

Pengaruh Variable Speed Driver (VSD) Terhadap Konsumsi Energi dan Unjuk Kerja Pompa Air Motor Induksi Satu fasa

Irman^{*1}, Latifah², Hadi Sugiarto³

^{1,2,3} Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak

e-mail: ^{*1}irmanpolnep@gmail.com, ²latifahpolnep1@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan energi listrik di sektor rumah tangga maupun industri semakin meningkat seiring perkembangan teknologi. Pompa air merupakan salah satu peralatan listrik yang banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan distribusi air bersih. Umumnya pompa air menggunakan motor induksi satu fasa dengan kecepatan konstan.

Permasalahan yang muncul adalah konsumsi energi yang tinggi akibat operasi pompa yang tidak selalu sesuai dengan kebutuhan beban. Penggunaan Variable Speed Driver (VSD) mampu mengatur kecepatan putaran motor induksi satu fasa sesuai kebutuhan, diharapkan dapat menghemat energi dan meningkatkan efisiensi kerja pompa.

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan VSD untuk pengaturan putaran motor memperlihatkan bahwa kenaikan putaran pompa berbanding lurus dengan peningkatan daya output, namun tidak selalu linier karena dipengaruhi oleh kerugian sistem, kinerja optimal pompa menggunakan VSD untuk pengaturan putaran terjadi pada kisaran 1200 – 2000 rpm, dimana efisiensi relative stabil dan tinggi (73-74%). Untuk operasi pompa motor induksi satu fasa dengan pengaturan putaran menggunakan VSD yang hemat energi dan unjuk kerja maksimal, pengoperasian pompa berada pada rentang putaran 1200 – 2000 rpm.

Kata Kunci : Pompa, Motor Induksi, VSD, Efisiensi, Daya Output.

Abstract

The demand for electrical energy in both residential and industrial sectors continues to increase in line with technological advancements. Water pumps are among the most widely used electrical equipment to meet the need for clean water distribution. Generally, water pumps use single-phase induction motors that operate at a constant speed.

The main issue that arises is the high energy consumption caused by pump operation that does not always match the load requirements. The use of a Variable Speed Drive (VSD) can regulate the rotational speed of a single-phase induction motor according to demand, which is expected to save energy and improve pump performance efficiency.

Based on research results, the use of VSD for motor speed control shows that an increase in pump speed is directly proportional to an increase in output power, although not always linear due to system losses. The pump's optimal performance using VSD occurs in the speed range of 1200–2000 rpm, where efficiency remains relatively stable and high (73–74%). Therefore, for energy-efficient operation and maximum performance of a single-phase induction motor-driven pump with VSD speed control, the pump should operate within the range of 1200–2000 rpm.

Keywords: Pump, Induction Motor, VSD, Efficiency, Output Power.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan pompa air motor induksi satu fasa sangat umum digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk industri, pertanian dan rumah tangga. Namun, penggunaan pompa air motor induksi satu fasa dapat menyebabkan konsumsi energi yang tinggi dan unjuk kerja yang tidak efisien.

Konsumsi energi listrik didominasi oleh penggunaan motor listrik di industri, transportasi, fasilitas public dan juga rumah tangga. Motor listrik seperti motor induksi satu fasa dengan jenis motor kapasitor running banyak digunakan untuk keperluan rumah tangga sebagai penggerak pada pompa air (Y. Liklikwati, 2020)

Konsumsi energi listrik didominasi oleh penggunaan motor listrik pada industri, transportasi, fasilitas public dan juga rumah tangga (E.R.Septiadi,dkk, 2018)

Konsumsi energi yang besar dari motor induksi tetap menjadi perhatian utama, karena berdampak terhadap biaya operasional dan lingkungan. Aspek krusial ini menjadi relevan mengingat tingkat konsumsi energi motor sangat dipengaruhi oleh kecepatan putarannya (Anijalg, P.,Kallaste,A & Kutt,L,2021)

