

ANALISIS EFISIENSI ENERGI MOTOR POMPA TIGA FASA DENGAN VARIABLE FREQUENCY DRIVE

Habibie Ryan Gunawan^{1*}, Kurnia Prasetyo¹, Daniel Marbun²

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi energi pada motor pompa induksi tiga fasa dengan membandingkan metode *Direct-On-Line* (DOL) dan *Variable Frequency Drive* (VFD) pada sistem distribusi air di Hotel PT. RAPP. Metode penelitian dilakukan melalui observasi lapangan, pengukuran parameter listrik, serta analisis perhitungan daya dan kecepatan motor selama enam hari pengujian. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya, frekuensi, dan kecepatan putar motor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan VFD mampu menurunkan daya rata-rata dari 4,38 kW pada metode DOL menjadi 2,01 kW. Hal ini menghasilkan penghematan energi sebesar 54,06%. Selain itu, penerapan VFD menyebabkan penurunan kecepatan motor dari 2910 rpm menjadi kisaran 2328–2415 rpm, sehingga motor bekerja sesuai kebutuhan beban aktual. Penurunan arus dari sekitar 7,8 A menjadi 4,6–4,9 A juga menunjukkan berkurangnya beban listrik pada sistem. Dengan demikian, penggunaan VFD terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi serta mendukung pengoperasian motor yang lebih optimal dan ekonomis.

Kata kunci: Motor pompa induksi, Efisiensi, energi, VFD, DOL

1. PENDAHULUAN

Dalam beroperasinya hotel terdapat berbagai masalah sistem kelistrikan yang terjadi mulai dari instalasi ruangan, pendingin dan pengawasan kinerja motor yang ada. Motor listrik merupakan komponen utama dalam berbagai aplikasi industri, mulai dari sistem konveyor maupun pompa. Dalam dunia industri modern, penggunaan motor listrik yang efisien sangat penting untuk mengoptimalkan konsumsi energi dan meningkatkan performa sistem. Oleh karena itu, berbagai metode telah dikembangkan untuk meningkatkan efektivitas kontrol motor guna mengurangi pemborosan energi dan meningkatkan daya tahan perangkat [1].

Pada hotel kebutuhan air harus terjamin selama 24 jam, oleh karena itu mereka harus terus menyuplai air secara terus menerus dengan motor pompa yang bekerja selama 24 jam.

Dengan bekerjanya motor pompa tanpa batas maka energi yang terpakai sangat besar yang akan menyebabkan *overload* terhadap sistem kelistrikan hotel. Oleh karena itu dibuatlah sistem pengendalian dengan menggunakan (*Variable Frequency Drive*) VFD guna mengatur frekuensi motor untuk menciptakan efisiensi energi. *Variable Frequency Drive* (VFD), atau sering disebut inverter, adalah perangkat yang umum digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor induksi tiga fase. Prinsip kerjanya melibatkan manipulasi frekuensi tegangan masukan melalui pengaturan *Pulse Width Modulation* (PWM) dalam sistem kendali.

OPEN ACCESS

Afiliasi:

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

²PT. Andalan Pulp and Paper, Riau, Indonesia

Korespondensi:

Email: habibie.ryan5298@student.unri.ac.id

Diterima Redaksi:

15-04-2026

Selesai Revisi:

06-05-2026

Diterbitkan Online:

07-05-2026

Cara Mengutip Artikel ini (IEEE):

Habibie Ryan Gunawan¹, Kurnia Prasetyo², Daniel Marbun³, “ Analisis Efisiensi Energi Motor Pompa Tiga Fasa Dengan Variable Frequency Drive pada Hotel Unigraha Pt. Riau Andalan Pulp And Paper (RAPP)”, *J. Electo*, vol. 1, no. 02, pp. 13–26, May 2026.

This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Lebar pulsa yang berbeda menghasilkan tegangan rata-rata yang bervariasi, sehingga memungkinkan pengendalian kecepatan putaran motor. Penggunaan VFD dapat meningkatkan efisiensi operasional motor dengan menyesuaikan kecepatan putaran sesuai beban kerja. Hal ini berkontribusi pada penghematan energi yang signifikan, dengan potensi pengurangan konsumsi listrik motor mencapai 30-60% dalam berbagai aplikasi. *Variable Frequency Drive* (VFD) digunakan secara luas dalam pengendalian motor induksi 3-fasa, terutama dalam industri yang membutuhkan variabilitas kecepatan seperti sistem pompa dan conveyor. Dengan mengatur frekuensi serta tegangan keluaran, VFD dapat meningkatkan efisiensi energi serta mengurangi konsumsi daya secara signifikan. Teknologi ini memungkinkan motor bekerja pada kecepatan optimal sesuai dengan beban kerja, sehingga menghindari konsumsi daya berlebih dan memperpanjang umur peralatan listrik yang digunakan dalam sistem industri [1][2].

Penulisan ini melakukan analisa efisiensi energi pada salah dua motor listrik yang menggunakan VFD atau tanpa VFD (DOL). Penulisan ini dilakukan oleh penulis pada sebuah hotel pada kompleks PT. RAPP, sehingga penulis mengambil data dari hotel tersebut. Dalam suatu penulisan senantiasa dibutuhkan sejumlah dukungan yang bersaal dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penulisan ini.

