

Studi Konsumsi Energi Terhadap Perubahan Kecepatan Dan Beban Pada Motor Induksi Tiga Phasa

Ade Yulizar^{1✉}, Elvira Zondra², Monice³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.

Jl. Yos Sudarso Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email : adeyulizar07@gmail.com^{1✉}, elviraz@unilak.ac.id², monice@unilak.ac.id³

Submitted : 12 Juli 2021, Accepted: 28 November 2021

DOI: 10.31849/sainetin.v6i1.7301

ABSTRAK

Kecepatan motor induksi tiga phasa umumnya dapat dikendalikan yang salah satunya dengan pengaturan tegangan. Pengaturan atau pengendalian tegangan pada motor induksi tiga phasa untuk memperoleh kecepatan yang berubah, dapat diperoleh dengan menggunakan *AC voltage regulator* tiga phasa. Perubahan sumber tegangan masukan yang variabel pada motor induksi tiga phasa akan mempengaruhi parameter motor induksi tiga phasa termasuk juga konsumsi atau penggunaan energi listrik. Dari hasil penelitian ini diperoleh konsumsi energi listrik motor induksi tiga phasa hubungan bintang tanpa beban dengan kecepatan 1500 rpm tegangan 380 V lebih tinggi sebesar 0,141 kWh selama 15 menit dibanding dengan tegangan 220 V, motor induksi tiga phasa hubungan bintang berbeban dengan tegangan 220 V beban 1200 Watt konsumsi energi listriknya lebih tinggi sebesar 0,441 kWh dibanding beban 300 Watt, total daya listrik motor induksi tiga phasa hubungan delta tanpa beban dengan tegangan 220 V lebih tinggi sebesar 0.248 kW dibanding dengan tegangan 140 V dan motor induksi tiga phasa hubungan delta berbeban dengan tegangan 220 V beban 1200 Watt konsumsi energi listriknya lebih tinggi sebesar 0.988 kWh dibandingkan dengan beban 300 Watt.

Kata Kunci: Motor induksi tiga phasa, *AC voltage regulator*, energi listrik

ABSTRACT

The speed of a three-phase induction motor can generally be controlled, one of which is by adjusting the voltage. Setting or managing the voltage on a three-phase induction motor to obtain a changing speed can be obtained using a three-phase AC voltage regulator. Changes in the variable input voltage source in a three-phase induction motor will affect the parameters of the three-phase induction motor, including the consumption or use of electrical energy. From the results of this study, it was obtained that the electrical energy consumption of a three-phase induction motor without a star connection with a speed of 1500 rpm, a voltage of 380 V higher by 0.141 kWh for 15 minutes compared to a voltage of 220 V, a three-phase induction motor with a loaded star connection with a voltage of 220 V with a load of 1200 Watts of electrical energy consumption is 0.441 kWh higher than the load of 300 Watts, the total electric power of a three-phase induction motor with no-load delta connection with a voltage of 220 V is 0.248 kW higher than a voltage of 140 V and a three-phase induction motor with a loaded delta connection with a voltage of 220 V load of 1200 Watts of electrical energy consumption is higher by 0.988 kWh compared to a load of 300 Watts.

Keywords: Three-phase induction motor, *AC voltage regulator*, electrical energy

1. PENDAHULUAN

Motor induksi umumnya memiliki konstruksi sederhana, mudah dioperasikan, dan relatif lebih murah dalam perawatannya

sehingga banyak digunakan di industri dan rumah tangga. Diperkirakan lebih dari 50% energi listrik dunia yang dihasilkan dikonsumsi oleh mesin listrik [1]–[5].

Mesin listrik yang berupa motor induksi dilihat dari sumber tegangan yang diberikan salah satunya adalah jenis motor induksi tiga phasa [6]. Motor induksi tiga phasa sering digunakan sebagai penggerak peralatan dengan kecepatan penuh atau kecepatan relatif konstan [7], [8]. Konsumsi daya pada motor induksi dengan kecepatan konstan lebih besar dan hal tersebut dapat menyebabkan pemborosan energi listrik [9], [10].

