

Analisis Konsumsi Energi Listrik Pompa Sirkulasi Cooling Tower P21C Menggunakan Inverter di PT Unilever Oleochemical Indonesia

Yoel Wesly Dirney Lumbantoruan^{*}, Parlin Siagian, Haris Gunawan

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia
^{*}Koresponden email: yoelwesly2001@gmail.com, parlinsiagian@dosen.pancabudi.ac.id, harisgunawan@dosen.pancabudi.ac.id

Diterima: 7 Januari 2025

Disetujui: 24 Januari 2025

Abstract

The cooling tower circulating pump circulates cooling water throughout the cooling system by controlling the rotation of the circulating pump using an inverter. The method in this research uses quantitative methods. The research aims to analyze two circulating pump units with and without inverter. The results of one year of research on circulation pumps without inverter consumed 48,180 kWh of electrical energy and circulation pumps with inverter consumed 31,083.4 kWh of electrical energy, the resulting electrical energy savings was 17,096.6 kWh at a cost of IDR 19,058,263.9. Using an inverter can save electric energy consumption because the speed of the circulation pump can be adjusted, which causes the output voltage to vary and not always remain constant at the maximum value, so the electric energy consumption is lower.

Keywords: *circulation pump, inverter control, electrical energy*

Abstrak

Pompa sirkulasi cooling tower mensirkulasikan air pendingin ke seluruh sistem pendinginan, kendali putaran pompa sirkulasi menggunakan inverter. Metode pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Penelitian bertujuan untuk menganalisa dua unit pompa sirkulasi yang menggunakan inverter dan tanpa inverter. Hasil penelitian selama satu tahun pada pompa sirkulasi tanpa inverter mengkonsumsi energi listrik sebanyak 48.180 kWh dan pada pompa sirkulasi yang menggunakan inverter mengkonsumsi energi listrik sebanyak 31.083,4 kWh, penghematan energi listrik yang dihasilkan banyak 17.096,6 kWh dengan biaya Rp 19.058.263,9. Penggunaan inverter dapat menghemat konsumsi energi listrik dikarenakan kecepatan putaran pompa sirkulasi dapat diatur yang menyebabkan tegangan keluaran menjadi bervariasi dan tidak selalu konstan pada nilai maksimal, sehingga energi listrik yang dikonsumsi lebih rendah.

Kata kunci: *pompa sirkulasi, kendali inverter, energi listrik*

1. Pendahuluan

Dunia industri memerlukan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, memanfaatkan banyak peralatan listrik untuk mengontrol putaran motor induksi tiga fasa. Peralatan di industri catu dayanya banyak yang menggunakan energi listrik bolak-balik yang efektif dan memiliki tingkat efisien yang tinggi. Aplikasi yang sering digunakan di industri adalah motor induksi tiga fasa. Untuk mendapatkan putaran yang baik, maka memerlukan catu daya yang sudah disesuaikan dengan jenis dan tipe motornya. [1].

Motor induksi dapat disebut motor tak serempak yang merupakan motor arus bolak-balik paling banyak digunakan. Karena memiliki kesederhanaan, konstruksinya kuat dan memiliki karakteristik kerja yang sangat baik, motor induksi tiga fasa dengan rotor sangkar adalah motor yang memiliki kecepatan tetap sekitar 5 % penurunan kecepatan mulai dari tanpa beban hingga beban penuh. Pada saat pemakaian, pengoperasian motor induksi memerlukan pengatur kecepatan yang memiliki variasi, maka dari itu perlu mengatur kecepatan putaran motor induksi [2]. Motor induksi tiga fasa banyak ditemukan di dunia industri dalam memenuhi kebutuhannya. Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor yang banyak digunakan di pabrik-pabrik manufaktur, walaupun ada motor arus searah, namun motor ini jarang digunakan. Motor arus bolak-balik mempunyai kecepatan putaran yang konstan [3]. Motor induksi tiga fasa merupakan mesin listrik yang dipakai sebagai penggerak contohnya seperti pompa air, penggerak alat perkakas, penggerak kipas, hingga aplikasi di berbagai industri besar [4].

Cooling tower adalah penukar panas yang dirancang untuk mendinginkan air melalui kontak secara langsung dengan udara yang sebagian kecil air akan diuapkan. Cooling tower sangat penting pada industri mana pun, terutama dalam industri minyak dan gas, untuk memberikan efisiensi dan konversi energi di sebuah perangkat atau unit yang digunakan untuk mensirkulasi air pendingin. Cooling tower bekerja pada sistem pendinginan udara yang menggunakan pompa jenis sentrifugal untuk sebagai penggerak air yang melintasi Menara [5].

Pompa merupakan suatu alat yang paling banyak digunakan di industri terutama pada industri manufaktur. Pompa merupakan suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain dengan menaikkan tekanan fluida yang dipompakan tersebut. Ada beberapa macam pompa yang biasa digunakan di industri manufaktur seperti pompa sentrifugal dan lain sebagainya. Pompa sentrifugal mempunyai sisi isap dan sisi keluaran. Tekanan pompa pada sisi hisap harus lebih rendah dibandingkan dengan tekanan pada sisi keluaran pompa, dikarenakan perbedaan pada tekanan tersebut fluida akan mengalir atau juga berpindah dari suatu tempat ke tempat yang lainnya. Pompa sentrifugal mempunyai banyak komponen yang penting, seperti salah satunya itu adalah impeller. Impeller sangat berperan penting dalam hal menaikkan nilai head pada pompa, net positive section head, dan juga kapasitas pompa tersebut, nilai head yang tinggi dan kapasitas pompa yang tinggi akan sangat berpengaruh pada efisiensi pada pompa sentrifugal [6].