Fuad, Cahyono, 2024, melakukan studi komparatif mengenai konsumsi energi motor induksi tiga fasa pada mesin moulding di PT. Seijin Lestari Furniture dengan membandingkan penggunaan kontaktor dan *Variable Frequency Drive* (VFD). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kontaktor menyebabkan lonjakan arus awal yang tidak efisien dan biaya operasional yang tinggi, mencapai Rp7.430.400 per bulan. Namun, dengan mengganti sistem kendali menjadi VFD, terjadi penghematan energi yang signifikan sehingga biaya operasional dapat ditekan menjadi Rp3.611.250 per bulan [3].

Fakhri dkk., 2022 menganalisis pengaruh kendali putar motor induksi tiga fasa menggunakan VFD Siemens untuk mengatasi kelemahan sistem *Direct-On-Line* (DOL) yang memiliki arus starting tinggi dan kecepatan konstan. Melalui sinkronisasi parameter motor pada VFD, ditemukan bahwa konsumsi energi listrik berbanding lurus dengan kecepatan putar motor. Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa pengoperasian motor pada *set point* kecepatan 10% mampu menghemat energi hingga 9 kali lebih besar dibandingkan dengan pengoperasian pada kecepatan maksimum (100%), yang membuktikan bahwa VFD sangat efektif untuk penghematan energi berkelanjutan di industri manufaktur [4].

Khamdun, 2025 membahas perbandingan efisiensi antara teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) dan VFD dalam pengendalian motor listrik untuk mengoptimalkan performa industri. Meskipun teknik PWM memiliki keunggulan dalam hal kesederhanaan dan biaya implementasi yang rendah, metode ini berisiko meningkatkan harmonisa yang dapat mempercepat degradasi motor. Sebaliknya, penggunaan VFD terbukti secara signifikan lebih efisien dalam mengurangi konsumsi daya serta memberikan stabilitas torsi yang lebih baik dibandingkan teknik PWM, sehingga menjadi solusi yang lebih ideal untuk aplikasi industri yang membutuhkan variabilitas kecepatan dan efisiensi energi yang tinggi [2].

