

Efisiensi Energi Motor Induksi Tiga Fasa dalam Pendistribusian Air Minum pada SPAM Petanu

Made Ardikosa Satrya W., I Gede Artha Negara.

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: pembimbing123@gmail.com

Paper received: 05-02-2023; revised: 15-02-2023; accepted: 30-02-2023

Abstract

The operational fulfillment of the needs for the distribution of drinking water to PDAM Gianyar, Badung, and Denpasar City by SPAM Petanu is always balanced with costs. Distribution of water needs using pumps, the use of three-phase induction motors as pump drives without any automation controls will cause operational costs to increase, especially electricity consumption. The use of variable speed on a three-phase induction motor as a driving force for water pumps in water distribution, will further save electricity consumption. This research is expected to be a solution to find out the distribution of water, rotation with variable speed on induction motors and the power consumption used, with this solution, especially at Petanu SPAM, it can also predict between expenses and income during distribution in meeting water needs. From the results of the research and analysis of the calculations that have been carried out, it is found that the average capacity requirement for water flow required every day is between 148 l/s, the motor speed setting on the Variable Speed Drive (VSD) is set at a frequency between 40 Hz to 45 Hz so that the savings from operational costs incurred each month are between 54,541,440.- to 97,853,760.-.

Keywords: energy efficiency; variable speed drive; frequency

Abstrak

Pemenuhan operasional kebutuhan pendistribusian air minum kepada PDAM Gianyar, PDAM Badung, dan PDAM Kota Denpasar oleh SPAM Petanu selalu diimbangi dengan biaya. Pendistribusian kebutuhan air dengan menggunakan pompa, penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak pompa tanpa adanya kontrol otomatisasi akan menyebabkan pembengkakan biaya operasional khususnya konsumsi energi listrik. Penggunaan variabel kecepatan pada motor induksi tiga fasa sebagai penggerak pompa air dalam pendistribusian air, akan lebih menghemat konsumsi energi listrik. Sebagai solusi efisiensi maka dengan ini penulis mengajukan penelitian dengan judul "Efisiensi Energi Motor Induksi Tiga Fasa dalam Pendistribusian Air Minum pada SPAM Petanu". Penelitian ini diharapkan menjadi solusi untuk mengetahui antara pendistribusian air, putaran dengan variabel kecepatan pada motor induksi dan konsumsi daya yang digunakan, dengan solusi ini khususnya pada SPAM Petanu juga dapat memprediksi antara pengeluaran dan pemasukan biaya selama pendistribusian dalam memenuhi kebutuhan air. Dari hasil penelitian dan analisa hitungan yang sudah dilakukan didapatkan bahwa kebutuhan kapasitas rata-rata aliran (flow) air yang dibutuhkan setiap harinya antara 148 lt/dt, pengaturan kecepatan motor pada Variable Speed Drive (VSD) diatur pada frekuensi antara 40 Hz s/d 45 Hz sehingga penghematan yang didapat dari biaya operasional yang dikeluarkan setiap bulannya sebesar antara 54.541.440, - s/d 97.853.760, -.

Kata kunci: efisiensi energi; *variable speed drive*; frekuensi

1. Pendahuluan

Pada umumnya motor induksi tiga fasa adalah jenis motor yang banyak digunakan di industri – industri berskala besar. Adapun kelebihan motor induksi adalah konstruksinya yang sederhana, relatif lebih murah bila dibandingkan dengan jenis motor yang lain dan perawatannya yang mudah. Umumnya motor induksi digunakan untuk memutar beban dengan kecepatan konstan. Apabila terjadi perubahan beban, akan terjadi perubahan kecepatan, untuk itu kecepatan harus dikendalikan dengan mengatur frekuensi.

