrik yang diberikan ke motor listrik dapat diubah menjadi tenaga mekanik untuk poros poros motor listrik. Jadi pada menilai kinerja pompa informasi efektivitas ini yang digunakan persamaan:

$$Efisiensi pompa total, n_t = \frac{P_{hid}}{P_i} \times 100\%...$$

keterangan : n_t = efisiensi total pompa (%)
 P_{hid} = daya hidrolis pompa(Watt)
 P_i = daya input motor (Watt)

D. Motor Induksi

motor induksi memiliki beberapa kekurangan karena bagian-bagian yang membentuk motor yang sebenarnya, bagian tembaga di gulungan stator dan rotor. rugi inti besi dan mekanis. Dalam rugi tembaga, karena pemanfaatan relatif dari nilai I².R. I menyiratkan aliran arus dalam belitan tembaga dan R menyiratkan nilai tahanan tembaga. Dengan demikian, semakin menonjol arusnya, semakin besar rugi dalam tembaga [3].



Gambar 1. Variable rugi-rugi pada motor induksi

Semakin menonjol beban yang dibawa oleh suatu mesin, semakin besar pula arus yang mengalir pada lilitan tembaga sehingga kerusakan tembaga pada mesin akan semakin besar. Rugi-rugi di inti besi tidak sepenuhnya terhubung dengan ukuran beban yang diberikan ke mesin. Sementara itu, rugi-rugi mekanis pada umumnya disebabkan oleh halangan dan gesekan, misalnya dalam bearing, udara, dan sebagainya.

Produktivitas motor dikomunikasikan sebagai tingkat proporsi antara daya hasil yang dapat diberikan oleh motor untuk bekerja (P_{out}) dengan daya masukan (P_{in}) yang diharapkan oleh motor dengan menggunakan persamaan:

$$\eta m = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100 \%$$

keterangan: ηm = efisiensi motor induksi
 P_{out} = daya output motor induksi (Watt)
 P_{in} = daya input motor induksi (Watt)

E. Daya

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam melakukan audit energi adalah daya dan efektivitas pemanfaatan daya. Terdapat 3 jenis daya antara lain:

1. Daya Input

daya listrik masuk ke motor pompa dalam kW. Daya masukan dapat ditentukan dari informasi pengukuran arus rata-rata (*Ampere*) antara tegangan antar fasa (*Volt*) dari ketiga fasa, dan faktor daya ($\cos \phi$) dengan menggunakan persamaan:

$$P = 1,73 \times Vp \times I \times \cos \phi / 1000..$$

Keterangan : P = daya input ke motor dalam kW
 Vp = voltase rata-rata antar fasa dalam volt
 I = arus rata-rata ketiga phase dalam ampere
 $\cos \phi$ diambil dari data name plate motor atau panel starter pompa.

2. Daya Poros

daya mekanik didapat dari motor untuk memutar poros, dan kemudian digunakan untuk memutar impeller pompa. Daya poros (Pp) dapat ditentukan dari hasil efisiensi motor (η_m) dan daya masukan motor (Pi) yang menggunakan persamaan:

$$Ps = \eta_m \times P.$$

η_m dapat diambil dari informasi *name plate* atau dari informasi efisiensi motor yang diperoleh dari penyedia. Dengan mempertimbangkan faktor beban, dan berapa putaran (Rpm) motor.

3. Daya Hidrolis

daya yang digunakan untuk mendorong air mulai dari satu titik kemudian ke titik berikutnya dan karena perlawanan dari sistem perpipaan, tekanan tertentu (head) dibentuk dengan memanfaatkan persamaan :

$$Ph = 0,163 \times Q \times Htotal.$$

keterangan : Ph = daya hidrolis dalam *kW*
 Q = debit air dalam m^3/min
 $Htotal$ = selisih *discharge* dan *suction head* dalam meter

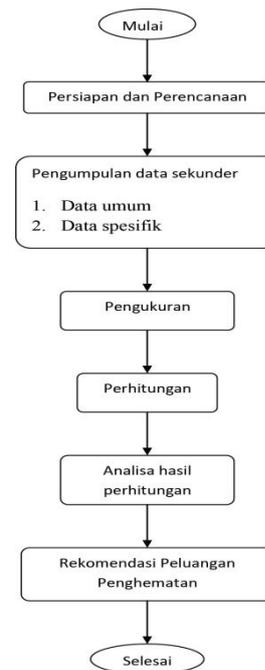
F. Specific Energy Consumption (SEC)