Bersamaan dengan adanya perkembangan sebuah motor induksi, sistem kendali pada motor induksi juga akan semakin berkembang dalam mencapai nilai efisiensi dan efektifitas pada pemakaian motor induksi, yang dimana pada sistem kendali pompa motor induksi kebanyakan menggunakan peralatan pengendali seperti inverter dalam mencapai kebutuhan yang sangat diperlukan suatu industri. Hal tersebut dibuat sedemikian agar dapat mengoptimalkan penggunaan arus listrik yang dipakai oleh pompa motor induksi dan juga dapat menyesuaikan kebutuhan debit air [7]. Inverter juga dapat digunakan untuk mengatur frekuensi, putaran dan tegangan pada sebuah motor induksi, untuk meminimalisir arus starting pada motor induksi agar dapat menghemat energi listrik motor induksi [8].

Energi listrik merupakan energi yang paling utama dibutuhkan oleh peralatan listrik, energi yang tersimpan dalam arus listrik memiliki satuan ampere dan tegangan listrik memiliki satuan volt, dengan kebutuhan konsumsi daya listrik yang memiliki satuan watt sebagai ketentuan penggerak pada motor [9]. Daya listrik dapat dikatakan parameter penting dalam perencanaan, perancangan, dan pengoperasian sistem kelistrikan. Pemahaman tentang daya listrik memungkinkan perusahaan listrik, insinyur listrik, dan pengguna listrik untuk mengukur dan mengelola konsumsi energi listrik, menentukan ukuran kabel dan peralatan pelindung yang sesuai dalam instalasi listrik, memantau dan mengoptimalkan efisiensi energi di berbagai aplikasi, termasuk industri, komersial, dan rumah tangga [10].

Dalam mengoperasikan motor induksi, efisiensi pada daya motor sangat penting untuk dianalisis. Penelitian akan dilakukan mengenai apa saja yang dapat mempengaruhi efisiensi pada motor induksi, dan apa saja cara untuk mempertahankan nilai efisiensi dari motor induksi tersebut, jika sudah diketahui, maka langkah penelitian selanjutnya adalah menjalankan perawatan pada motor induksi agar tidak mengalami penurunan pada nilai efisiensi [3].

Pada Jurnal ini akan dibahas mengenai perbandingan antara penggunaan energi listrik pada pompa sentrifugal yang menggunakan kendali inverter dibandingkan dengan non inverter dalam hal mengetahui tingkat penghematan konsumsi energi listrik pada pompa sentrifugal tersebut [11].

2. Tinjauan Pustaka

Cooling Tower merupakan sebuah peralatan yang dipergunakan untuk menurunkan nilai suhu aliran pada air dengan cara mengekstraksi suhu panas dari air dan akan dilepaskan ke atmosfer. Alat utama yang disebut menara pendingin akan memanfaatkan penguapan, di mana sebagian besar air akan menguap ke aliran udara yang bergerak setelah itu akan dilepaskan ke atmosfer. Hasilnya, sisa air akan didinginkan dengan cara yang signifikan. Menara pendingin dapat mengurangi suhu pada air hingga tingkat yang lebih besar daripada peralatan lain yang hanya dengan menggunakan udara sebagai penghilang panas, contohnya seperti radiator pada mobil, dan karena itulah dikatakan lebih ekonomis dan hemat energi. Cooling Tower dapat diartikan sebagai peralatan penukar kalor dengan cara fluida kerjanya merupakan air dan udara, dan difungsikan untuk mendinginkan air tersebut dengan cara kontak langsung pada udara sekitar, sehingga terjadi penguapan sebagian kecil pada air. Sebagian besar menara pendingin yang bekerja dengan sistem pendinginan udara biasanya menggunakan sebuah alat pemindahan fluida yaitu pompa sentrifugal, pompa sentrifugal akan memindahkan air secara vertikal ke atas menara pendingin. Kapasitas menara pendingin pada cooling tower biasanya dinyatakan dengan sebutan range dan approach. Tujuan dari menara pendingin

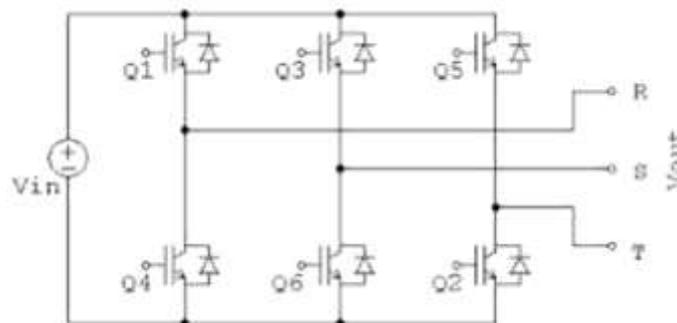
adalah untuk menyerap panas dalam jumlah besar dan menyediakan air pendingin dalam jumlah besar untuk digunakan di pabrik pendingin [5].