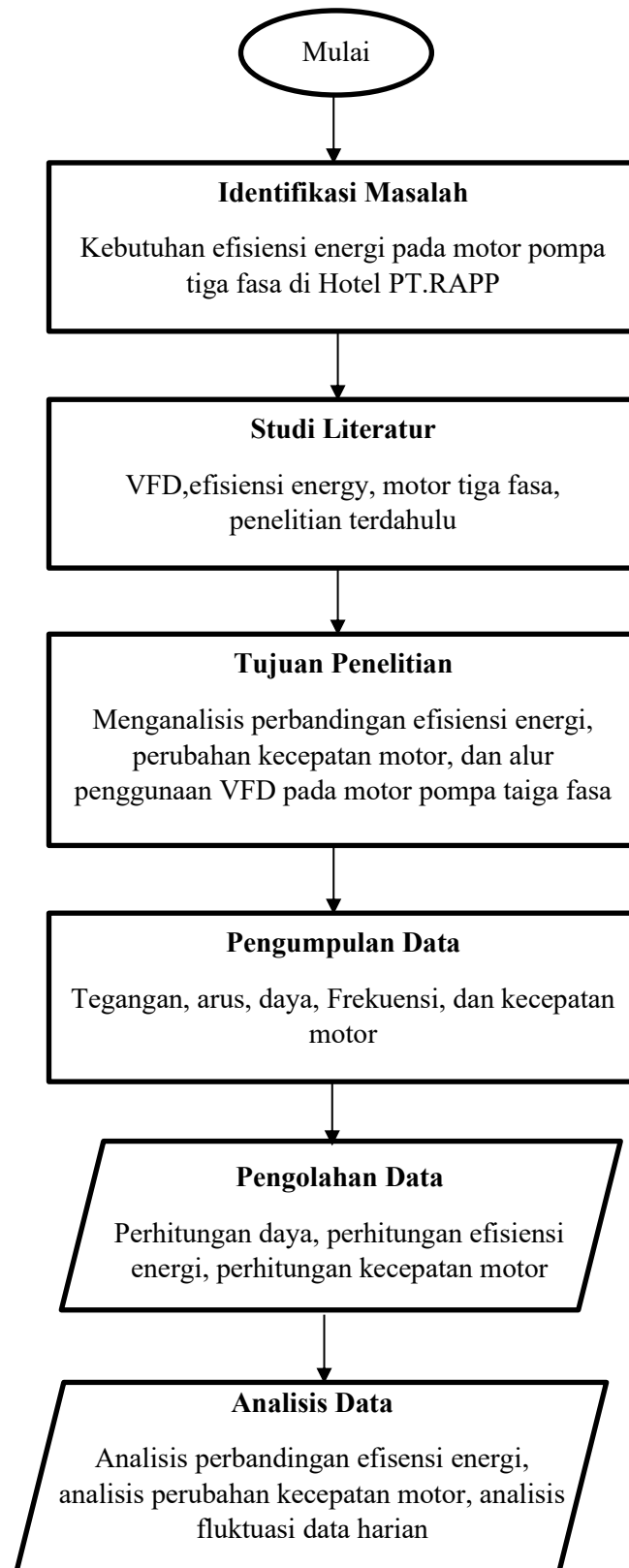
2. METODE PENELITIAN

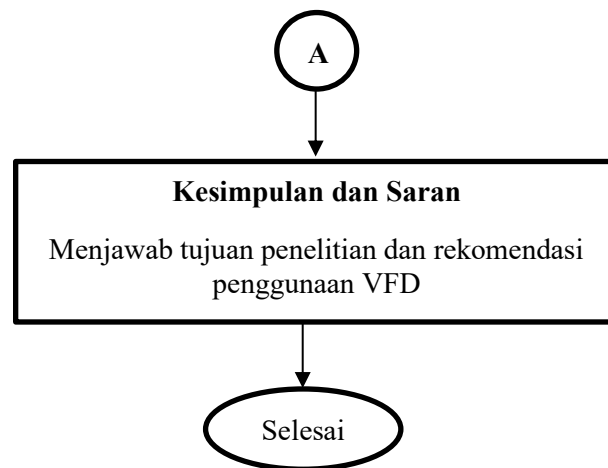
2.1 Desain Penelitian

Metode kegiatan dilakukan melalui observasi langsung di lapangan melalui pengukuran, monitoring dan pencatatan data alat yang ingin diteliti. Motor pompa induksi tersebut memiliki spesifikasi 400 volt, frekuensi 50 Hz dan arus 4,6 A. Dimana melakukan perbandingan efisiensi energi motor pompa induksi langsung dengan rangkaian *Direct-On-Line* (DOL) dan motor pompa induksi yang menggunakan kendali *Variable Frequency Drive* (VFD).

Tahapan kegiatan penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 bertujuan untuk melakukan observasi langsung terhadap instrumen yang akan dilakukan penelitian. Yang mana terdapat salah dua motor yang diteliti. Kemudian dilakukan pencatatan data nameplate motor, pengukuran tegangan dan arus pada motor induksi DOL dan melakukan monitor langsung pada motor yang menggunakan VFD, pada monitor VFD

yang ada. Setelah dilakukan pengumpulan data lalu dilakukanlah perhitungan perbandingan daya yang digunakan dan perbedaan kecepatan yang ada pada motor.





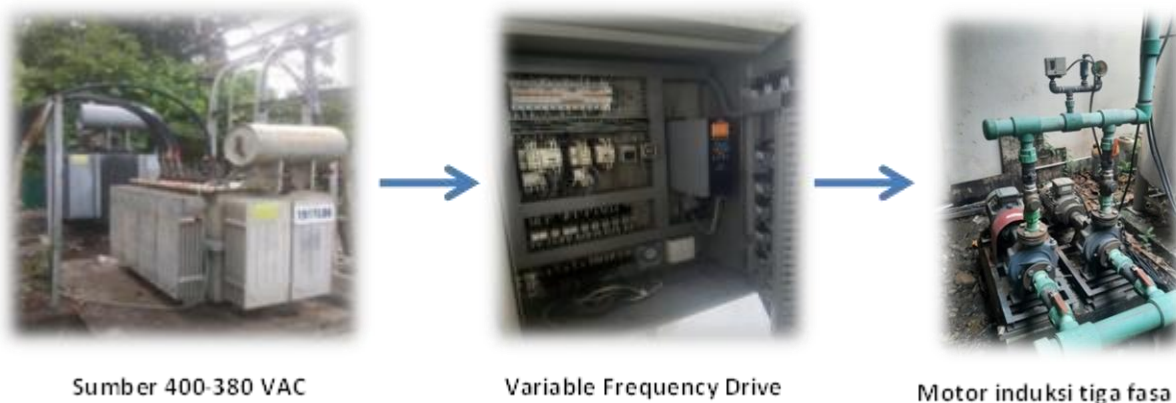
Gambar 1. Flowchart Penulisan

Flowchart pada Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian yang dilakukan secara sistematis, dimulai dari identifikasi masalah terkait konsumsi energi pada motor pompa induksi tiga fasa. Tahap selanjutnya adalah studi literatur untuk mendukung dasar teori penelitian. Setelah itu dilakukan observasi lapangan dan pengumpulan data berupa parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan frekuensi pada dua metode pengendalian, yaitu Direct-On-Line (DOL) dan Variable Frequency Drive (VFD).

Data yang diperoleh kemudian diolah melalui perhitungan daya input dan kecepatan motor untuk masing-masing metode. Hasil perhitungan selanjutnya dianalisis untuk membandingkan tingkat efisiensi energi antara sistem DOL dan VFD. Tahap akhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan.

2.2 Blok Sistem Motor Pompa Induksi dengan VFD

Sebelum melakukan perhitungan efisiensi energi dan perubahan kecepatan motor saat menggunakan VFD, maka diperlukan digram blok bagaimana cara kerja motor induksi menggunakan VFD seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Diagram blok ini dimulai dari sumber PLN hingga ke motor.



Gambar 2. Blok Diagram Penggunaan VFD Pada Motor Induksi Tiga Fasa

Gambar 2 menunjukkan blok diagram sistem pengendalian motor pompa induksi tiga fasa menggunakan Variable Frequency Drive (VFD). Sumber tegangan AC tiga fasa dari jaringan PLN dengan kisaran 380–400 VAC dialirkan ke panel kontrol yang terdiri dari MCB, kontaktor, timer, dan VFD.