SEC adalah pemanfaatan energi (kWh) per unit volume produksi (1000m³) pada waktu tertentu, seperti bulan ke bulan atau tahunan. SEC ini menjadi *benchmark* bagi PDAM. Semakin kecil nilainya SEC, penggunaan energi yang lebih efisien dengan menggunakan persamaan :

$$SEC = kWh / 1000 m^3 .$$

III. METODE PENELITIAN

Pada metode penelitian menjelaskan cara penyelesaian penulis dalam melakukan penelitian. Teknik yang digunakan dalam eksplorasi ini adalah strategi metodologi kuantitatif deskriptif. Prosedur-prosedur yang dilakukan yaitu melakukan identifikasi masalah, persiapan audit, pengukuran aktual pada kelistrikan dan operasional pompa, analisis data serta melakukan rekomendasi peluang penghematan energi ditunjukkan dalam diagram alir berikut ini:



Gambar 6. Diagram alir audit energi

1. Metode evaluasi

Dalam pengujian ini, ada beberapa strategi yang digunakan untuk mengevaluasi dengan audit energi pada sistem Pemompaan di PDAM Kota Magelang berikut adalah metode evaluasi dari masing-masing objek:

a. Persiapan dan perencanaan

Persiapan dan perencanaan yang dilakukan dalam melakukan audit energy adalah dengan menentukan target dan tingkat tinjauan, buat rencana kegiatan atau jadwal kegiatan, kebutuhan individu dan perangkat keras yang dibutuhkan dalam melakukan audit energi.

b. Pengumpulan Data

Dalam hal ini, melakukan studi di PDAM Kota Magelang untuk mendapatkan data dan informasi yang diperlukan berhubungan dengan audit energi. Data yang dibutuhkan adalah data pompa, data motor induksi data SDP (*Sub Distribution Panel*) dan data konsumsi energi listrik.

c. Analisis data

Penelitian ini menggabungkan teknik analisis deskriptif dengan metode kuantitatif, dimana hasil penelitian disajikan dalam bentuk deskriptif. Dari hasil perhitungan yang diperoleh dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* berdasarkan data analisis, hasilnya dibandingkan dengan standar minimum dan ditampilkan dalam bentuk grafik, dan dilakukan perhitungan untuk menentukan rekomendasi penghematan energi.

d. Menentukan Program Penghematan Energi

Setelah dilakukan beberapa analisis yang sudah dilaksanakan, dalam menentukan rekomendasi penghematan energi dapat dilakukan dengan cara perawatan, perbaikan, pengaturan operasional pompa, penggantian mesin-mesin baru ataupun implementasi peralatan penggunaan energi yang baru.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap awal penelitian ini adalah pengumpulan data yang didapatkan dari pengukuran di PDAM Kota Magelang. Data yang diperoleh adalah data konsumsi energi listrik, data beban, data volume produksi, data pompa, dan data kualitas daya di PDAM Kota Magelang sumber mata air kanoman 1 dan kanoman 2.

A. Profil beban PDAM Kota Magelang

Sumber utama listrik pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) PDAM kota Magelang sepenuhnya disuplai oleh PT. PLN, dengan daya terpasang senilai 197 kVA sesuai tarif industri golongan 1-2/TR.

Tabel 1. Data konsumsi energi listrik PDAM Kota Magelang Tahun 2020

NO	BULAN	KONSUMSI LISTRIK (kWh)	BIAYA LISTRIK (Rp)
1	Januari	220.800	256.276,681
2	Februari	221.744	256.108,826
3	Maret	220.200	254.158,619
4	April	253.592	293.557,516
5	Mei	249.164	287.866,919
6	Juni	255.176	294.993,500
7	Juli	249.072	287.822,111
8	Agustus	234.460	271.234,674
9	September	224.288	258.579,660
10	Oktober	239.696	276.820,719
11	November	253,18	292,597,347
12	Desember	245,78	284,158,536

Berdasarkan data rekening kurun waktu satu tahun (Januari s/d Desember 2020), energi listrik yang digunakan oleh PDAM kota Magelang yakni senilai 2.867,152 kWh/tahun dengan rata-rata konsumsi listrik 238,930 kWh per bulannya.