2.1 Pompa pada Cooling Tower

Pada sistem perpompaan di dunia industri terdapat sebanyak 20% kebutuhan energi listrik di dunia dan diantaranya 25 - 50% adalah energi yang digunakan pada operasi industri tersebut. Pompa mempunyai dua fungsi yang utama yaitu memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain (contohnya air yang terdapat pada aquifer bawah tanah ke tempat penyimpanan air seperti tangki), dan juga dapat mensirkulasikan fluida di sekitar sistim (contohnya air yang digunakan sebagai pendingin dan pelumas yang akan melewati mesin dan juga peralatan). Variable frequency drive atau biasa disebut dengan inverter memberikan respon yang baik ke pompa sentrifugal. Penurunan aliran air dengan menggunakan VFD, dan energi listrik yang dipakai motor induksi dapat diminimalisir. Sehingga energi listrik yang dikonsumsi akan lebih hemat dengan adanya bantuan dari VFD [12].

2.2 Inverter Tiga Fasa

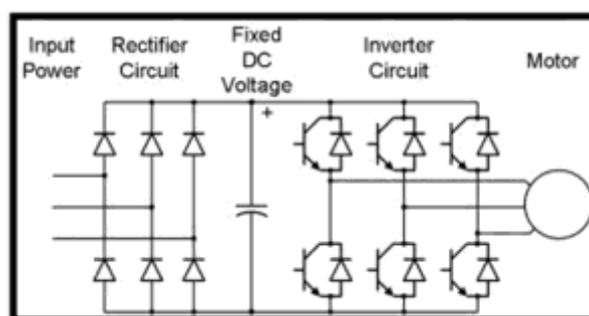
Inverter merupakan sebuah perangkat elektronika daya dengan fungsi merubah nilai tegangan masukan searah menjadi tegangan keluaran bolak-balik dengan ukuran dan pengaturan nilai frekuensi yang bervariasi. Inverter tiga fasa merupakan inverter atau perangkat yang mempunyai tegangan keluaran bolak-balik tiga fasa [13]. Berikut **Gambar 1** menunjukkan inverter tiga fasa:



Gambar 1. Diagram Langsung Pemula Online

2.3 Variable Speed Drive

Penggerak kecepatan variabel adalah perangkat yang mengontrol kecepatan motor induksi sesuai dengan kebutuhannya. Pada motor induksi tiga fasa, kecepatan putarnya tergantung pada frekuensi dan tegangan. Perangkat untuk mengontrol kecepatan disebut penggerak tegangan variabel, dimana inputnya adalah tegangan tiga fasa (dengan tegangan listrik sebesar 380 Volt dengan frekuensi 50 Hz) dan outputnya berupa tegangan tiga fasa dimana nilai tegangan dan frekuensi bisa diatur sesuai dengan kebutuhan. Rangkaian dasar penggerak tegangan variabel ditampilkan pada **Gambar 2** di bawah ini [13]:



Gambar 2. Rangkaian Dasar Penggerak Frekuensi Tegangan Variabel

2.4 Pengertian Listrik

Daya merupakan sebuah kuantitas yang sangat penting pada rangkaian elektris. Daya adalah ukuran disipasi energi listrik pada sebuah peralatan. Dikarenakan arus dan tegangan dapat berubah sesuai dengan

fungsi maupun waktu, diperkirakan bahwasanya nilai rata-rata dan nilai sesaat dapat difungsikan untuk menggambarkan suatu disipasi. Berdasarkan hal tersebut daya sesaat merupakan hasil dari perkalian antara arus sesaat dan tegangan [14].

2.5 Daya

Daya merupakan energi yang telah dikeluarkan dalam hal untuk melakukan suatu usaha. Pada sistem tenaga kelistrikan, daya adalah jumlah yang telah digunakan dalam melakukan kerja maupun usaha [15]. Perhitungan daya pada motor [16].

$$P_{out} = \frac{2\pi}{60} \times t \times nr \tag{2.1}$$

3. Metode Penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan agar dapat menggali informasi-informasi yang relevan pada permasalahan yang telah ditemukan. Pencarian dilakukan dimulai dari membaca buku, jurnal, artikel, arsip dan lain-lain. Menurut Nur dan Bambang (2009:146) sumber data dapat dibagi dua jenis yaitu primer dan sekunder, yang dimana data primer adalah data yang didapatkan secara langsung melalui sumber asli. Sedangkan pada data sekunder adalah data yang mengacu terhadap informasi yang telah dikumpulkan melalui sumber yang ada. Penelitian data primer berupa data pengukuran yang telah penulis lakukan mengenai nilai-nilai kelistrikan yang dipakai oleh motor induksi tiga fasa sebagai pompa yang menggunakan inverter dan data sekunder yaitu berupa manual book dari pabrikan dengan merk inverter adalah siemens.