Tegangan AC tersebut selanjutnya masuk ke VFD untuk dikonversi melalui proses penyearahan (rectifier) menjadi tegangan DC, kemudian diubah kembali menjadi tegangan AC dengan frekuensi yang dapat diatur melalui inverter. Keluaran dari VFD digunakan untuk menggerakkan motor induksi tiga fasa.

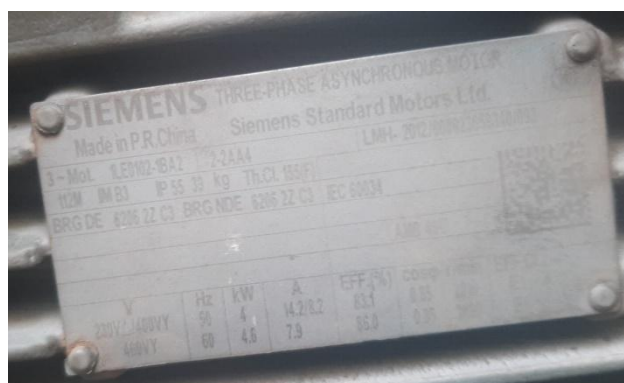
Dengan adanya pengaturan frekuensi pada VFD, kecepatan putaran motor dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban, sehingga mampu meningkatkan efisiensi energi serta mengurangi konsumsi daya listrik.

2.3 Spesifikasi Alat

Variable Frequency Drive (VFD) merupakan perangkat pengendali kecepatan motor induksi yang bekerja berdasarkan prinsip konversi daya AC-DC-AC. Tegangan AC dari sumber disearahkan menjadi DC melalui rectifier, kemudian diubah kembali menjadi AC menggunakan inverter dengan teknik pensaklaran seperti Pulse Width Modulation (PWM). Dengan mengatur frekuensi keluaran, kecepatan putar motor dapat disesuaikan dengan beban aktual, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi rugi-rugi daya pada sistem[5].



Gambar 3. (a) Bentuk Fisik VFD dan (b) Spesifikasi VFD



Gambar 4. *Nameplate* Motor Pompa Induksi Tiga Fasa

Selanjutnya dilakukan pencatatan spesifikasi motor melalui *nameplate* yang telah ada. Kemudian di rangkum dan dijelaskan pada tabel dibawah untuk nantinya dilakukan perhitungan. Motor pompa induksi SIEMENS yang tertera pada tabel *nameplate* memiliki model 1LE0102-1BA22-2AA4 dan termasuk dalam kategori motor efisiensi standar (IE1). Motor ini dapat bekerja pada frekuensi 50 Hz dan 60 Hz, dengan arus 14.2 A pada kondisi delta (Δ) dan 8.2 A pada kondisi wye (Y) . Efisiensi motor mencapai 83.1 % pada 50 Hz, dengan faktor daya ($\cos\phi$) sebesar 0.85. Kemudian daya 4 kW pada frekuensi 50 Hz dan 4,6 kW pada frekuensi 60 Hz . Motor ini memiliki kecepatan putaran 2910 rpm pada frekuensi 50 Hz dan 3490 rpm pada frekuensi 60 Hz dan tingkat perlindungan IP55, yang berarti tahan terhadap debu serta semprotan air dari segala arah. Selain itu, motor ini menggunakan bantalan 6206 2Z C3 di sisi penggerak (BRG DE) dan 6206 2Z C3 di sisi non-penggerak (BRG NDE), serta memiliki berat bersih motor ini adalah 39 kg.

Tabel 1. Data Motor Pompa Induksi Tiga

Parameter	Nilai
Merk	SIEMENS
Model	1LE0102-1BA22-2AA4
Tegangan (V)	230 Δ / 400 Y
Frekuensi (Hz)	50 / 60
Daya (kW)	4 / 4.6
Arus (A)	14.2 / 8.2
Efisiensi (%)	83.1(100%)-50Hz
Faktor Daya ($\cos\phi$)	0.85
Kecepatan (rpm)	2910 / 3490
Kelas Efisiensi	IE1
Kelas Perlindungan (IP)	IP55
Tipe Bantalan	DE 6206 2Z C3, NDE 6206 2Z C3
Berat Bersih (Kg)	39

2.4 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga jenis, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah metode pengendalian motor, yaitu Direct-On-Line (DOL) dan Variable Frequency Drive (VFD). Variabel ini dipilih untuk mengetahui pengaruh metode pengendalian terhadap konsumsi energi dan kinerja motor pompa.

Variabel terikat merupakan parameter yang dipengaruhi oleh metode pengendalian, yaitu daya listrik (kW) dan kecepatan putar motor (rpm). Kedua parameter ini digunakan sebagai indikator dalam menentukan tingkat efisiensi energi sistem.

Variabel kontrol adalah faktor-faktor yang dijaga konstan selama penelitian, meliputi spesifikasi motor induksi tiga fasa yang digunakan, kondisi beban pompa, serta waktu pengambilan data. Pengendalian variabel ini bertujuan untuk memastikan bahwa perubahan yang terjadi pada variabel terikat disebabkan oleh perbedaan metode pengendalian yang digunakan.