Kecepatan motor induksi tiga phasa umumnya dapat dikendalikan, salah satunya dengan mengatur tegangan. Pengendalian tegangan yang diberikan pada motor induksi tiga phasa untuk memperoleh kecepatan, maka variabel dapat diperoleh dengan menggunakan *AC voltage regulator* tiga phasa. Perubahan sumber tegangan masukan pada motor induksi tiga phasa akan mempengaruhi parameter motor induksi tiga phasa termasuk juga konsumsi atau penggunaan energi listrik [9], [11], [12]

Konsumsi atau penggunaan energi listrik terhadap perubahan kecepatan motor induksi tiga phasa maka perlu dilakukan penelitian. Konsumsi atau penggunaan energi listrik pada motor induksi tiga phasa yaitu motor induksi dalam hubungan bintang dan delta saat tanpa beban dan berbeban menggunakan *AC voltage regulator* tiga phasa sebagai pengaturan tegangan yang diberikan kepada motor induksi tiga phasa. Penelitian bertujuan menganalisis konsumsi atau penggunaan energi listrik, perubahan beban, perbandingan hubungan delta dan bintang pada motor induksi 10 HP tiga phasa saat tanpa beban dan berbeban menggunakan AVR tiga phasa.

2. METODE PENELITIAN

Motor induksi tiga phasa adalah mesin listrik yang bekerja berdasarkan adanya interaksi antara induksi elektromagnetik medan putar yang ditimbulkan oleh arus tiga phasa dan arus yang diinduksikan dari rangkaian stator. Bila stator dihubungkan dengan tegangan jala-jala tiga phasa, besar fluksi pada kutub-kutub setiap phasa selalu berubah sesuai fungsi waktu dan menghasilkan fluksi total yang bergerak mengelilingi stator dalam arah radial. Motor induksi pada dasarnya terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian yang berputar (*rotor*) dan bagian yang diam (*stator*). Pada saat bagian *stator* diberi tegangan maka akan timbul fluks

yang konstan dan berputar, fluks ini melalui celah udara memotong permukaan rotor dan batang-batang rotor yang masih dalam keadaan diam. Fluks yang berputar ini disebut medan putar dengan kecepatan sinkron maka berlaku persamaan [13], [14] :

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} \quad (1)$$

Dimana : n_s adalah kecepatan medan putar stator (rpm), f merupakan frekuensi jala-jala (Hz), dan P adalah jumlah kutub.

Kecepatan relatif antara fluks yang berputar dengan batang konduktor yang diam maka batang *rotor* akan terinduksi suatu emf. Karena batang-batang *rotor* membuat rangkaian tertutup maka ada arus yang mengalir. Interaksi antara medan putar dan arus yang mengalir menimbulkan gaya dan menyebabkan *rotor* berputar dengan arah yang sama seperti medan putar *stator*, seolah-olah mengikuti medan putar tersebut. Pada kenyataannya, *rotor* tidak akan dapat mengikuti kecepatan medan putar. Kalau *rotor* dapat berputar sama seperti kecepatan medan *stator* maka kecepatan relatif diantara keduanya nol adalah sehingga tidak ada arus yang mengalir di *rotor* dan tidak ada torsi yang dihasilkan. Oleh sebab itu *rotor* selalu berputar pada kecepatan yang lebih kecil dari *stator*. Hubungan kecepatan *rotor* dan *stator* dinyatakan sebagai slip dan ditulis dengan persamaan 2 berikut [13], [14] :

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (2)$$

Dengan s : slip dan ω_s, ω_r : kecepatan putar stator, rotor.

Motor induksi yang dibahas merupakan motor tiga phasa, yang dimodifikasi menjadi satu phasa dengan adanya penambahan komponen. Penggunaan mesin induksi sebagai motor listrik cukup banyak digunakan, hal ini karena motor induksi mempunyai beberapa keuntungan dan kerugian [15].

Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi adalah peralatan listrik yang mengubah energi listrik ke bentuk energi mekanik. Dalam motor induksi, tidak ada hubungan listrik ke rotor, arus rotor merupakan arus induksi. Arus ini berada dalam medan magnetik sehingga akan terjadi gaya pada rotor yang akan menggerakkan rotor dalam arah tegak lurus medan.