3.2 Jenis Penelitian

Metode pada penelitian ini yaitu menggunakan metode kualitatif dan kuantitatif. Yang mana peneliti memperoleh beberapa data yang berbentuk angka atau data kuantitatif melalui alat ukur atau instrumen tertentu, selain itu metode kualitatif memiliki tujuan sebagai penjabaran data analisis dengan cara narasi. Dan peneliti juga melakukan pengamatan secara langsung ke objek yang akan diteliti untuk memperhatikan kondisi dan mengukur secara langsung di lapangan. Dalam hal ini, pengamatan akan dilakukan pada Di PT. Unilever Oleochemical Indonesia.

3.3 Cooling Tower Circulation Pump

Salah satu perangkat utama yang digunakan untuk menjalankan sebuah proses yaitu motor induksi. Motor induksi dengan driver Inverter dipergunakan sebagai penggerak pada pompa sentrifugal dengan kapasitas motor sebesar 7,5 kW. Berikut spesifikasi dari motor induksi tersebut:

Tabel 1. Spesifikasi motor induksi cooling tower circulation pump

No.	Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa	Keterangan
1.	Daya	7,5 kW
2.	In	14,3 A
3.	Speed	1470 Rpm
4.	Voltage	400 V
5.	Frequency	50 Hz
6.	Cos phi	0,84
7.	Type	3-MOT1LE10031CB234WB4-Z
8.	IP	55
9.	Serial Number	UD 2003/2237382-007-001
10.	DE Bearing	6208-2ZC 3
11.	NDE Bearing	6208-2ZC 3
12.	Manufacturer	SIEMENS
13.	Connection Type	Delta
14.	Status Connection	VFD
15.	Remark	Cooling Tower Circulation Pump

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Tahap ini penulis akan mengumpulkan data-data untuk melakukan penelitian pada tahapan sebagai berikut:

- Data nilai-nilai pada nameplate motor induksi tiga sesuai dengan pabrikan.
- Data nilai frekuensi pada saat 20 Hz dan 50 Hz serta pengaruhnya terhadap jumlah putaran yang diterapkan pada motor induksi tiga fasa.
- Data jumlah pemakaian energi listrik selama 1 tahun pada pompa yang menggunakan inverter dan tanpa inverter.

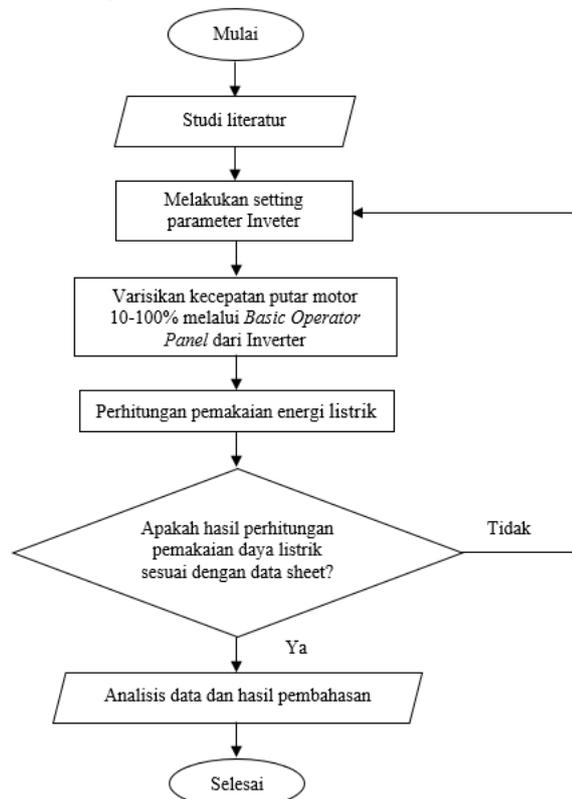
3.5 Teknik Analisis Data

Setelah terkumpul data - data tersebut dapat dilakukan analisis seperti:

- Tahapan sinkronisasi antara *Inverter* dengan motor induksi tiga fasa.
- Melakukan analisis dan perbandingan antara frekuensi dengan kecepatan putar yang diterapkan pada motor serta pengaruhnya terhadap performa motor induksi tiga fasa sebagai pompa.
- Menghitung jumlah perbandingan nilai energi listrik antara pompa yang menggunakan inverter dan tanpa inverter.

3.6 Diagram Alir (Flowchart)

Untuk penyusunan pada penelitian, maka diperlukan susunan alur kerja dengan beberapa tahapan. Alur kerja adalah langkah-langkah yang akan dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini. Adapun alur kerja atau diagram alir (flowchart) sebagai berikut:



Gambar 3. Flowchart/Diagram Alir

4. Hasil dan Pembahasan

Munculnya sebuah efisiensi pemakaian energi listrik ini disebabkan oleh pemakaian dari cara kerja motor listrik, pemakaian yang dimaksud yaitu karena dikoneksikan dengan inverter pada motor listrik yang dimana inverter dapat mengatur frekuensi, inverter dapat bekerja pada saat pompa bekerja dengan beban rendah. Pengambilan data di aktual/lapangan dilakukan pada pompa dengan kendali inverter dan pompa tanpa inverter didapatkan beberapa data pada motor listrik.