Variabel Speed Drive (VSD) adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi. Teknologi ini menawarkan solusi yang lebih efisien dan fleksibel dalam mengendalikan putaran motor, yang merupakan komponen krusial dalam banyak proses industri. Penggunaan VSD membuka peluang dalam mengoptimalkan kinerja motor induksi. Teknologi ini memungkinkan penyesuaian dinamis kecepatan putar motor sesuai dengan tuntutan beban yang berpotensi menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi (Alsmadi,Y, Barakat,M & Maaitah,M, 2021)

Dengan memahami korelasi antara kecepatan putar dan konsumsi energi, diharapkan dapat diperoleh informasi berharga untuk memaksimalkan efisiensi energi dan menekan biaya operasional (Dutta.P & Singha.L, 2018). Di era dimana efisiensi energi menjadi prioritas global, optimalisasi konsumsi energy pada sistem motor listrik menjadi isu yang sangat krusial (Goyal.A, Sharma.S & Verma.R, 2022). Mengingat pravalensi penggunaan motor induksi di industri, peningkatan efisiensi energi pada motor jenis ini dapat memberikan dampak penghematan energi yang signifikan secara keseluruhan (IEA, 2021). Pengaturan kecepatan putaran motor menggunakan VSD mampu meningkatkan efisiensi energi secara nyata dibanding dengan metode konvensional (Dutta.P & Singha.L, 2018). Kemampuan VSD untuk mengoptimalkan kecepatan putaran motor sesuai kebutuhan beban tidak hanya menghemat energi, tetapi juga dapat meningkatkan presisi control proses dan mengurangi kebisingan operasional (Huges.A & Drury,B, 2019)

Dari uraian diatas, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya penghematan energi listrik, dan penghematan penggunaan air yang dialirkan menggunakan pompa, serta pemahaman yang lebih mendalam tentang pengaruh VSD terhadap konsumsi energi dan unjuk kerja pompa air motor induksi satu fasa.

2. METODE

Penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penggunaan Variable Speed Driver (VSD), terhadap konsumsi energi dan unjuk kerja motor induksi satu fasa. Untuk itu metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah : Metode eksperimental yaitu dengan melakukan pengukuran konsumsi energi listrik dan unjuk kerja pompa air motor induksi satu fasa, membuat permodelan dan simulasi , melakukan pengukuran arus, tegangan dan putaran dengan menggunakan VSD.

Variable Speed Drive (VSD)

Kebutuhan energi listrik di dunia modern semakin meningkat seiring dengan berkembangnya sektor industri, transportasi, dan rumah tangga. Salah satu peralatan listrik yang banyak digunakan adalah motor listrik, terutama motor induksi, yang berfungsi untuk menggerakkan berbagai sistem mekanis seperti pompa air, kipas, kompresor, dan konveyor. Motor induksi dikenal karena konstruksinya yang sederhana, keandalannya tinggi, serta biaya perawatan yang rendah. Namun,

kelemahan utama motor induksi adalah kecepatannya yang konstan sesuai dengan frekuensi suplai listrik. Dalam banyak aplikasi, beban yang digerakkan tidak selalu memerlukan kecepatan konstan, sehingga penggunaan motor dengan kecepatan tetap sering kali tidak efisien secara energi.

Untuk mengatasi masalah tersebut, digunakanlah Variable Speed Drive (VSD) atau pengatur kecepatan motor yang memungkinkan kecepatan motor diatur sesuai kebutuhan beban. Dengan pengaturan ini, konsumsi energi dapat dikurangi secara signifikan karena daya listrik yang diserap motor sebanding dengan kebutuhan beban aktual. Selain itu, penerapan VSD juga dapat meningkatkan umur peralatan mekanis, mengurangi getaran dan kebisingan, serta memberikan fleksibilitas dalam sistem kontrol industri.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan VSD pada sistem pompa, kipas, atau blower dapat menurunkan konsumsi energi hingga 30–50% dibandingkan sistem konvensional. Oleh karena itu, teknologi VSD menjadi salah satu solusi penting dalam upaya konservasi energi dan efisiensi sistem tenaga listrik di era modern.