Apabila terminal stator motor induksi tiga phasa dihubungkan dengan sumber tegangan

tiga phasa, maka pada kumparan stator mengalir arus tiga phasa. Arus pada tiap phasa menghasilkan fluksi bolak-balik yang berubah-ubah. Amplitudo fluksi yang dihasilkan berubah secara sinusoidal dan arahnya tegak lurus terhadap belitan phasa. Akibat fluksi yang berputar timbul gaya gerak listrik pada stator motor yang besarnya adalah [13] :

$$E_1 = 4,44 \times f_1 \times N_1 \times \Phi_m \quad (3)$$

Dimana E_1 merupakan Gaya gerak listrik pada stator (Volt), f_1 adalah Frekuensi stator (Hz), N_1 adalah Jumlah lilitan kumparan rotor, dan Φ_m adalah Fluksi maksimum (Wb)

Tegangan Induksi Motor

Gerak relatif dari fluks terhadap pengantar rotor mengimbaskan tegangan dengan frekuensi sebesar sf , yang disebut frekuensi rotor. Jadi, karakter secara kelistrikan suatu motor induksi mirip dengan karakter transformator tetapi dengan sifat tambahan berupa perubahan frekuensi pada bagian rotor. Oleh karena itu medan rotor dan stator satu terhadap yang yang lain tetap, suatu torsi konstan dihasilkan dan putaran terpelihara. Suatu motor yang apabila mempunyai putaran yang dihasilkan dari proses induksi tegangan maka motor tersebut disebut motor induksi. Karena motor jenis ini mempunyai kecepatan mekanis n yang tidak sama dengan kecepatan serempak maka bisa disebut pula sebagai motor tak-serempak atau *asynchronous motor*. Tegangan induksi pada motor terjadi bagian stator dan bagian rotor seperti dijelaskan berikut [13].

Tegangan Induksi Pada Kumparan Stator

Tegangan induksi yang dibangkitkan dalam kumparan stator dinyatakan dengan persamaan [15] :

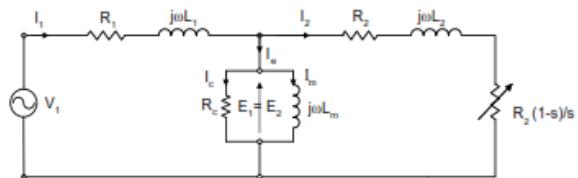
$$E_s = 4,44k_p k_b N_s f_s \phi_d \quad (4)$$

ϕ_d adalah fluks magnet, f_s frekuensi stator, k_p faktor kisaran kumparan stator (*pitch factor*), dan k_b faktor distribusi kumparan stator (*breath factor*).

Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

Motor induksi ini terdiri dari bagian stator dan bagian rotor. Untuk mempermudah analisis motor induksi dalam kondisi *steady-state* diperlukan rangkaian ekivalen yang dapat

mewakili bagian-bagian motor tersebut secara kelistrikan. Rangkaian ekivalen motor induksi dengan suplai tegangan sinusoidal seperti pada gambar 1 [13], [14].



Gambar 1. Rangkaian ekivalen motor induksi suplai

Persamaan tegangan dan arus dari rangkaian gambar 1 adalah :

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + jI_1 \omega L_1$$

$$E_{20} = I_2 \frac{R_2}{s} + jI_2 \omega L_2$$

$$I_1 = I_e + I_2 = I_m + I_c + I_2$$

Dengan V_1 = tegangan terminal sisi stator, E_1 = tegangan induksi pada kumparan stator, I_1 = arus stator, I_2 = arus rotor, I_m = arus magnetisasi, I_c = arus untuk mengimbangi rugi besi, R_1 = tahanan kumparan stator, R_2 = tahanan kumparan rotor.