Pengambilan data sampel yang pertama yaitu pompa sentrifugal tanpa inverter: pengambilan data dilakukan selama 7 hari jam kerja. Pengambilan data dalam 1 hari dilakukan selama 2 jam dari 24 jam operasional pompa sentrifugal. Pengambilan data sampel yang kedua yaitu pompa sentrifugal menggunakan inverter: pengambilan data dilakukan selama 7 hari kerja. Pengambilan data dalam 1 hari dilakukan selama 2 jam dari 24 jam operasional pompa sentrifugal. Berikut merupakan data-data

operasional kerja pompa sentrifugal menggunakan inverter dan tanpa inverter pada saat melakukan penelitian.

Tabel 2. Pengambilan data pompa sentrifugal tanpa inverter

No.	Hari	Pengambilan Sampel		Pompa Tanpa Inverter				Jam kerja pompa (24 Jam)	
				F=20Hz		F=50Hz		F=20Hz	F=50Hz
		Detik	Jam	Detik	Jam	Detik	Jam		
1.	Sabtu	7200	2,00	0	0,00	7200	2,00	0,00	24,00
2.	Minggu	7200	2,00	0	0,00	7200	2,00	0,00	24,00
3.	Senin	7200	2,00	0	0,00	7200	2,00	0,00	24,00
4.	Selasa	7200	2,00	0	0,00	7200	2,00	0,00	24,00
5.	Rabu	7200	2,00	0	0,00	7200	2,00	0,00	24,00
6.	Kamis	7200	2,00	0	0,00	7200	2,00	0,00	24,00
7.	Jumat	7200	2,00	0	0,00	7200	2,00	0,00	24,00
Total penggunaan dalam 1 minggu (jam)								0,00	168,00

Tabel 3. Pengambilan data pompa sentrifugal menggunakan inverter

No.	Hari	Pengambilan Sampel		Pompa Inverter				Jam kerja pompa (24 Jam)	
				F=20Hz		F=50Hz		F=20Hz	F=50Hz
		Detik	Jam	Detik	Jam	Detik	Jam		
1.	Sabtu	7200	2,00	5220	1,45	1980	0,55	17,4	6,6
2.	Minggu	7200	2,00	6228	1,73	972	0,27	20,76	3,24
3.	Senin	7200	2,00	2448	0,68	4752	1,32	8,16	15,84
4.	Selasa	7200	2,00	2916	0,81	4284	1,19	9,72	14,28
5.	Rabu	7200	2,00	3456	0,96	3744	1,04	11,52	12,48
6.	Kamis	7200	2,00	4428	1,23	2772	0,77	14,76	9,24
7.	Jumat	7200	2,00	5112	1,42	2088	0,58	17,04	6,96
Total penggunaan dalam 1 minggu (jam)								99,36	68,64

4.1 Perhitungan Torsi Motor

Torsi merupakan kemampuan terhadap daya gerak, dalam hal mensuplai beban mekanik. Untuk mengetahui nilai torsi pada suatu motor listrik diperhitungkan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Torsi} : T = \frac{(5252 \times P)}{N}$$

dimana:

P = Daya (HP)

T = Torsi (Nm)

N = Jumlah putaran per-menit (Rpm)

5252 adalah nilai ketetapan pada daya motor (dengan satuan HP)

$$T = \frac{(5252 \times P)}{N}$$

$$T = \frac{(5252 \times 10)}{1470}$$

$$T = \frac{(52520)}{1470}$$

$$T = 35,7 \text{ Nm}$$

4.2 Perhitungan Kecepatan Sinkron

Kecepatan putar motor adalah jumlah putaran motor pada periode tertentu, misalnya pada kecepatan putar per-menit (rpm) atau kecepatan putar per-detik (rps). Kecepatan putar motor medan sinkron dikalkulasi dan diperhitungkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan Sinkron} : N_s = \frac{120 \times f}{P}$$

dimana:

N_s = Kecepatan putar medan stator (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

120 = Konstanta
P = Pasang kutub motor (pole)

4.2.1 Kecepatan sinkron tanpa inverter (50Hz)

Kecepatan sinkron motor listrik pada pompa tanpa inverter. Perhitungan kecepatan konstan pada motor yaitu dengan nilai frekuensi 50 Hz.

$$N_s = \frac{120 \times f}{P}$$

$$N_s = \frac{120 \times 50}{4}$$

$$N_s = \frac{6000}{4}$$

$$N_s = 1500 \text{ Rpm}$$

4.2.2 Kecepatan sinkron menggunakan inverter (20Hz)

Kecepatan sinkron motor listrik pada pompa menggunakan inverter. Perhitungan kecepatan yang diatur pada motor yaitu dengan nilai frekuensi sebesar 20 Hz.

$$N_s = \frac{120 \times f}{P}$$

$$N_s = \frac{120 \times 20}{4}$$

$$N_s = \frac{2400}{4}$$

$$N_s = 600 \text{ Rpm}$$

4.3 Perhitungan Slip Motor

Putaran motor induksi menghasilkan slip. Perbedaan kecepatan medan putar pada stator, dengan putaran putar rotor adalah slip yang dirumuskan dan diperhitungkan pada persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\%$$

Dimana:

$$S = \text{Slip}$$

$$N_s = \text{Putaran Sinkron (Rpm)}$$

$$N_r = \text{Putaran Rotor (Rpm)}$$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\%$$

$$S = \frac{1500 - 1470}{1500} \times 100\%$$

$$S = \frac{30}{1500} \times 100\%$$

$$S = 2\%$$

4.4 Perhitungan Kecepatan Rotor

Motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator bagian yang diam. Di antara stator dan rotor terdapat celah udara yang jaraknya sangat kecil.