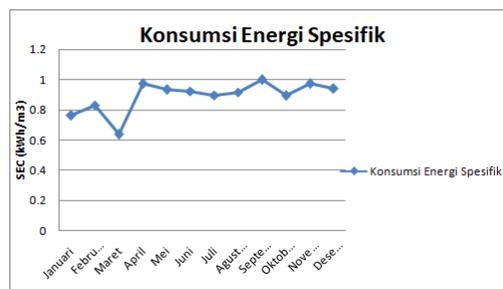
B. Specific energy consumption (SEC)

Specific energy consumption (SEC) merupakan hasil perbandingan konsumsi energi dengan output yang dihasilkan. Semakin kecil nilainya SEC, penggunaan energi yang lebih efisien. Pada penelitian ini perhitungan SEC difokuskan untuk menilai kinerja pompa pada kurun waktu satu tahun dengan perhitungan:

$$SEC = kWh / 1000 m^3$$

Tabel 2. Specific Energi Consumption (SEC)

Bulan	Energi (kWh)	Volume Produksi (m ³)	SEC (kWh/m ³)
Januari, 2020	220,800	290,144	0,761
Februari, 2020	221,744	267,806	0,828
Maret, 2020	220,200	345,682	0,637
April, 2020	253,592	261,165	0,971
Mei, 2020	249,164	267,630	0,931
Juni, 2020	255,176	276,763	0,922
Juli, 2020	249,072	278,604	0,894
Agustus, 2020	234,640	256,437	0,915
September, 2020	224,288	224,962	0,997
Oktober, 2020	239,696	268,717	0,892
November, 2020	253,180	260,741	0,971
Desember, 2020	245,780	261,749	0,939
rata - rata	238,944	271,700	0,888



Gambar 7. Grafik SEC

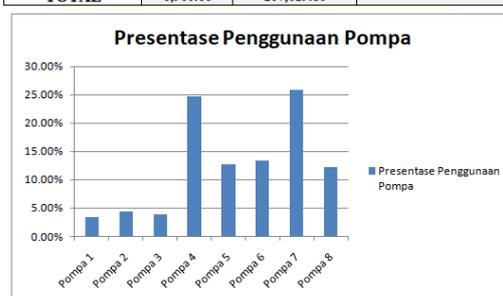
Nilai SEC untuk kegiatan IPA PDAM Kota Magelang pada tahun 2020 dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 7, dapat dilihat bahwa nilai SEC yang paling tinggi terjadi pada bulan September 2020 dan terendah pada bulan maret 2020. Nilai SEC normal pada tahun 2020 adalah 0,888

C. Perhitungan beban pompa

Konsumsi energi listrik setiap bulannya pada PDAM Kota Magelang penggunaan beban terbesar adalah beban motor listrik 3 fasa.

Tabel 3. Data Konsumsi Beban Pompa

Pompa	Daya (kW)	Energi (kWh) Hari	Energi (kWh) Bulan	Penggunaan Energi Pompa (%)
Pompa Intake				
1	9.41	225.85	6,775.56	3.27%
2	12.37	296.93	8,907.84	4.30%
3	10.89	261.41	7,842.24	3.79%
Pompa Distribusi				
4	70.74	1,697.76	50,932.80	24.60%
5	36.61	878.69	26,360.64	12.73%
6	38.11	914.87	27,446.04	13.26%
7	74.48	1,787.62	53,628.48	25.91%
8	39.29	837.54	25,126.20	12.14%
TOTAL		6,900.66	207,019.80	



Gambar 8. Presentase penggunaan pompa

Dari tabel 3, dapat diketahui bahwa keseluruhan penggunaan energi listrik di pdam sebagian besar untuk kebutuhan produksi dimana 87 % digunakan untuk pompa-pompa, yang berarti 13 % adalah untuk beban-beban lain seperti penerangan dan peralatan elektronik. Besarnya konsumsi energi listrik dikarenakan motor pompa tersebut beroperasi selama 24 jam.