Energi dan Daya Listrik

Energi listrik merupakan sejumlah daya listrik yang digunakan atau diserap selama waktu tertentu dan energi listrik diukur dengan menggunakan alat ukur listrik disebut dengan Watt jam meter atau kWh meter atau MWh meter. Satuan energi listrik antara lain : Watt detik, Wattjam, kilo Watt jam (kWh), MegaWatt jam (MWh). Energi listrik dapat dituliskan dengan persamaan [13]:

$$W = P \cdot t \quad (5)$$

Dimana W = Energi Listrik (Wh), P = daya (Watt), t = waktu. Daya adalah suatu gaya yang menyebabkan sesuatu benda dapat bergerak atau jumlah kerja yang dapat dilakukan dalam satuan waktu dan diberi dengan satuan Watt atau Joule/detik. 1 Watt sama dengan 1 Joule/detik adalah jumlah kerja yang dilakukan oleh muatan 1 Coulomb yang mengalir melalui perbedaan potensial 1 volt dalam setiap detik atau sebagai daya yang digunakan bila 1 amper arus mengalir melalui perbedaan potensial 1 Volt. Dalam ilmu mekanik untuk satuan daya biasanya menggunakan istilah *horse power* (hp), dimana 1 Hp setara dengan 746 Watt dan dapat dituliskan sebagai berikut [13] :

$$P = V \cdot I \quad (6)$$

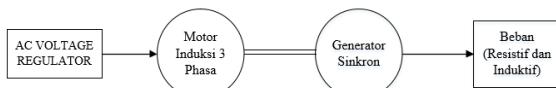
Dimana: P = daya (Watt), V = tegangan (Volt), I = arus (Amper).

Perhitungan daya pada motor induksi tiga phasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Diagram blok pengoperasian motor induksi tiga phasa menggunakan rangkaian star dan delta yang kecepatan diatur menggunakan *AC voltage regulator* tiga phasa seperti pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Diagram Blok *Starting Motor Induksi Tiga Phasa*

AC Voltage Regulator merupakan suatu rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah sumber tegangan bolak-balik AC menjadi sumber tegangan AC yang diatur keluaran tegangannya dengan frekuensi tetap untuk menggerakkan motor induksi 3 phasa. Motor Induksi 3 Phasa akan berputar dan menghasilkan energi mekanik ketika motor induksi diberi tegangan. Alat ukur digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya dan energi listrik yang dihasilkan dari motor induksi 3 phasa tersebut. Generator Sinkron di kopel dengan motor induksi untuk menghasilkan energi listrik agar bisa menghidupkan beban yang akan digunakan. Beban yang digunakan adalah resistif (lampa 1200 Watt) dan induktif (motor induksi 3 phasa), beban dinyalakan untuk melihat data dan energi listrik yang dihasilkan dari motor induksi 3 phasa.

Pengukuran Beban Nol

Sebelum melakukan pengukuran beban nol, maka terlebih dahulu melakukan pengukuran kumparan stator dengan tegangan DC. Hubungan kumparan stator motor adalah hubungan bintang dan hubungan delta dengan hasil pengukuran diperoleh pada Tabel 1.

Pengukuran Tanpa Beban Hubungan Bintang

Pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi 3 phasa dengan kumparan hubungan bintang tanpa beban seperti pada tabel 2.

Tabel 1. Hasil Data Pengukuran Stator

Tegangan (Vdc)	Arus (Idc)
6	1,95

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tanpa Beban Hubungan Bintang

Kecepatan (rpm)	Tegangan (Volt)	I (A)	Cos Phi	Total Daya, P (kW)	Total Energi Listrik (kWh)
1483	220	1,101	0,79	0,203	0,207
1487	260	1,215	0,38	0,206	0,232
1490	300	1,366	0,32	0,223	0,259
1498	340	1,523	0,27	0,243	0,318
1500	380	1,670	0,25	0,289	0,348

Pengukuran Tanpa Beban Hubungan Delta

Pengukuran dilakukan pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi 3 phasa dengan kumparan hubungan delta tanpa beban seperti pada tabel 3 berikut :

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tanpa Beban Hubungan Delta

Kecepatan (rpm)	Tegangan (Volt)	I (A)	Cos Phi	Total Daya (P) (kW)	Total Energi Listrik (kWh)
1500	140	2,045	0,41	0,194	0,017
1500	160	2,174	0,35	0,205	0,019
1500	180	2,362	0,29	0,211	0,018
1500	200	2,580	0,25	0,227	0,02
1500	220	2,847	0,21	0,248	0,018

Pengukuran Beban Resistif Hubungan Bintang

Pada pengukuran dilakukan pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi 3 phasa dengan kumparan hubungan bintang pada tegangan 380 V seperti pada tabel 4.