4.4.1 Kecepatan rotor tanpa inverter (50Hz)

Kecepatan rotor motor listrik pada pompa tanpa inverter. Perhitungan kecepatan konstan pada motor yaitu dengan nilai frekuensi 50 Hz.

$$N_r = N_s \times (1 - \text{Slip})$$

$$N_r = 1500 \times (1 - 2\%)$$

$$N_r = 1500 \times (0,98)$$

$$N_r = 1470 \text{ Rpm}$$

4.4.2 Kecepatan rotor menggunakan inverter (20Hz)

Kecepatan rotor motor listrik pada pompa menggunakan inverter. Perhitungan kecepatan yang diatur pada motor yaitu dengan nilai frekuensi sebesar 20 Hz.

$$N_r = N_s \times (1 - \text{Slip})$$

$$N_r = 600 \times (1 - 2\%)$$

$$N_r = 600 \times (0,98)$$

$$N_r = 588 \text{ Rpm}$$

4.5 Perhitungan Daya Listrik Pompa

Pengertian daya merupakan energi yang dikeluarkan dalam melakukan kerja maupun usaha.

$$P_{out} = \frac{2\pi}{60} \times t \times nr$$

dimana:

$$N_s = 1500 \text{ Rpm}$$

$$\text{Slip} = 2 \%$$

$$N_r = 1470 \text{ Rpm (tanpa inverter)}$$

$$N_r = 588 \text{ Rpm (menggunakan inverter)}$$

$$T = 35,7 \text{ Nm}$$

4.5.1 Energi listrik pompa tanpa inverter

Daya listrik motor pompa tanpa inverter. Perhitungan daya listrik motor tanpa inverter memiliki kecepatan putar rotor sebesar 1470 Rpm.

$$P_{out} = \frac{2\pi}{60} \times t \times nr$$

$$P_{out} = \frac{2\pi}{60} \times 35,7 \times 1470$$

$$P_{out} = \frac{2\pi}{60} \times 52497$$

$$P_{out} = 5497,473 \text{ Watt}$$

$$P_{out} = 5,5 \text{ kWh}$$

4.5.2 Daya listrik motor menggunakan inverter

Daya listrik motor pompa menggunakan inverter. Perhitungan daya listrik motor menggunakan inverter memiliki kecepatan putar rotor sebesar 588 Rpm.

$$P_{out} = \frac{2\pi}{60} \times t \times nr$$

$$P_{out} = \frac{2\pi}{60} \times 35,7 \times 588$$

$$P_{out} = \frac{2\pi}{60} \times 20991,6$$

$$P_{out} = 2198,235 \text{ Watt}$$

$$P_{out} = 2,2 \text{ kWh}$$

4.6 Penghematan Energi Listrik Pompa

Pompa tanpa inverter memiliki daya listrik sebesar 5,5 kWh

Pompa menggunakan inverter memiliki daya listrik sebesar 2,2 kWh

Maka, penghematan energi listrik yaitu sebesar:

$$5,5 \text{ kWh} - 2,2 \text{ kWh} = 3,3 \text{ kWh (59\%)}$$

4.6.1 Perhitungan dan analisis energi listrik pada pompa tanpa inverter

Perhitungan dan analisis mencari pemakaian energi listrik terhadap penggunaan pompa tanpa inverter dalam waktu jam, harian, mingguan, bulanan dan tahunan sebagai berikut:

Penggunaan dalam 1 jam pemakaian:

$$1 \text{ hour} \times 5,5 \text{ kW} = 5,5 \text{ kWh}$$

$$5,5 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.114,74 = \text{Rp. } 6.131,07$$

Penggunaan dalam 1 hari pemakaian:

$$24 \text{ jam} \times \text{Rp. } 6.131,07 = \text{Rp. } 147.145,68$$

Penggunaan dalam 1 bulan pemakaian:

$$30 \text{ hari} \times \text{Rp. } 147.145,68 = \text{Rp. } 4.414.370,4$$

Penggunaan dalam 1 tahun pemakaian:

$$365 \text{ hari} \times \text{Rp. } 147.145,68 = \text{Rp. } 53.708.173,2$$

Dalam bentuk kWh:

Penggunaan energi listrik selama 1 tahun pada pompa tanpa inverter:

$$5,5 \text{ kW} \times 1 \text{ Hour} = 5,5 \text{ kWh}$$

1 Hari = 24 jam kerja, maka:

$$5,5 \text{ kW} \times 24 \text{ Hour/Hari} = 132 \text{ kWh/Hari}$$

$$132 \text{ kW} \times 365 \text{ Hari} = 48.180 \text{ kWh/Tahun}$$

Jadi, penggunaan energi listrik selama 1 tahun pada pompa tanpa inverter adalah 48.180 kWh/Tahun