Dengan penentuan variabel tersebut, penelitian ini dapat menganalisis secara sistematis pengaruh penggunaan Variable Frequency Drive terhadap efisiensi energi dan kinerja motor pompa induksi tiga fasa.

2.5 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini berupa alat ukur untuk memperoleh data parameter listrik pada motor pompa induksi tiga fasa. Pengukuran dilakukan pada dua kondisi, yaitu motor yang beroperasi menggunakan metode Direct-On-Line (DOL) dan motor yang menggunakan Variable Frequency Drive (VFD).

Pada metode Direct-On-Line (DOL), pengukuran tegangan dan arus dilakukan secara langsung menggunakan multimeter digital dan clamp meter. Pengukuran dilakukan pada sisi input motor untuk memperoleh nilai tegangan antar fasa dan arus yang mengalir pada masing-masing fasa.

Sementara itu, pada motor yang menggunakan Variable Frequency Drive (VFD), parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan frekuensi diperoleh melalui fitur monitoring yang tersedia pada display VFD. Data yang ditampilkan pada VFD digunakan sebagai acuan dalam analisis karena telah terintegrasi dengan sistem pengukuran internal perangkat. Proses pengukuran ditunjukkan pada Gambar 5.

Penggunaan kedua metode pengukuran ini bertujuan untuk memperoleh data yang akurat dan dapat dibandingkan secara langsung dalam menganalisis efisiensi energi pada sistem motor pompa induksi tiga fasa. Alat ukur yang digunakan memiliki tingkat akurasi standar industri, sehingga data yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi operasional sistem secara aktual.



Gambar 5. (a) Clamp meter pengukuran tegangan dan arus motor DOL dan (b) Monitor VFD parameter pengukuran motor dengan VFD

2.6 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Observasi awal
Dilakukan pengamatan terhadap sistem motor pompa induksi tiga fasa untuk memahami kondisi operasional serta metode pengendalian yang digunakan, yaitu Direct-On-Line (DOL) dan Variable Frequency Drive (VFD).
2. Pencatatan spesifikasi alat
Data spesifikasi motor dan VFD dikumpulkan berdasarkan informasi nameplate dan data teknis perangkat yang digunakan sebagai dasar dalam analisis.
Pengukuran pada metode DOL
3. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan secara langsung menggunakan alat ukur pada motor yang beroperasi dengan metode Direct-On-Line (DOL). Pengukuran dilakukan pada sisi input motor untuk mendapatkan nilai tegangan antar fasa dan arus.
4. Monitoring pada metode VFD
Parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan frekuensi pada motor yang menggunakan VFD diperoleh melalui monitoring pada display VFD secara real-time selama motor beroperasi.
5. Pengambilan data berkala

Pengumpulan data dilakukan selama enam hari dengan interval waktu tertentu untuk memperoleh variasi kondisi operasional sistem.

6. Pengolahan data

Data yang diperoleh kemudian diolah dengan menghitung daya input dan kecepatan motor menggunakan persamaan yang telah ditentukan sebagai dasar analisis.

2.7 Perhitungan dan Analisis

Analisis data dilakukan dengan menghitung daya input dan kecepatan motor berdasarkan data hasil pengukuran. Perhitungan ini bertujuan untuk membandingkan kinerja motor pada metode Direct-On-Line (DOL) dan Variable Frequency Drive (VFD). Maka dari itu dilakukan perbandingan nilai daya pada kedua motor yang menggunakan metode DOL dan VFD dengan persamaan (1).

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

Dimana P adalah daya aktif atau daya input (watt), V adalah tegangan input antar fasa (volt), I adalah arus input antar fasa (ampere) dan $\cos \varphi$ adalah faktor daya atau faktor beban. Kemudian dilakukan perhitungan perubahan kecepatan akibat penggunaan dua metode yang ada karena perubahan frekuensi yang dilakukan pada motor yang menggunakan VFD, maka dilakukan perhitungan seperti persamaan (2).

$$n = \frac{120 \times f}{P} \times (1 - s) \quad (2)$$

Dimana P adalah jumlah kutub motor, f adalah frekuensi motor (Hz), s adalah slip dan n adalah kecepatan motor (RPM). Sebelum dilakukan perhitungan kecepatan dilakukan perhitungan slip motor induksi tersebut dengan data *nameplate* yang telah ada.

Sebelum mencari kecepatan sinkron aktual maka harus mencari beberapa nilai variabel yang belum diketahui yaitu jumlah kutub motor. Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi tiga fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan (3) [6] [7].

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (3)$$

Dimana N_s adalah kecepatan sinkron (rpm), f adalah frekuensi (Hz) dan P adalah jumlah kutub. Maka dari rumus kecepatan sinkron diatas dapat disederhanakan menjadi rumus untuk mencari jumlah kutub pada motor induksi, sehingga didapatkan jumlah kutub motor tersebut dengan kecepatan sinkron dan frekuensi yang telah diketahui dengan menggunakan persamaan (4).