Variable Speed Drive (VSD) adalah perangkat yang menggunakan diode untuk menyearahkan tegangan arus bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC), kemudian mengkonversinya kembali menjadi tegangan AC (Ahmed.S, Hassan.M & Hussain.Z, 2022).

Pada umumnya, VSD pertama-tama mengkonversi arus bolak-balik menjadi arus searah melalui rangkaian penyearah terkontrol (inverter). Setelah arus bolak-balik diubah menjadi arus searah, kemudian adalah meratakan bentuk gelombang searah yang masih memiliki riak, dengan menambahkan komponen yang disebut link atau penyearah DC. (Farhan Wahyu Nur Rahman, 2024).

Setelah menjadi tegangan searah yang stabil, langkah selanjutnya adalah mengkonversinya kembali menjadi arus bolak-balik menggunakan rangkain inverter. Rangkaian inverter berperan dalam mengubah arus searah secara bergantian untuk menghasilkan arus bolak-balik. Sebelum akhirnya diaplikasikan pada motor induksi, diperlukan rangkaian modulasi lebar pulsa (PWM). Proses ini bertujuan untuk mengubah arus DC menjadi arus AC dengan frekuensi yang diinginkan (Rivki.M, Ahmad.F & Abdullah.S 2022).

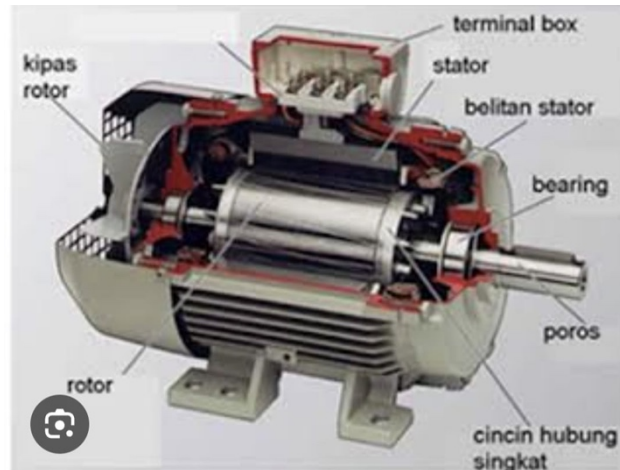
Teknologi VSD telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang karena kemampuannya meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas sistem tenaga. Beberapa aplikasi utamanya antara lain: Sistem Pompa Air dan Blower. VSD memungkinkan pengaturan laju aliran fluida sesuai kebutuhan. Pada pompa sentrifugal, daya yang dibutuhkan berbanding lurus dengan kubik kecepatan poros (hukum affinity). Sehingga penurunan kecepatan 20% dapat mengurangi daya hingga hampir 50%. Hal ini menjadikan VSD sangat efektif untuk aplikasi dengan beban variabel seperti sistem air bersih, pendingin (HVAC), dan irigasi.

Motor Induksi

Motor listrik memiliki fungsi merubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa energi putar. Motor induksi terdiri dari dua komponen utama yaitu rotor yang merupakan bagian berputar dan stator yang merupakan bagian diam. Rotor adalah bagian yang berputar dan berbentuk silinder dan terpasang pada poros motor. Rotor dapat berupa jenis rotor sangkar tupai (squirrel cage) atau rotor belitan (wound rotor). Rotor jenis sangkar tupai lebih banyak digunakan karena konstruksinya lebih sederhana dan lebih tahan lama. Stator adalah bagian yang diam dan mengelilingi rotor. Stator terdiri dari rangka besi yang memiliki slot-slot untuk menempatkan kumparan.

Diantara stator dan rotor terdapat celah udara yang sangat kecil, biasanya hanya beberapa millimeter. Celah udara ini sangat penting karena mempengaruhi motor dan karakteristik torsi.

Pada motor induksi, rotor tidak mendapatkan energi listrik secara langsung, melainkan secara induksi.