D. Kinerja Pompa

1. Load pompa

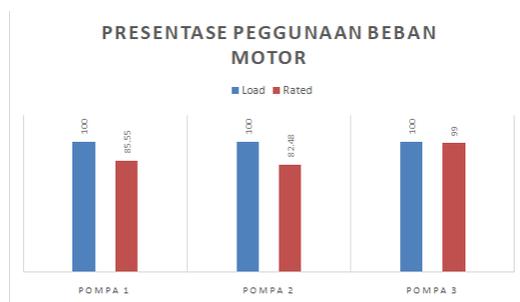
Perhitungan pembebanan motor pada pompa bertujuan untuk mengetahui besar persentase beban serta untuk mencari peluang penghematan energi listrik.

$$\text{Load Motor} = \frac{\text{pengukuran daya input motor}}{\text{full rated load motor}} \times 100\%$$

$$\text{Load Motor Pompa 1} = \frac{9.411}{11.000} \times 100\% = 85,554 \%$$

Tabel 4. Data Penggunaan Beban Motor

Pompa	Daya Maksimal (Watt)	Daya Pengukuran (Watt)	Load (%)
1	11.000	9.411	85,55
2	15.000	12.372	82,48
3	11.000	10.890	99,00



Gambar 9. Presentase penggunaan beban motor

Dari analisis perhitungan pembebanan pada motor di PDAM Kota Magelang, semua motor pompa masih optimal dalam pembebanannya karena berada diatas 50% dari *full rated* motor.

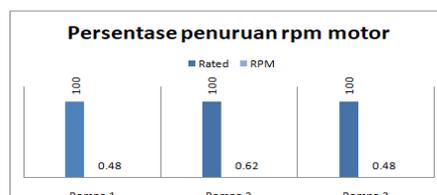
2. RPM Motor dan Debit Air

Dari data pengukuran rpm dan debit air yang dihasilkan oleh setiap pompa, dapat diketahui perbandingan kinerja pompa pada awal produksi dengan keadaan sekarang. Berikut adalah hasil perhitungan penurunan rpm dan debit air:

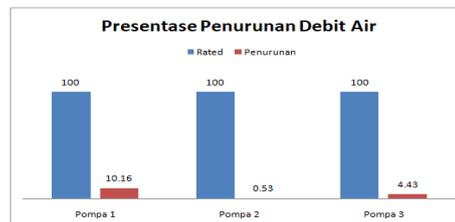
$$\% \text{ penurunan} = \frac{\text{hasil pengukuran aktual}}{\text{rated pompa}} \times 100 \%$$

Tabel 5. Kinerja pompa berdasarkan rpm dan debit air

Pompa	RPM		Penurunan (%)	Pompa	Debit Air		Penurunan (%)
	Pengukuran	Name Plate			Pengukuran	Name Plate	
1	1440	1447	0,48	1	22.460	25.000	10,16
2	1440	1449	0,62	2	24.868	25.000	0,53
3	1440	1447	0,48	3	23.891	25.000	4,43



Gambar 10. Penurunan RPM Motor



Gambar 11. Penurunan Debit Air

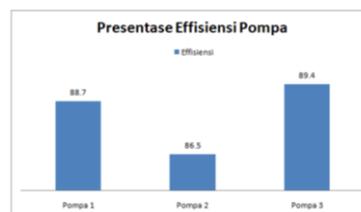
Dari hasil analisis didapatkan presentase penurunan RPM motor dan penurunan debit air pada masing-masing pompa. Presentase penurunan motor pompa sudah tergolong sangat baik, semakin mendekati 0% berarti motor pompa sesuai dengan *name plate* atau spesifikasi pabrikan motor pompa.

E. Efisiensi pompa

Efisiensi hidrolis pompa didapatkan dari perbandingan antara daya hidrolis pompa dengan daya input.

Tabel 6. Data Efisiensi Motor Pompa

Pompa	Head (m)	Debit (m ³ /s)	Daya Motor (W)	Daya Hidrolis (Ph)	Efficienc (%)
1	38	22,46	9.411	8.343	88,7
2	44	24,87	12.372	10.701	86,5
3	38	26,20	10.890	9.736	89,4



Gambar 12. Efisiensi Motor

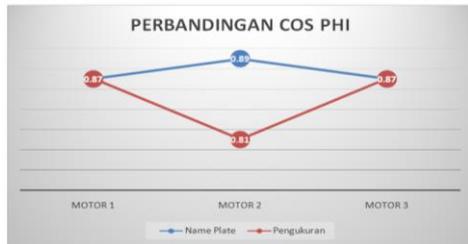
Tingkat efisiensi pada setiap motor ditunjukkan bahwa semua pompa kondisinya sudah baik. Menurut data sheet pada masing-masing pompa, besar BEP (*best efficiency pump*) adalah 80 - 90 %.