$$P = \frac{120 \times f}{N_s} \quad (4)$$

$$P = \frac{120 \times 50}{3000}$$

$$P = \frac{6000}{3000}$$

$$P = 2 \text{ Kutub}$$

Maka didapatkan jumlah kutub motor tersebut adalah 2 kutub dari nilai frekuensi 50 HZ dan kecepatan sinkron motor 3000 rpm. Setelah mendapatkan nilai variabel jumlah kutub motor, maka variabel yang harus diketahui yaitu S atau slip. Slip merupakan hasil nilai dari perbedaan kecepatan medan putar stator (N_s) dan rotor (N_r). Yang kemudian medan putar stator tersebut akan memotong konduktor – konduktor pada rotor,

sehingga terinduksi arus dan sesuai dengan hukum Lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator [6][8].

$$Slip = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (5)$$

$$Slip = \frac{3000 - 2910}{3000}$$

$$Slip = 0,03$$

$$\%Slip = 0,03 \times 100\%$$

$$\%Slip = 3\%$$

2.8 batasan dan Asumsi

Penelitian ini memiliki beberapa batasan agar ruang lingkup pembahasan tetap terarah, yaitu:

1. Analisis hanya difokuskan pada parameter listrik yang meliputi tegangan, arus, daya, dan frekuensi pada motor pompa induksi tiga fasa.
2. Penelitian tidak mempertimbangkan faktor mekanis seperti efisiensi pompa, losses akibat gesekan, dan kondisi mekanik sistem secara keseluruhan.
3. Pengambilan data dilakukan dalam periode waktu terbatas selama enam hari, sehingga belum merepresentasikan variasi kondisi operasional jangka panjang.
4. Penelitian hanya dilakukan pada satu jenis motor induksi tiga fasa dengan spesifikasi tertentu sehingga hasil tidak dapat digeneralisasi untuk semua jenis motor.

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kondisi beban pompa selama pengambilan data dianggap relatif stabil.
2. Faktor daya motor dianggap konstan selama proses pengukuran.
3. Sistem beroperasi dalam kondisi normal tanpa gangguan atau kerusakan.
4. Data yang diperoleh dari alat ukur dan display VFD dianggap akurat dan dapat mewakili kondisi sebenarnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil perbandingan efisiensi energi dan perubahan kecepatan motor antara metode DOL dan menggunakan VFD

3.1 Data Motor Induksi Menggunakan VFD

Pengambilan data yang terdiri dari frekuensi, daya, tegangan dan arus motor induksi yang bekerja menggunakan VFD dilakukan selama enam hari. Data tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Motor Pompa Induksi 3 Fasa dengan Menggunakan VFD

NO	Waktu	Type Motor Induksi	Frekuensi	Daya (kW)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1	05/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS Type 1LE0102-1BA22-2AA4	41,5	2,12	332	4,96
2	06/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS Type 1LE0102-1BA22-2AA4	41,0	2,02	328	4,82

3	07/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	41,0	2,01	328	4,81
4	08/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	41,5	2,13	332	4,95
5	09/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	40,5	1,91	324	4,68
6	10/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	40,0	1,84	320	4,62

3.2 Data Motor Induksi Tanpa Menggunakan VFD (DOL)

Data pengukuran tegangan dan arus pada saat motor induksi bekerja tanpa VFD , pengukuran tegangan RST dan arus dilakukan menggunakan alat ukur multimeter yang dilakukan selama enam hari. Data pengukuran ditunjukan pada Tabel 3. Dari pengukuran tegangan RST diatas kemudian dilakukan rata rata hasil tiga pengukuran tersebut per hari dan juga mengukur arus pada motor kondisi tanpa menggunakan VFD (DOL). Karena motor bekerja dengan beban parsial maka didapatkan nilai faktor daya 0,81 dari nilai faktor daya yang tertera pada nameplate 0,83.

Tabel 3. Data Motor Pompa induksi 3 Fasa Tanpa Menggunakan VFD (DOL)

NO	Waktu	Type Motor Induksi	Cos Phi	Tegangan (V)	Arus (Ampere)
1	05/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	0,81	402,9	7,82
2	06/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	0,81	401,2	7,78
3	07/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	0,81	400,1	7,85
4	08/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	0,81	399,8	7,80
5	09/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	0,81	399,5	7,77
6	10/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	0,81	398,9	7,83

Dari data yang telah ada maka dapat dicari daya input motor dengan metode tanpa VFD (DOL). Perhitungan dilakukan sebagai parameter perbandingan dengan motor yang menggunakan VFD. Maka didapatkan data daya input motor dari hari pertama hingga hari keenam :

Daya pada hari Pertama

$$P_{IN} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\theta$$

$$P_{IN} = \sqrt{3} \cdot 402,9,7,82 \cdot (0,81)$$

$$P_{IN} = 4,42 \text{ Kw}$$

Kemudian data hasil perhitungan daya input motor pada hari kedua hingga hari keenam ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Daya Input Motor Pompa Induksi 3 Fasa DOL Hari Kedua hingga Hari Keenam

Hari	Waktu	Type Motor Induksi	P_{IN} (kW)
2	06/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS Type 1LE0102-1BA22-2AA4	4,38
3	07/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS Type 1LE0102-1BA22-2AA4	4,41
4	08/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS Type 1LE0102-1BA22-2AA4	4,38
5	09/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS Type 1LE0102-1BA22-2AA4	4,35
6	10/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS Type 1LE0102-1BA22-2AA4	4,38

3.3 Perhitungan Efisiensi Energi

Kemudian dilakukan perhitungan efisiensi energi pada motor pompa tersebut. Perhitungan ini tujuannya untuk melihat seberapa besar penghematan listrik yang kita dapatkan setelah menggunakan VFD yang dibandingkan dengan sistem motor induksi DOL.