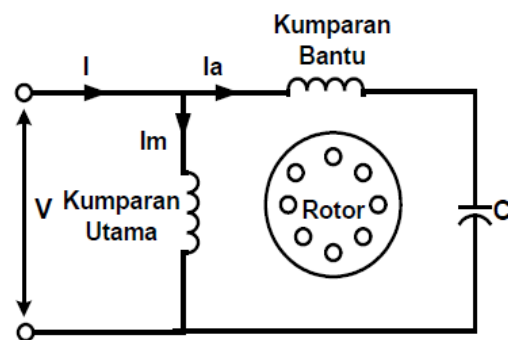
Gambar 1. Konstruksi Motor Induksi

Motor Induksi Satu Fasa

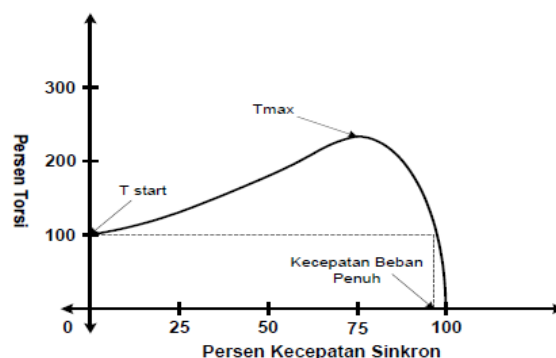
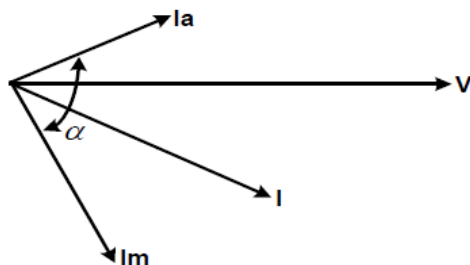
Salah satu jenis dari motor induksi satu fasa adalah jenis permanent split capacitor yang terdapat sedikit perbedaan pada rangkaian ekivalen karena kumparan bantu tidak hanya digunakan saat start tetapi digunakan juga saat berputar (R.Fierdaus, Soeprapto & H.Purnomo, 2013). Motor induksi satu fasa kapasitor permanen tidak mempunyai sakelar sentrifugal (E. Martina, A. Hamzah, and F. Feranita, 2015).



(a)



(b)



Gambar 2. Motor Induksi Satu Fasa Kapasitor permanen

Energi dan Daya Listrik

Energi listrik adalah sejumlah daya listrik yang digunakan atau diserap selama waktu tertentu. Energi listrik dapat ditulis dengan persamaan berikut : (Atmam, E. Zondra, and Zulfahri, 2017)

$$W = P \times t$$

Keterangan:

W = Energi Listrik (Wh)

P = daya (Watt)

t = waktu

Perhitungan daya pada motor induksi satu fasa dapat dihitung dengan menggunakan

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

Keterangan:

P = daya (Watt)

V = tegangan (Volt)

I = arus (Amper)

$\cos\phi$ = factor daya

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan modul pembelajaran dalam penelitian ini:

1. Motor Induksi 1 fasa ; National Panasonic, 220V; 200 watt; 2850 rpm;
 $\cos \phi = 0.8$ (1 buah)
2. VSD inverter 1 fasa 220 VAC, 1HP, 0.75 kW ATV 12H075M2 Schneider
(1 buah)
3. Tang Ampere ; Sanwa Dcm-400Ad AC/DC Clamp Meter 400A (1 buah)

Metode Pengumpulan Data

Data yang ingin didapatkan dalam penelitian ini adalah : Konsumsi energi dan unjuk kerja pompa air dengan dan tanpa menggunakan VSD.