F. Faktor Daya Pompa

Pengukuran faktor daya atau cos phi dilakukan secara langsung pada masing-masing motor pompa, dari hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan nilai cos phi *name plate* pada pompa untuk dapat diketahui kesesuaiannya.

Tabel 7. Faktor daya pompa

Pompa	Tegangan (V)	Arus (A)	Cos phi Pengukuran	Cos phi Name Plate	Kesesuaian
1	215,77	165,30	0,87	0,87	Sesuai
2	214,60	127,40	0,81	0,89	Tidak Sesuai
3	214,57	171,20	0,87	0,87	Sesuai



Gambar 13. Perbandingan Cos Phi

Motor pompa 2 memiliki faktor daya masih jauh dari nilai *name plate*. Motor ini juga memiliki rugi-rugi daya yang besar dari pada pompa lain. Tetapi masing-masing pompa sudah memenuhi standar yang ditetapkan oleh PLN yaitu besar cos phi $\geq 0,80$, namun perlu adanya peningkatan agar cos phi dapat mencapai ratingnya.

G. *Unbalance voltage*

Unbalance voltage dihitung dari data pengukuran tegangan pada setiap fasa dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Unbalance Voltage} = \frac{\text{deviasi tertinggi dari rata-rata tegangan}}{\text{tegangan rata-rata}} \times 100\%$$

Tabel 8. *Unbalance voltage* motor

Pompa	VOLTAGE				Unbalance	Standar 1 %	Keterangan Sesuai
	R	S	T	Rata-rata			
1	214,6	215,3	217,4	215,77	0,76	1%	Sesuai
2	216,2	213,4	214,2	214,60	0,75	1%	Sesuai
3	215,4	217,3	213,7	215,47	0,85	1%	Sesuai

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa setiap pompa memiliki *unbalance voltage* sesuai standar. Menurut standar NEMA (MGI) part.14.35, *unbalance voltage* tidak boleh lebih dari 1 %, *unbalance voltage* dapat disebabkan adanya pembagian tegangan yang tidak merata pada masing-masing fasa, sebagai contoh adanya penambahan beban satu fasa pada sistem 3 fasa.

H. *Unbalance current*

Unbalance current atau ketidakseimbangan arus didapatkan dari data hasil pengukuran arus yang mengalir pada setiap fasa pada setiap pompa.

Tabel 9. *Unbalance current* motor

Pompa	CURRENT				Unbalance	Standar 10 %	Keterangan Sesuai
	R	S	T	Rata-rata			
1	151,6	181,1	163,2	165,30	6,37	10 %	Sesuai
2	111	139	132,2	127,40	8,58	10%	Sesuai
3	164,1	173,8	149,8	162,57	5,24	10%	Sesuai

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis diatas didapatkan data *unbalance current*, motor pompa memiliki *unbalance current* yang sudah

sesuai, menurut standar ANSI batas maksimal *unbalance current* yang diperbolehkan adalah 10 %.

I. Perhitungan THD tegangan dan THD arus

Pengukuran THD pada masing-masing motor pompa didapatkan dari total harmonik yang terjadi pada setiap fasa menggunakan *Power Analyzer*.

Tabel 10. THD tegangan

Pompa	THD				Standar	Keterangan
	R	S	T	Rata-rata		
1	4,1	4,2	4,1	4,13 %	5 %	Sesuai
2	2,9	3,3	3,4	3,20 %	5 %	Sesuai
3	4,4	4,2	4,5	4,37%	5%	Sesuai

Tabel 11. THD arus

Pompa	THD				Standar	Keterangan
	R	S	T	Rata		
1	4,1	4,2	4,1	4,13	15 %	Sesuai
2	2,9	3,3	3,4	3,20	15 %	Sesuai
3	4,5	4,4	4,9	4,0	15%	Sesuai

Besar THD tegangan dan THD arus pada masing-masing pompa menunjukkan Persentase THD yang diperoleh sesuai standar IEEE 519-2014 untuk tegangan pada beban ≤ 69 kV adalah sebesar 5%, dan untuk arus berkisar 100-1K ampere adalah sebesar 15%.