Dari data yang ada untuk penghitungan efisiensinya dari data daya dalam enam hari yang ada pada kedua kondisi motor dirata-ratakan sehingga mendapatkan nilai seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Daya Rata – Rata Motor Pompa Induksi 3 Fasa Hari Pertama hingga Hari Keenam

Hari	Daya VFD (kW)	Daya DOL (kW)
1	2,12	4,42
2	2,02	4,38
3	2,01	4,41

4	2,13	4,38
5	1,91	4,35
6	1,84	4,38
Rata - Rata	2,01	4,38

Dari kedua perhitungan diatas, kemudian menghitung persentase efisiensi energinya dengan rumus:

$$E_1 = 2,01 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 48,24 \text{ kWh}$$

$$E_2 = 4,38 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 105 \text{ kWh}$$

$$\text{persentase} = \frac{E_2 - E_1}{E_2} \times 100\%$$

$$\text{persentase} = \frac{105 - 48,24}{105} \times 100\%$$

$$\text{persentase} = 54,06 \%$$

Dari perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa dengan penggunaan *Variable Frequency Drive* pada motor pompa induksi dapat menghemat energi hingga 54,06 %. Dari data *nameplate* motor, bahwa motor yang diuji merupakan motor kelas IE1 yang sesuai dengan standar IEC 60034-30-1. Dengan implementasi menggunakan VFD, sistem tersebut berhasil mencapai penghematan energi sebesar 54% yang secara sistem motor induksi yang menggunakan VFD merujuk pada pemenuhan kriteria efisiensi IES2 menurut standar IEC 61800-9-2 [9][10][11].

Penurunan daya pada sistem yang menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dibandingkan dengan metode *Direct-On-Line* (DOL) disebabkan oleh kemampuan VFD dalam mengatur frekuensi dan tegangan sesuai dengan kebutuhan beban. Pada sistem DOL, motor beroperasi pada kecepatan nominal secara konstan sehingga konsumsi daya tetap tinggi meskipun beban tidak maksimum. Sebaliknya, pada sistem VFD, kecepatan motor disesuaikan dengan kondisi aktual sehingga daya yang digunakan menjadi lebih efisien.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) mampu mengurangi konsumsi energi secara signifikan dibandingkan metode konvensional *Direct-On-Line* (DOL) [3]. Selain itu, penelitian oleh Fakhri dkk. [4] menunjukkan bahwa konsumsi daya berbanding lurus dengan kecepatan motor, sehingga penurunan frekuensi pada VFD secara langsung berkontribusi terhadap penghematan energi.

Berdasarkan data pengukuran selama enam hari, terdapat fluktuasi kecil pada nilai daya dan arus baik pada sistem DOL maupun VFD. Fluktuasi ini disebabkan oleh variasi kebutuhan beban pompa yang dipengaruhi oleh tingkat konsumsi air pada waktu tertentu. Meskipun demikian, secara keseluruhan tren menunjukkan bahwa sistem VFD tetap menghasilkan konsumsi daya yang lebih rendah dibandingkan dengan metode DOL pada seluruh periode pengamatan.

3.4 Perhitungan Kecepatan Motor Induksi Pengaruh VFD

Dalam penggunaan VFD kecepatan motor pompa induksi dapat diatur sesuai dengan beban yang dibutuhkan sehingga tidak terjadi panas berlebih pada motor pompa induksi sehingga merusaknya. Disini dilakukan perhitungan kecepatan motor pompa pengaruh VFD.

Pada data yang ada, dilakukan pengujian hitung kecepatan motor pada hari pertama hingga hari keenam akibat pengaruh VFD, untuk menguji apakah terjadinya penurunan tegangan akibat kendali frekuensi.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus perhitungan kecepatan sinkron motor aktual yang telah dijelaskan sebelumnya. Yang dimana slip motor yang didapatkan sebesar 3%. Maka dari itu didapatkan hasil perubahan kecepatan motor dengan menggunakan VFD selama yang dilakukan pengujian selama enam hari.

a. Kecepatan motor pada hari Pertama

$$n = \frac{120 \times f}{p} \times (1 - s)$$

$$n = \frac{120 \times 41,5}{2} \times (1 - 0,03)$$

$$n = 2490 \times 0,97$$

$$n = 2415 \text{ RPM}$$

Kemudian data hasil perhitungan kecepatan motor dengan VFD pada hari kedua hingga hari keenam ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kecepatan Motor Pompa Induksi 3 Fasa Dengan VFD Hari Kedua hingga Hari Keenam

Hari	Waktu	Type Motor Induksi	<i>n</i> (RPM)
2	06/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	2386
3	07/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	2386
4	08/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	2415
5	09/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	2357
6	10/01/2026	Motor Induksi 3 fasa SIEMENS <i>Type</i> 1LE0102-1BA22-2AA4	2328

Penurunan kecepatan motor pada sistem VFD dari 2910 rpm menjadi kisaran 2328–2415 rpm menunjukkan bahwa motor tidak selalu beroperasi pada kondisi maksimum. Hal ini berpengaruh langsung terhadap penurunan konsumsi daya, karena daya listrik yang dibutuhkan motor berbanding lurus dengan kecepatan putar. Dengan demikian, pengaturan frekuensi oleh VFD memungkinkan motor bekerja lebih efisien sesuai kebutuhan beban.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penggunaan Variable Frequency Drive (VFD) pada motor pompa induksi tiga fasa terbukti mampu meningkatkan efisiensi energi dibandingkan dengan metode Direct-On-Line (DOL). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya rata-rata motor pada sistem DOL sebesar 4,38 kW, sedangkan pada sistem VFD sebesar 2,01 kW, sehingga diperoleh penghematan energi sebesar 54,06%.