Untuk mendapatkan data-data tersebut dilakukan dengan melakukan pengukuran pada :

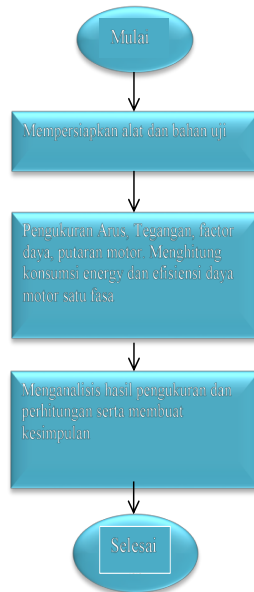
- a. Pengukuran arus, tegangan, factor daya, dan lamanya waktu pompa beroperasi untuk beberapa varian keluaran pompa (debit air liter/detik). Pengukuran ini dilakukan untuk menghitung besarnya konsumsi energi pompa air
- b. Pengukuran dan pengaturan putaran motor, perhitungan daya input dan daya output motor untuk menghitung efisiensi motor.

Metode Analisis Data

Data-data pengukuran yang didapat akan menjadi dasar untuk menghitung dan menganalisis konsumsi energi dan unjuk kerja pompa air motor induksi satu fasa dengan dan tanpa menggunakan VSD.

Tahapan Penelitian

Secara umum tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut :



Gambar 3. Diagram alir Tahapan Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang telah dicapai dalam pelaksanaan penelitian ini berupa data-data hasil pengukuran arus listrik, debit air, dan factor daya ($\cos \phi$) pada beberapa varian kecepatan putaran motor yang diatur menggunakan VSD. Untuk Daya Input, Daya Output, konsumsi energy listrik, dan Efisiensi pompa dihitung berdasarkan hasil pengukuran tersebut.

Tabel 1. Pengukuran Arus, Tegangan, dan Faktor Daya

Putaran (RPM)	Arus (Ampere)	Tegangan (volt)	Faktor Daya ($\cos \phi$)	Daya Input (watt) $P_{in} = V.I.\cos \phi$
1200	0,43	219,8	0,9	85,06
1600	0,58	219,8	0,9	114,74
2000	0,72	219,8	0,9	142,43
2400	0,87	219,8	0,9	172,10
2800	1,01	219,8	0,9	199,80

Tabel 2. Waktu pengisian 50 liter air pada beberapa varian putaran

Putaran (RPM)	Waktu pengisian (detik)	Debit Air (Q) Liter / detik	Daya Output /Daya Pompa $P_h = \rho.g.Q.H$ ($\rho = 1000\text{kg/m}^3$, $g=9,81 \text{ m/s}^2$, $H= 3\text{m}$)
1200	23,36	2,14	62,98
1600	17,48	2,86	84,17
2000	14	3,57	105,07
2400	11,67	3,86	113,60
2800	10,2	4,9	144,21

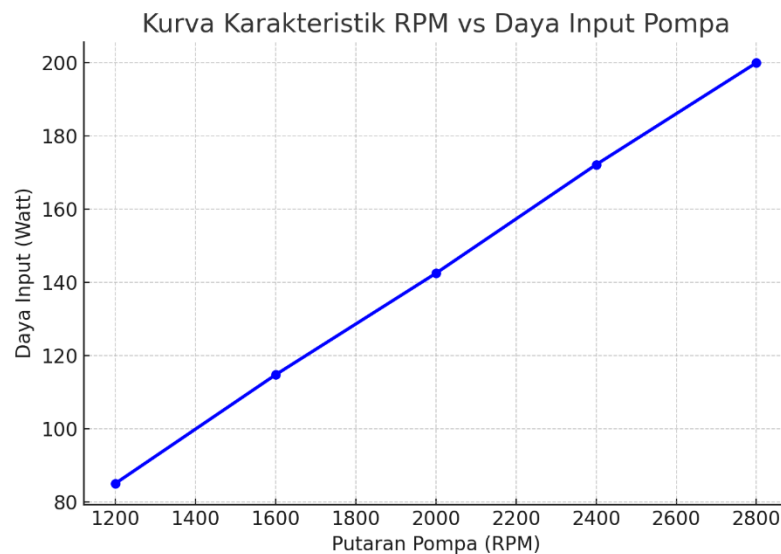
Tabel 3. Efisiensi Pompa

Putaran (RPM)	Daya Input (watt)	Daya Output /Daya Pompa $P_h = \rho.g.Q.H$ ($\rho = 1000\text{kg/m}^3$, $g=9,81 \text{ m/s}^2$, $H= 3\text{m}$)	Efisiensi (%) P_{out} / P_{in}
---------------	-------------------	---	-------------------------------------