Operasional untuk memenuhi pendistribusian kebutuhan air kepada PDAM Gianyar, PDAM Badung, dan PDAM Kota Denpasar oleh SPAM Petanu selalu diimbangi dengan biaya. Air didistribusikan dengan menggunakan pompa, penggunaan motor sebagai penggerak pompa tanpa adanya kontrol otomatisasi akan menyebabkan pembengkakan biaya operasional pendistribusian air. Penggunaan variabel kecepatan pada motor induksi tiga fasa sebagai penggerak pompa dalam pendistribusian air, akan lebih menghemat penggunaan energi listrik. Untuk itu dilakukan penelitian “Efisiensi Energi Motor Induksi Tiga Fasa dalam Pendistribusian Air Minum pada SPAM Petanu”.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mathematical analysis dan adapun langkah-langkah digunakan dalam penelitian ini adalah:

2.1. Analisa kebutuhan

Peneliti melakukan analisa awal dan melihat adanya kebutuhan untuk dilakukannya suatu kajian. Dari analisa awal, yang dilakukan di SPAM Petanu seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, peneliti menemukan suatu kebutuhan bagaimana bisa menekan dan meng-efisienkan biaya operasional dalam pendistribusian kebutuhan air.

2.2. Studi literatur

Mempelajari teori – teori dasar dan instrumen yang berhubungan dalam pendistribusian air oleh SPAM Petanu.

2.3. Studi lapangan dan Pengumpulan data

Melakukan secara langsung dan wawancara mengenai instrumen dalam pendistribusian air, terutama mengenai motor penggerak pompa, penggunaan daya, kapasitas air yang dihasilkan dan biaya operasional ataupun hal - hal lain.

2.4. Analisa Optimasi.

Secara garis besar analisa optimasi disini adalah bagaimana malakukan optimalisasi penggunaan daya dengan melakukan analisa pada kapasitas rata-rata aliran air pada pompa, variabel frekuensi yang diberikan pada VSD dan daya operasional motor penggerak pompa.

2.5. Pengolahan Data

Melakukan pengolahan data yang didapat baik saat pengukuran dilapangan maupun dari literatur.

2.6. Kesimpulan

Kesimpulan dilakukan setelah mendapatkan hasil penelitian dan sudah dilakukan pembahasan. Selanjutnya peneliti dapat memberikan saran-saran untuk penelitian selanjutnya sebagai tindak lanjut dari kesimpulan yang didapat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kapasitas aliran air Q rata-rata.

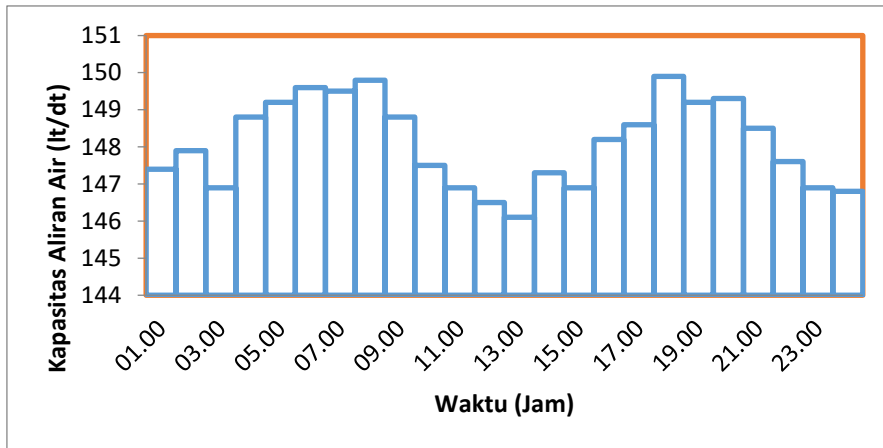
Berdasarkan data-data besarnya kapasitas aliran (flow) distribusi air *non-stop* selama 24 jam, tersedia 3 (tiga) unit pompa air pada bangunan Distribusi yang dioperasikan 1 (satu) unit pompa air secara bergantian selama 8 jam sekali, maka dapat dihitung besarnya kapasitas aliran air rata-rata dari 3 (tiga) unit pompa air yang beroperasi dengan rumus seperti berikut :

$$Q_{rata} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n}$$

Dimana:

- Q_{rata} : Kapasitas aliran air rata-rata per jam (liter/detik)
- Q_1, Q_2, \dots, Q_n : Kapasitas aliran air pada jam 1, 2, 3, ..., n (liter/detik)

Dari data didapat, Kapasitas aliran air Q_{rata} (liter/detik) dari 1 pompa yang beroperasi 8 jam bergantian selama 24 jam, ditunjukkan pada gambar dibawah:



Gambar 1. Kapasitas Aliran Air Q_{rata} (lt/dt)

Berdasarkan data diatas dapat diketahui Kapasitas rata - rata Aliran air setiap harinya (Q_{rata} (Liter/detik)) sebesar 148 lt/det untuk 1-unit pompa yang bekerja.

3.2. Konsumsi Daya Motor Induksi Tiga Fasa Penggerak Pompa Air.

Seperti dijelaskan sebelumnya pompa air yang dioperasikan 1 (satu) unit bergantian selama 8 jam, sehingga besarnya konsumsi daya listrik maksimum adalah:

$$P_{max} = 1 \times 250 \text{ kW} = 250 \text{ kW.}$$

Besarnya biaya konsumsi daya berdasarkan Tarif Dasar listrik untuk keperluan industri yang ditetapkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah Rp. 1.114, - per kWh (harga per oktober 2022), sehingga besarnya biaya konsumsi energi listrik maksimum yang harus dibayar dapat dihitung seperti berikut ini:

- Biaya maksimum per jam = $1 \times 250 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} \times \text{Rp. } 1.114, - = \text{Rp. } 278.500, -$
- Biaya maksimum per hari = $1 \times 250 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} \times \text{Rp. } 1.114, - \times 24 = \text{Rp. } 6.684.000, -$

- Biaya maksimum per bulan = $1 \times 250 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} \times \text{Rp. } 1.114, - \times 24 \times 30 = \text{Rp.}200.520.000, -$

3.3. VSD (Variable Speed Drive)

Prinsip kerja VSD (*Variable Speed Drive*) adalah mengubah input motor (listrik AC) menjadi DC dan kemudian dijadikan AC lagi dengan frekuensi yang dikehendaki sehingga motor dapat dikontroll sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Fungsi VSD (*Variable Speed Drive*) adalah untuk mengubah kecepatan motor AC dengan cara mengubah Frekuensi Outputnya. Dalam VSD terdapat algoritma atau perintah-perintah dalam bahasa pemrograman yang memungkinkan VSD bekerja secara otomatis bila terhubung dengan sensor-sensor input sebagai proteksi bila suatu sistem beroperasi diluar kewajaran. Misalnya, ketika *flow* pendistribusian air menurun dan tekanan pada pipa meningkat, maka VSD secara otomatis akan menurunkan kinerja ESP (*Electrical Submarine Pump*). Sebaliknya, ketika *flow* pendistribuaian air meningkat dan tekanan air menurun, maka VSD secara otomatis akan meningkatkan kinerja ESP. VSD pun dapat memerintahkan ESP untuk bekerja secara konstan pada laju alir fluida tertentu. Sehingga VSD pada pompa sangat diperlukan karena berpengaruh pada beban puncak dan non puncak saat pendistribusian air ke masing-masing PDAM.