Selain itu, penggunaan VFD memungkinkan pengaturan kecepatan motor sesuai dengan kebutuhan beban, dimana kecepatan motor menurun dari kondisi nominal 2910 rpm menjadi kisaran 2328–2415 rpm. Penurunan ini berdampak pada berkurangnya arus motor dari sekitar 7,8 A menjadi 4,6–4,9 A, yang menunjukkan penurunan beban listrik dan potensi peningkatan umur operasional motor.

Dengan demikian, penerapan VFD tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga mampu mengoptimalkan kinerja motor serta mendukung pengoperasian sistem yang lebih ekonomis dan andal.

❖ UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih seluruh pihak yang telah memberikan masukan selama proses pelaksanaan penelitian serta penyempurnaan artikel ini.

❖ DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Suratno, M. H. Ashabullah, and E. Yadie, “Analisis Kinerja dan Harmonik Motor Induksi 3 Fasa Dengan Variable Frequency Drive pada Boiler Feed Water Pump di PT. Cahaya Fajar Kaltim Menggunakan ETAP,” *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 9, no. 1, pp. 502–510, 2024, doi: 10.36277/jteuniba.v9i1.1099.
- [2] M. N. Khamdun, “Perbandingan Efisiensi Teknik PWM dan VFD dalam Pengendalian Motor Listrik,” *J. Ris. Sist. Inf. dan Tek. Inform.*, vol. 3, no. 2, pp. 154–172, 2025, doi: 10.61132/mercurius.v3i2.740.
- [3] Prasta Mahrifatika and Ilham Akbar Darmawan, “Perbandingan Konsumsi Energi Motor Induksi 3 Fasa Antara Kontaktor Dan Variable Speed Drive (Inverter) Pada Mesin Circular Loom Di PT. Murni Mapan Mandiri,” *J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 35–46, 2022, doi: 10.58169/saintek.v1i2.75.
- [4] A. B. Y. A. D. M. P. Fakhri, “Analisis Pengaruh Kendali Putar Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan VFD Siemens,” *Konf. Nas. Sos. dan Eng. Politek. Negeri Medan*, pp. 674–683, 2022, doi: 10.51510/konsep.v3i1.894.
- [5] I. G. P. R. A. D. R. Nugrahanto, “Perancangan Variable Frequency Drive (VFD) Satu Fasa Dengan Menggunakan Metode Sinusoida Pulse Width Modulation Berbasis Mikrokontroler,” *J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 17, no. 2, pp. 32–44, 2022, doi: 10.30587/e-link.v17i2.4497.
- [6] S. J. Chapman, “Electric Machine Fundamentals, Fifth Edition,” p. 680, 2012.
- [7] S. Diantoro, D. Nugroho, and A. A. Nugroho, “Analisa Pengaruh Perubahan Frekuensi Dan Tegangan Terhadap Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Matlab Simulink,” *Elektrika*, vol. 16, no. 2, p. 127, 2024, doi: 10.26623/elektrika.v16i2.8852.
- [8] I. N. Bagia and I. M. Parsa, *Motor-Motor Listrik untuk Mahasiswa dan Umum*, 1st ed. 2018. doi: https://www.researchgate.net/profile/I-Made-Parsa/publication/323986635_MOTOR-MOTOR_LISTRIK/links/5ac57efbaca2720544cf86b7/MOTOR-MOTOR-LISTRIK.pdf.
- [9] ABB, “Technical Note IEC 60034-30-1 Standard on Efficiency Classes for Low Voltage AC Motors Standard IEC / EN 60034-30-1 on Efficiency Classes of Line,” 2014. doi: https://library.e.abb.com/public/ea5c8669a89644158723ebb22994f5e4/TM025%20EN%2008-2014%20IEC60034-30-1_lowres.pdf?x-sign=cu8ZzF3p4kvkrNmUZSyCyYN1g7ikXJ9ylyQsGRe8Qs2KedzklgjdFGk2fqBxkW/T.
- [10] Danfoss Drives, “Ecodesign and Energy Efficiency Intelligently Combined Ecodesign Made Simple : Motors Are the Basis - Drives Make the Difference,” 2020. doi: https://files.danfoss.com/download/Drives/DEDDPB418A702_Ecodesign_A4_LR.pdf.
- [11] I. C. Electrotechnical, “Ecodesign for Motor Systems – Energy Efficiency Determination and Classification,” in *Adjustable Speed Electrical Power Drive Systems (PDS)*, 2.0., 2023, ch. 9, pp. 1–12. doi: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/1141eecb-251d-4ffb-b38b-198790db9875/iec-61800-9-2-2023>.