	P_{in} $V.I.\cos\phi$	=		
1200	85,06		62,98	74,04
1600	114,74		84,17	73,36
2000	142,43		105,07	73,77
2400	172,10		113,60	66,01
2800	199,80		144,21	72,18

Pembahasan

Berdasarkan data pengkuruan tabel 1, dapat dibuat kurva karakteristik perubahan putaran motor terhadap daya input pompa.



Gambar 4. Kurva Karakteristik RPM vs Daya Input Pompa

Dari gambar 4, memperlihatkan bahwa kenaikan putaran motor (RPM) diikuti juga oleh kenaikan daya input. Dengan kata lain semakin tinggi putaran motor (RPM), semakin besar daya listrik yang dibutuhkan.

Perubahan daya input disetiap kenaikan putaran 400 rpm ditunjukkan pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Perubahan Daya Input Untuk setiap Kenaikan Putran 400 rpm

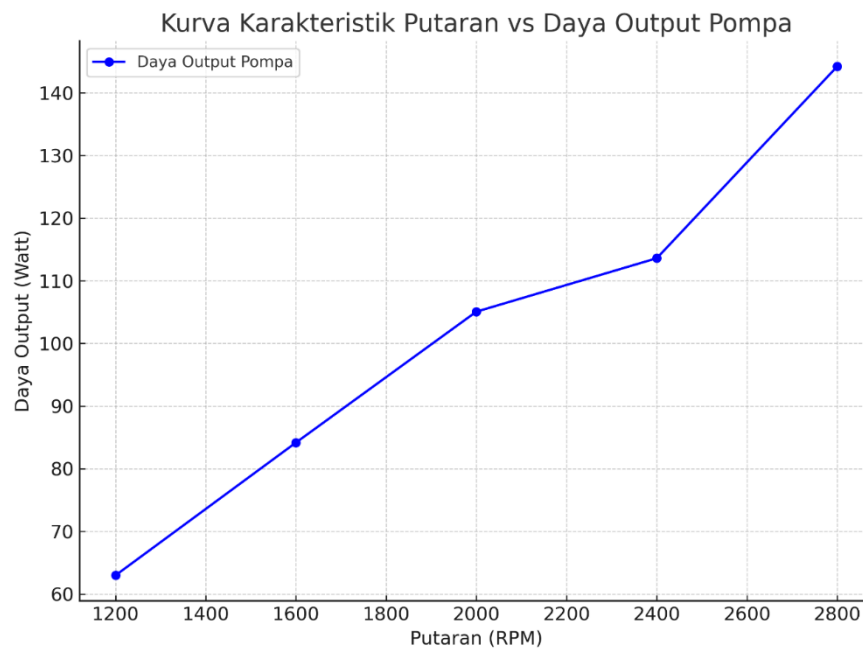
No.	Kenaikan Putaran 400 (rpm)	Perubahan Daya Input (watt)
1	1200 – 1600	29,68
2	1600 – 2000	27,69
3	2000 – 2400	29,67
4	2400 – 2800	27,70
	Rata – rata	28,68

Rata-rata kenaikan daya per 400 rpm adalah 28,68 watt, ini menunjukkan pola pertambahan daya yang relative konstan.

Kurva karakteristik putaran terhadap daya input pompa berdasarkan hasil pengukuran (gambar 5.4) dan tabel 5.1 memperlihatkan bahwa daya input pompa berbanding lurus dengan putaran pompa. Hal ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan putaran akan menyebabkan kenaikan kebutuhan daya listrik dalam proporsi yang hamper sama.