4.6.2 Perhitungan dan analisis energi listrik pada pompa menggunakan inverter

Perhitungan dan analisis mencari pemakaian energi listrik terhadap penggunaan pompa dengan kendali inverter dalam waktu jam, harian, mingguan, bulanan dan tahunan sebagai:

Penggunaan dalam 1 jam pemakaian:

Pada saat penggunaan pompa dengan frekuensi 20Hz

$$1 \text{ hour} \times 2,2 \text{ kW} = 2,2 \text{ kWh}$$

$$2,2 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.114,74 = \text{Rp. } 2.452,43$$

Pada saat penggunaan pompa dengan frekuensi 50Hz

$$1 \text{ hour} \times 5,5 \text{ kW} = 5,5 \text{ kWh}$$

$$5,5 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.114,74 = \text{Rp. } 6.131,07$$

Penggunaan 1 hari pemakaian energi listrik:

Penggunaan pompa dengan kendali inverter terhadap energi listrik yang terpakai selama 7 hari mulai dari sabtu sampai dengan jumat, data perhitungannya dituliskan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4. Biaya penggunaan pompa sentrifugal menggunakan inverter selama 1 minggu

No.	Hari	Sample Pompa (2jam)		Sample Pompa 1hari(24jam)		Pemakaian Energi		Total Pemakaian Energi (kWh)	Biaya (/kWh)	Biaya Prnggunaan Perhari (/kWh)
		20Hz (Jam)	50Hz (jam)	20Hz (jam)	50Hz (jam)	20Hz (kWh)	50Hz (kWh)			
1.	Sabtu	1,45	0,55	17,4	6,6	38,28	36,30	74,58	Rp. 1.114,74	Rp. 83.137,31
2.	Minggu	1,73	0,27	20,76	3,24	45,67	17,82	63,49	Rp. 1.114,74	Rp. 70.774,84
3.	Senin	0,68	1,32	8,16	15,84	17,95	87,12	105,07	Rp. 1.114,74	Rp. 117.125,73
4.	Selasa	0,81	1,19	9,72	14,28	21,38	78,54	99,92	Rp. 1.114,74	Rp. 111.384,82
5.	Rabu	0,96	1,04	11,52	12,48	25,34	68,64	93,98	Rp. 1.114,74	Rp. 104.763,27
6.	Kamis	1,23	0,77	14,76	9,24	32,47	50,82	83,29	Rp. 1.114,74	Rp. 92.846,70
7.	Jumat	1,42	0,58	17,04	6,96	37,49	38,28	75,77	Rp. 1.114,74	Rp. 84.463,85
Total penggunaan dalam 1 minggu (rupiah)										Rp.664.496,52

Pada **Tabel 4** diatas memperlihatkan pemakaian energi pada pompa per-harian selama 1 minggu, untuk mendapatkan nilai pemakaian selama 1 bulan adalah dengan cara mengalikan nilai rata-rata penggunaan selama 1 minggu dikali dengan 30 hari pada kerja pompa tersebut. Hasil pemakaian energi listrik motor yang menggunakan inverter menghabiskan sebesar Rp.664.496,52.

Tabel 5. Nilai rata-rata energi yang terpakai pompa sentrifugal selama 1 minggu

Hari	Pemakaian Energi Listrik/Hari
Sabtu	74,58 kWh
Minggu	63,49 kWh
Senin	105,07 kWh
Selasa	99,92 kWh
Rabu	93,98 kWh
Kamis	83,29 kWh
Jumat	75,77 kWh
Nilai rata-rata	85,16 kWh/Hari

Jadi rata-rata pemakaian energi listrik dalam satu minggu adalah 85,16 kWh/Hari. Penggunaan pompa pada 1 bulan pemakaian:

Energi yang terpakai pompa,

$$85,16 \text{ kWh} \times 30 = 2.554,80 \text{ kWh}$$

Biaya yang dikeluarkan selama 1 bulan,
 $2.554,80 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.114,74 = \text{Rp. } 2.847.937,75$
Penggunaan pompa pada 1 tahun pemakaian:
 $85,16 \text{ kWh} \times 365 = 31.083,4 \text{ kWh}$

5. Kesimpulan

Dalam studi perbandingan yang dilakukan selama satu tahun, terlihat perbedaan signifikan dalam konsumsi energi listrik antara pompa sentrifugal tanpa inverter dan dengan kendali inverter. Pompa sentrifugal konvensional mencatatkan konsumsi energi sebesar 48.180 kWh, sementara pompa dengan inverter hanya menghabiskan 31.083,4 kWh. Perbedaan ini menghasilkan penghematan energi listrik yang cukup besar, yaitu sebesar 17.096,6 kWh. Dengan tarif listrik saat ini, penghematan energi tersebut setara dengan biaya sebesar Rp 19.058.263,9. Hasil ini menegaskan efektivitas penggunaan inverter dalam mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional pompa sentrifugal.