Analisa Perhitungan Kecepatan Motor Penggerak Pompa n_r (rpm) , Q_x (Kapasitas aliran air operasional pompa (Lt/det)), P_x (Daya motor operasional (KW))

Dengan persamaan:

$$P = \sqrt{3}.V.I.\cos\phi$$

Dimana:

P = daya (watt)

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

$\cos\phi$ = *ruqi daya*

Dengan Persamaan:

$$n_s = \frac{120.F}{P}$$

Kecepatan sinkron motor:

$$n_s = \frac{120.50}{4}$$

$$n_s = 1500 \text{ rpm}$$

Kecepatan sinkron motor adalah 1500 rpm

Dengan persamaan:

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

$$S = \frac{1500 - 1490}{1500} \times 100\%$$

$$S = \frac{10}{1500} \times 100\%$$

$$S = 0.006 \times 100\%$$

$$S = 0.6\%$$

Pengaturan frekuensi dengan VSD (*Variable Speed Drive*) atau *Inverter* dan menghasilkan kecepatan motor sebagai berikut;

Pada pengaturan frekuensi 45 Hz

$$n_s = \frac{120 \cdot F}{P}$$

$$n_s = \frac{120 \cdot 45}{4}$$

$$n_s = 1350 \text{ rpm}$$

Jika nilai $n_s = 1350 \text{ rpm}$, maka nilai n_r adalah :

$$n_r = n_s - (s \cdot n_s)$$

$$n_r = 1350 - (0.006 \times 1350)$$

$$n_r = 1350 - 8$$

$$n_r = 1342 \text{ rpm}$$

Jika frekuensi diatur sebesar 45 Hz maka, kecepatan motor tersebut adalah 1342 rpm. Secara keseluruhan dari hasil perhitungan didapatkan hubungan antara Frekuensi_{inv} (F_{inv}) dan Kecepatan motor dengan slip motor (s) = 0.6% seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah.

Tabel 1. Hubungan antara F_{inv} dengan n_r

| No | Frekuensi _{inv} (F_{inv}) (Hz) | Kecepatan Motor (n_r) (rpm) | Slip motor (s) |
|----|---|---------------------------------|----------------|
| 1 | 45 | 1342 | |
| 2 | 40 | 1192 | |
| 3 | 35 | 1042 | |
| 4 | 30 | 892 | |
| 5 | 25 | 742 | 0.006 |
| 6 | 20 | 592 | |
| 7 | 15 | 442 | |
| 8 | 10 | 292 | |

Berdasar data Kecepatan motor n_r (yang merupakan putaran operasional motor pompa) maka dapat dihitung kapasitas aliran air operasional (lt/dt). Kapasitas aliran air operasional dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_x = \frac{n_x}{n}$$

Dimana:

Q_x = Kapasitas aliran air operasional pompa (lt/det)

Q = Kapasitas aliran air nominal pompa (lt/det)

n_x = Putaran operasional pompa (rpm)

n = Putaran nominal pompa (rpm)

Untuk daya motor operasional dapat dihitung sesuai dengan pengaturan Frekuensi_{inv} (F_{inv})(Hz). Daya motor operasional dapat dirumuskan:

$$P_x = \left(\frac{F_{inv}}{F_s} \right)^3 \times P$$

Dimana:

P_x = Daya motor operasional (kW)

P = Daya motor nominal (kW)

F_{inv} = Frekuensi inverter (Hz)

F_s = Frekuensi Nominal (Hz)

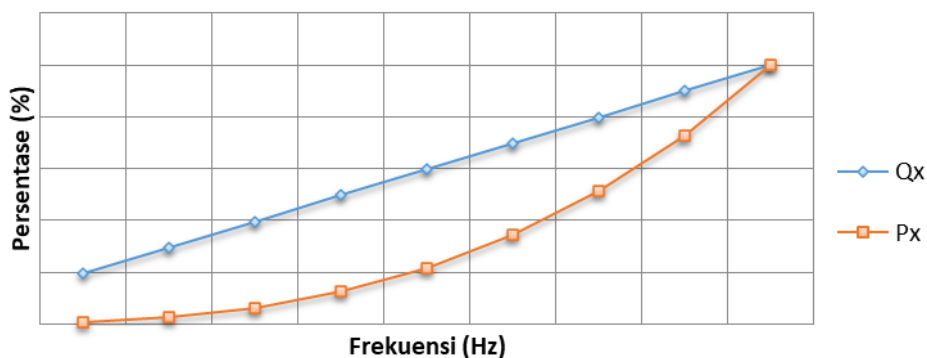
Dari hasil perhitungan didapatkan hubungan antara Frekuensi_{inv} (F_{inv}), Q_x (Kapasitas aliran air operasional pompa (Lt/det)), dan P_x (Daya motor operasional (kW)) yang ditabelkan seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Hubungan antara F_{inv} , Q_x , dan P_x