J. Rekomendasi Penghematan energi

Dari hasil observasi dan pengukuran di lapangan serta analisis data yang diperoleh. terdapat beberapa peluang hemat energi yang seharusnya memungkinkan. Peluang potensial dimungkinkan dengan cara perawatan, perbaikan, pengaturan operasional pompa, penggantian mesin-mesin baru ataupun implementasi peralatan penggunaan energi yang baru. Rekomendasi yang dapat dilakukan di PDAM Kota Magelang adalah dengan perbaikan faktor daya.

a. Perbaikan faktor daya dengan pemasangan kapasitor

Dari hasil pengukuran, masing-masing pompa sudah memenuhi standar yang ditetapkan oleh PLN yaitu besar cos phi $\geq 0,80$, namun perlu adanya peningkatan agar cos phi dapat mencapai rating pada *name plate* atau mendekati 1 sehingga kualitas daya pada motor dapat meningkat.

Tabel 12. Rekomendasi pemasangan Kapasitor bank

Pompa	Cos phi (awal)	Cos phi (akhir)	Qc (kVar)	Saving Energy (kWh)/Bulan	Saving Biaya/ Tahun (Rp.)	Biaya Investasi (Rp.)	BEP bulan
1	0,87	0,91	1,04	29,1	504.489	212.218	4
2	0,81	0,91	3,34	92,6	1.605.350	701.492	4
3	0,87	0,91	1,20	33,7	584.236	245.569	4

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan di PDAM Kota Magelang, dapat disimpulkan bahwa :

1. Profil penggunaan energi listrik di PDAM Kota Magelang rata-rata setiap bulan menghabiskan kurang lebih 238,930 kWh, 13% digunakan untuk penerangan, AC, printer dan lain-lain. Konsumsi beban motor pompa sebanyak 207,019.80 kWh per bulan diantaranya 3,27% pada motor pompa 1, motor pompa 2 sebesar 4,30%, motor pompa 3 sebesar 3,79% motor pompa 4 sebesar 24,60%, motor pompa 5 sebesar 12,73%, motor pompa 6 sebesar 13,26%, motor pompa 7 sebesar 25,91% dan 12,14% pada motor pompa 8. Besarnya konsumsi energi listrik dikarenakan motor pompa tersebut beroperasi selama 24 jam.
2. Perbaikan faktor daya motor pompa telah disesuaikan dengan rated yang diinginkan agar motor tersebut dapat bekerja secara efisien dan meningkatkan kualitas daya, total kapasitor yang dibutuhkan sebesar 5,57 kVar. Setelah pemasangan kapasitor bank mampu mereduksi pengeluaran setiap tahunnya sebesar Rp. 2.694.976 dengan total pengeluaran pemasangan sebesar Rp. 2.203.200 dan total BEP akan ditempuh selama 9 bulan.
3. perhitungan *unbalance voltage* sudah sesuai standar yang ditetapkan yaitu 15%. Pada *unbalance current* semua motor sudah memenuhi standard dibawah 5%. Pada THD arus dan tegangan motor sesuai dengan standard yang ditetapkan oleh IEEE 519-2014 dibawah 5% untuk THD arus dan dibawah 15% untuk THD tegangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alsey, F. K., & Arsyad, M. I. (2018). Audit Energi Listrik Pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Khatulistiwa. 2, 1–6. Jurnal S1 Teknik Elektro UNTAN
- [2] BPPT-B2TE. (2015). Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi Industri (NUR R. ISK, ISBN 978-602-1124-88-8).
- [3] 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.
- [4] PUPR, K. (2014). Pedoman Pelaksanaan Efisiensi Energi di PDAM (Ir. M. Nat).
- [5] Tandioga, R., Hasan, I., Umar, A. K., & Suryanto, S. (2019). Audit Energi Di Pt Satwa Utama Raya 8. *Jurnal Sinergi Jurusan Teknik Mesin*, 16(2), 220. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v16i2.1516>