Kenaikan daya input yang relatif stabil per 400 rpm, menunjukkan bahwa pompa bekerja pada zona operasi normal tanpa beban berlebih.

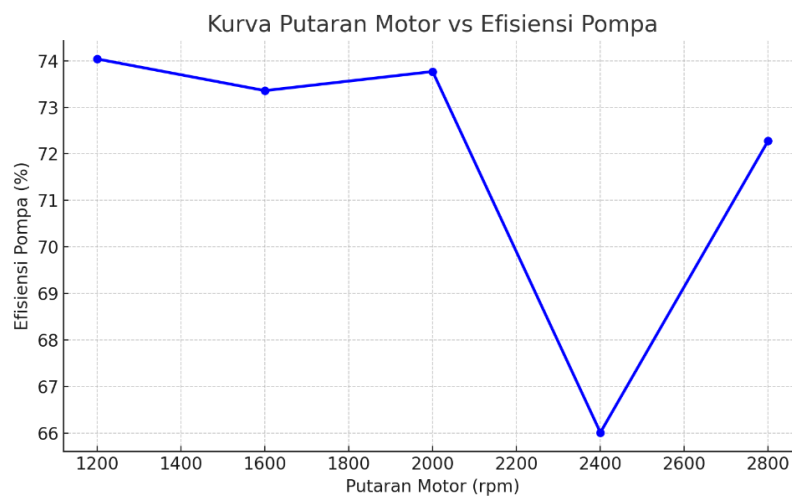
Berdasarkan data pengukuran daya output (watt) terhadap kenaikan putaran (RPM) dapat dibuat kurva karateristik perubahan putaran (RPM) terhadap daya output pompa (watt).



Gambar 5.5 Kurva Karakteristik RPM vs Daya Output Pompa

Dari kurva karakteristik putaran terhadap daya output pompa (gambar 5.5) menunjukkan bahwa kenaikan daya output pompa dari putaran 1200 – 2000 rpm meningkat secara signifikan dari 62,98 watt menjadi 105,07 watt. Hal ini menunjukkan hubungan positif yang cukup linier antara kenaikan putaran dengan daya output. Pada putaran 2400 – 2800 rpm peningkatan daya relatif lebih kecil yaitu sebesar 8,53 watt. Hal ini menunjukkan adanya titik kejenuhan pada performa pompa. Akan tetapi pada 2800 rpm daya output kembali naik cukup besar. Hal ini mengindikasikan bahwa pompa pada putaran tinggi mampu menghasilkan output yang lebih besar.

Dari putaran 1200 rpm hingga 2000 rpm, daya output meningkat secara signifikan dari 62,98 watt menjadi 105,07 watt. Hal ini menunjukkan hubungan positif yang cukup linier antara kenaikan putaran dengan daya output. Pada putaran 2000 rpm ke 2400 rpm, peningkatan daya output relative lebih kecil, sekitar 8,53 watt, namun pada putaran 2800 rpm, yaitu putaran tertinggi pompa, daya output kembali naik cukup besar hingga mencapai 144,21 watt. Hal ini mengindikasikan bahwa pompa pada putaran tinggi mampu menghasilkan output yang lebih besar, walaupun dengan kemungkinan efisiensi yang bervariasi



Gambar 5. Kurva Putaran Motor terhadap efisiensi Pompa

Dari kurva gambar 5., terlihat bahwa efisiensi pompa meningkat pada putaran rendah (1200 – 2000 rpm) dan kemudian mengalami penurunan signifikan pada 2400 rpm sebelum naik kembali pada 2800 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi pompa tidak selalu meningkat seiring dengan kenaikan putaran motor.

Efisiensi tertinggi terjadi pada putaran 1200 rpm sebesar 74,04 % menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah, keseimbangan antara daya input dan daya output cukup optimal. Efisiensi terendah terjadi pada 2400 rpm sebesar 66,01 % yang menunjukkan adanya peningkatan rugi-rugi mekanis dan hidraulik pada kecepatan tinggi.