| No | Frekuensi _{inv} (F_{inv}) (Hz) | Q_x (Kapasitas aliran air operasional pompa (lt/dt)) | P_x (Daya motor operasional) (kW) |
|----|---|--|-------------------------------------|
| 1 | 45 | 156 | 182 |
| 2 | 40 | 139 | 128 |
| 3 | 35 | 121 | 86 |
| 4 | 30 | 104 | 54 |
| 5 | 25 | 86 | 31 |
| 6 | 20 | 69 | 16 |
| 7 | 15 | 51 | 7 |
| 8 | 10 | 34 | 2 |

Tabel 3. Hubungan antara F_{inv} , Q_x , dan P_x dalam (%)

| No | (F_{inv}) (Hz) | Q_x (lt/dt) | P_x (kW) | Q_x (%) | P_x (%) |
|----|--------------------|---------------|------------|-----------|-----------|
| 1 | 50 | 174 | 250 | 100 | 100 |
| 2 | 45 | 156 | 182 | 90 | 73 |
| 3 | 40 | 139 | 128 | 80 | 51 |
| 4 | 35 | 121 | 86 | 70 | 34 |
| 5 | 30 | 104 | 54 | 60 | 22 |
| 6 | 25 | 86 | 31 | 50 | 13 |
| 7 | 20 | 69 | 16 | 40 | 6 |
| 8 | 15 | 51 | 7 | 30 | 3 |
| 9 | 10 | 34 | 2 | 20 | 1 |



Gambar 2. Grafik Pengaruh Perubahan Frekuensi Inverter Terhadap Kapasitas Rata-rata Aliran Air (Q_x) dan Daya Operasional Motor (P_x).

Berdasarkan data analisa sebelumnya didapatkan bahwa kebutuhan kapasitas rata – rata aliran air yang dibutuhkan setiap harinya adalah 148 lt/dt untuk 1 unit pompa, dan berdasarkan Tabel diatas kebutuhan tersebut berada antara 139 lt/det atau 80% s/d 153 lt/det atau 90%, artinya pengaturan kecepatan motor dengan menggunakan *Variable Speed Drive* diatur pada frekuensi antara 40 Hz s/d 45 Hz sehingga daya yang dibutuhkan untuk setiap pompanya bekerja adalah sebesar antara 128 kW atau 51% s/d 182 kW atau 73%.

Besarnya biaya konsumsi daya berdasarkan Tarif Dasar listrik untuk keperluan industri yang ditetapkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah Rp. 1.114, - per kWh, sehingga besarnya biaya konsumsi daya maksimum yang harus dibayar setelah menggunakan pengaturan frekuensi pada *Variable Speed Drive* untuk pengaturan kecepatan motor, dapat dihitung seperti berikut ini:

Jika frekuensi pada VSD pada nilai 45 Hz, daya yang dibutuhkan untuk 1-unit pompa bekerja adalah 182 kW.

- Biaya maksimum per jam = 1 x 182 kW x 1 jam x Rp. 1.114, - = Rp. 202.748, -
- Biaya maksimum per hari = 1 x 182 kW x 1 jam x Rp. 1.114, - x 24 = Rp. 4.865.952, -
- Biaya maksimum per bulan = 1 x 182 kW x 1 jam x Rp. 1.114, - x 24 x 30 = Rp. 145.978.560, -.