6. Referensi

- [1] M. Suyanto, Subandi, Syafrudin, Arif Maulana Fikri, 2019. "Kendali Putaran Motor Asinkron 3 Fasa dengan VSD Tipe ATV312HU15N4" Seminar Nasional Teknoka, Vol. 4, 2019 ISSN No. 2502-8782.
- [2] Elvy Sahnur Nasution, Arnawan Hasibuan, 2018. "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTIVAR 12P" Jurnal Sistem Informasi ISSN P : 2598-599X; E: 2599-0330 Vol 2. No.1 April 2018.
- [3] Michael J.T. Barus, Zuraidah Tharo, Pristisal Wibowo, 2024. "Analisis Efisiensi Daya Motor Induksi 3 Phase 150 kW Dengan Inverter Sebagai Pengatur Speed" Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS), e-ISSN : 2614-1574, p-ISSN : 2621-3249.
- [4] Deka Novianto, Elvira Zondra, Hazra Yuvendius, 2022. "Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Penggerak Vacuum Di PT. Pindo Deli Perawang" SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), Vol. 4 No. 2, Juni 2022, pp. 73 – 80 ISSN 2548-6888 print, ISSN 2548-9445 online.
- [5] Arif Nurrahman, Zami Furqon, Farid Alfalaki Hamid, Muhammad Iqbal Al Haritsah, 2024. "Efisiensi Kinerja Cooling Tower di Unit Pengolahan Air Di PT. X Sukowati" Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, Vol. 8 No. 1 (Januari 2024) E-ISSN 2685– 323X.
- [6] Hibatullah B. Lutfi, 2019. "Pengaruh Temperatur Air, Kecepatan Putar Pompa, Dan Jumlah Bilah Impeller Terhadap Karakteristik Pompa Sentrifugal Torque Flow Impeller Type Closed" Jurnal JTM, Volume 07 No 01 Tahun 2019, Hal 57-65.
- [7] Junaidi, Ginda Simamora, Arlewes Gultom, 2024. "Analisa Pengaruh Frekuensi Terhadap Arus Dan RPM Pada Pompa Motor Listrik Yang Menggunakan Inverter Sebagai Variable Speed Drive Gedung Park 5 Cilandak – Jakarta Selatan" Jurnal Cahaya Mandalika (JCM) | 2278, P-ISSN: 2828-495X E-ISSN: 2721-4796.
- [8] Atmam, Elvira Zondra, Zulfahri, 2017. "Analisis Penggunaan Energi Listrik Pada Motor Induksi Satu Fasa Dengan Menggunakan Inverter" SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), Vol. 1 No. 2, Juni 2017, pp. 1 – 8 ISSN 2548-6888 print, ISSN 2548-9445 online.
- [9] Abdillah Rizki Simatupang, Pristisal Wibowo, Hamdani, 2023. "Analisa Penerapan Smart Connect Dalam Monitoring Status Arus Listrik Pada BTS Dengan Teknologi Internet Of Things" Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan Vol. 11 No. 2 Tahun 2023 P-ISSN 2338-5391 E-ISSN 2655-9862.
- [10] Bambang Nurdiyansyah, Zuraidah Tharo, Solly Aryza, 2023. "Analysis of Electrical Energy Consumption in The Office Building CV. Karya Sembilan Medan City" Jurnal Teknik Elektro dan Komputer vol. 12 no. 3 September-December 2023, pp. 181-188 p-ISSN : 2301-8402, e-ISSN : 2685-368X.
- [11] Jumasri, Zulfahri, Monice, Darmansyah, 2024. "Studi Perbandingan Konsumsi Energi Listrik Pada Motor Kompresor Air Conditioner Jenis Inverter Dan Non-Inverter" SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), Vol. 8 No. 2, Juni 2024, pp. 59 – 68 ISSN 2548-6888 print, ISSN 2548-9445 online.
- [12] Sofyar, 2017. "Konservasi Energi Dengan Kendali Sistem Pemompaan Air Menggunakan Variable Frequency Drive" Jurnal Al Ulum Sains dan Teknologi Vol. 3 No. 1 Nopember 2017.
- [13] Prido Singarimbun, Siti Anisah, Hamdani, 2022. "Analysis of Inverter Drive Working System as 3-Phase AC Motor Rotation Speed Regulator" Budapest International Research in Exact Sciences

-
- (BirEx) Journal Volume 4, No 4, January 2022, Page: 351-363 e-ISSN: 2655-7827 (Online), p-ISSN: 2655-7835 (Print)
- [14] Hormat Ferdinto Situmorang, Pristisal Wibowo, Zulkarnain Lubis, 2024. “Analisis Penggunaan Kapasitor Bank Dalam Upaya Perbaikan Faktor Daya Pada Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP) Di PT. Permaata Hijau Palm Oleo (PHPO) KIM II” Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS) Volume 7 Nomor 3, Tahun 2024 e-ISSN : 2614-1574 p-ISSN : 2621-3249.
- [15] Rio Alfredo Sinaga, Hamzah Eteruddin, Abrar Tanjung, 2021. “Pengaruh Kapasitor Terhadap Faktor Daya Motor Induksi Tiga Phasa Di PT. Malindo Karya Lestari” Jurnal Teknik, Volume 15, Nomor 2, Oktober 2021, pp : 85-93.
- [16] Prian Gagani Chamdareno, Ahmad Hairul Hamimi, 2022. “Efisiensi Konsumsi Energi Listrik Pada Eskalator Menggunakan Inverter Dipusat Perbelanjaan” Jurnal RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer) Vol. 5 No. 1 e-ISSN : 2621-9700, p-ISSN : 2654-2684.