Pada putaran tinggi rugi gesekan fluida dan turbulensi meningkat sehingga menurunkan efisiensi, sedangkan pada putaran rendah hingga menengah, kondisi aliran fluida lebih stabil dan beban pompa lebih sesuai dengan karakteristik motor, sehingga efisiensi lebih tinggi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran konsumsi energi dan unjuk kerja pompa air motor induksi satu fasa dengan pengaturan putaran menggunakan VSD dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kenaikan putaran pompa berbanding lurus dengan peningkatan daya output, namun tidak selalu linier karena dipengaruhi oleh kerugian sistem.
2. Kinerja optimal pompa menggunakan VSD untuk pengaturan putaran terjadi pada kisaran 1200 – 2000 rpm, dimana efisiensi relative stabil dan tinggi (73-74%).
3. Untuk operasi pompa motor induksi satu fasa dengan pengaturan putaran menggunakan VSD yang hemat energi dan unjuk kerja maksimal, pengoperasian pompa berada pada rentang putaran 1200 – 2000 rpm.

Efisiensi pompa air, dipengaruhi oleh faktor mekanis pompa yang mengakibatkan rugi-rugi hidraulik pada putaran tinggi yang dapat menurunkan efisiensi pompa. Untuk itu perlu dilakukan inspeksi pada impeller, casing, dan saluran hisap/buang. Impeller yang aus atau clearances yang besar dapat meningkatkan turbulensi dan menurunkan efisiensi pada putaran tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alsmadi.Y, Barakat.M & Maaitah.M, (2021), Analysis of Energy Savings Using Variable Speed Drive in Industrial Applications, Energy Reports, 7, 1342-1350
- [2] Anijalg.P, Kallaste.A & Kutt.L, (2021), Impact of Variable Frequency Drives on Energy Consumption in Industrial Applications, Energies, 14(3), 754
- [3] Ahmeds.S, Hassan.M & Hussain.Z, (2022), Energy Efficient Control of Three-Phase Induction Motors Using Variable Speed Drives, Journal of Electrical Engineering & Technology, 17(4), 2135-2145
- [4] Atmam, E. Zondra, and Zulfahri, “Analisis Penggunaan Energi Listrik Pada Motor Induksi Satu Fasa dengan Menggunakan Inverter,” SainETIn J. Sains, Energi, Teknol. dan Ind., vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [5] Dutta.P & Singha.L (2018), Variable Speed Drive Control for Energy Efficiency in Induction Motors, International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 9(4), 1819-1826
- [6] E.R Septiadi, H.Eterudin, D.Setiawan, Studi Penggunaan Energi Listrik Bangunan Menggunakan Raspberry Pi, Seminar nasional cendekiawan, 2018, pp. 225-230
- [7] E. Martina, A. Hamzah, and F. Feranita, “Analisis dan Pemodelan Motor Induksi Kapasitor Permanen dengan Rangkaian Ekuivalen Invers Γ ,” Jom FTEKNIK, vol. 2, no. 2, pp. 1–14, 2015.
- [8] Goyal.A, Sharma.S & Verma. R, (2022), Energy Management in Industrial Motors Using Variable Speed Drives, Energy Procedia, 157, 1123-1128
- [9] Hughes.A & Drury.B, (2019), Electric Motors and Drives Fundamentals Types and Applications, 5th Edition Elsevier.

- [10] IEA, (2021), Energy Efficiency 2021, International Energy Agency, Aviable at : www.iea.org
- [11] R. Fierdaus, Soeprapto, and H. Purnomo, “Pengaruh Bentuk Gelombang SinusTermodifikasi (Modified Sine Wave) Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi Satu Fasa,” J. Mhs. TEUB, vol. 1, no. 1, pp. 0–5, 2013.
- [12] Y. Liklikwati, (2020), Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Satu Fasa Akibat Perubahan Kapasitor, SainETIn (Jurnal Sains, Energi, Teknologi & Industri) Vol 4, No.2, Juni 2020, pp.40-47, ISSN 2548-6888 print, ISSN 2548-9445 On line.