Tabel 4. Penghematan biaya operasional pompa sebelum penggunaan VSD dan sesudah penggunaan VSD

| Penggunaan Frekuensi pada 45 Hz | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|---|
| | (F _{inv}) (Hz) | Q _x (Lt/dt) | P _x (kW) | Besarnya konsumsi daya yang harus dibayar setiap bulannya (IDR) |
| Sebelum Penggunaan VSD | 50 | 174 | 250 | 200.520.000 |
| Setelah Penggunaan VSD | 45 | 156 | 182 | 145.978.560 |
| Penghematan | | | | 54.541.440 |
| Penggunaan Frekuensi pada 40 Hz | | | | |
| | (F _{inv}) (Hz) | Q _x (Lt/dt) | P _x (kW) | Besarnya konsumsi daya yang harus dibayar setiap bulannya (IDR) |
| Sebelum Penggunaan VSD | 50 | 174 | 250 | 200.520.000 |
| Setelah Penggunaan VSD | 40 | 139 | 128 | 102.666.240 |
| Penghematan | | | | 97.853.760 |

4. Simpulan

Berdasarkan hasil kajian data, pengolahan data dan analisa pengujian Efisiensi Energi Motor Induksi Tiga Fasa dalam Pendistribusian Air Minum pada SPAM Petanu, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: Kebutuhan kapasitas rata – rata aliran air yang dibutuhkan setiap harinya adalah 148 lt/dt untuk 1 unit pompa. Kebutuhan tersebut berada antara 139 lt/dt s/d 156 lt/dt, artinya pengaturan kecepatan motor dengan menggunakan *Variable Speed Drive* diatur pada frekuensi antara 40 Hz (pemakaian jam non puncak) s/d 45 Hz (pemakaian jam puncak) sehingga daya yang dibutuhkan untuk 1 unit pompa yang bekerja adalah sebesar antara

128 kW s/d 182 kW. Penghematan yang didapat dengan pengaturan kecepatan motor menggunakan *Variable Speed Drive* pada pompa yang bekerja adalah antara 54.541.440,- (45 Hz) s/d 97.853.760,- (40 Hz).

Ucapan Terima Kasih (Opsional)

Tidak lupa kami juga mengucapkan banyak terima kasih kepada SPAM Petanu dan pihak-pihak terkait lainnya yang tidak bisa kami sebutkan disini yang telah membantu terlaksananya penelitian ini. Semoga hasil penelitian yang kami tuangkan didalam publikasi ini bermanfaat baik bagi industri maupun pendidikan.

Daftar Rujukan

- Rasmussen, C. B., Ritchie, E., & Arkkio, A. (1997, July). Variable speed induction motor drive for household refrigerator compressor. In *ISIE'97 Proceeding of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics* (Vol. 2, pp. 655-659). IEEE.
- Anindita, G., Setiawan, E., & Syahid, A. (2016, December). Optimasi Energi pada Motor Induksi 3 Fasa dalam Memproduksi Kebutuhan Air (Studi Kasus di PDAM Karang Pilang Surabaya). In *Seminar MASTER PPNS* (Vol. 1, No. 1, pp. 87-94).
- Syahid, A. (2011). Optimasi Konsumsi Daya Multi Motor Induksi 3 Fasa Penggerak Pompa Air Menggunakan Algoritma Genetika. In *Seminar nasional Pasca Sarjana, ITS*.
- Setiawan, E. (2013). Rancang Bangun Kebutuhan Jam dalam Optimasi Produksi dengan Sistem Inferens Fuzzy Metode Tsukamoto.
- Anindita, G., Setiawan, E., & Syahid, A. (2016, December). Optimasi Energi pada Motor Induksi 3 Fasa dalam Memproduksi Kebutuhan Air (Studi Kasus di PDAM Karang Pilang Surabaya). In *Seminar MASTER PPNS* (Vol. 1, No. 1, pp. 87-94).