Pengukuran Beban Resistif Hubungan Delta

Pada pengukuran dilakukan pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi 3 phasa

dengan kumparan hubungan delta pada tegangan 220 V seperti pada tabel 5.

Tabel 4 Hasil Pengukuran Beban Resistif Hubungan Bintang Tegangan 380 V

Kecepatan (rpm)	Beban (Watt)	I (A)	Cos Phi	Total Daya (P) (kW)	Total Energi Listrik (kWh)
1499	300	2,466	0,48	0,56	0,331
1493	600	2,677	0,59	1,401	0,423
1489	900	2,730	0,68	1,518	0,495
1485	1200	3,197	0,74	1,845	0,782

Tabel 5. Hasil Pengukuran Beban Resistif Hubungan Delta Tegangan 220 V

Kecepatan (rpm)	Beban (Watt)	I (A)	Cos Phi	Total Daya, P (kW)	Total Energi (kWh)
1489	300	4,047	0,49	0,56	0,145
1485	600	4,381	0,6	1,332	0,184
1467	900	4,902	0,69	1,562	0,267
1447	1200	5,388	0,75	1,713	1,133

Pengukuran Beban Induktif Hubungan Bintang

Pada pengukuran dilakukan pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi 3 phasa dengan kumparan hubungan bintang seperti pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Beban Induktif Hubungan Bintang

Kecepatan (rpm)	Tegangan (Volt)	I (A)	Cos Phi	Total Daya, P (kW)	Total Energi (kWh)
1484	220	0,802	0,79	0,407	0,037
1486	260	0,518	0,6	0,42	0,042
1491	300	1,692	0,5	0,465	0,055
1494	340	1,918	0,43	0,498	0,082
1496	380	2,122	0,37	0,581	0,09

Pengukuran Beban Induktif Hubungan Bintang

Pada pengukuran dilakukan pengambilan data melalui percobaan dan pengukuran tegangan, arus, faktor daya, energi listrik dan kecepatan putar rotor motor induksi 3 phasa dengan kumparan hubungan delta seperti pada tabel 7.

Daya dan Pemakaian Energi Listrik Hubungan Bintang

Daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa hubungan bintang tanpa beban dapat dihitung dengan menggunakan data pada tabel 2 dan hasilnya sebagai berikut:

$$V = 220 \text{ V}$$

$$n = 1483 \text{ rpm}$$

maka daya,

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \times 220 \times 1,101 \times 0,49 = 0,206 \text{ kW}$$

Pemakaian energi listrik selama 1 (satu) jam menggunakan persamaan 5 sebagai berikut:

$$W = 0,206 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} = 0,206 \text{ kWh}$$

Tabel 7. Hasil Pengukuran Beban Induktif Hubungan Delta

Kecepatan (rpm)	Tegangan (Volt)	I (A)	Cos Phi	Total Daya, P (kW)	Total Energi (kWh)
1490	140	1,879	0,65	0,394	0,048
1496	160	1,727	0,57	0,405	0,055
1498	180	2,647	0,49	0,408	0,074
1497	200	3,270	0,43	0,465	0,096
1495	220	3,376	0,37	0,490	0,149

Tabel 8. Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Hubungan Bintang Tanpa Beban

No	Tegangan (Volt)	Pengukuran		Perhitungan	
		Daya P(kW)	Energi W(kWh)	Daya P(kW)	Energi W(kWh)
1	220	0,203	0,207	0,206	0,206
2	260	0,206	0,232	0,208	0,208
3	300	0,223	0,259	0,227	0,227
4	340	0,243	0,318	0,242	0,242
5	380	0,289	0,348	0,275	0,275

Dari tabel 8 dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan hasil daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa hubungan bintang tanpa beban yang tidak begitu jauh yaitu sebesar 0,003 Watt pada daya dan 0,001 kWh pada energi pemakaianya. Hasil pengukuran daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa hubungan bintang tanpa beban dengan kecepatan 1500 rpm selama 1 jam dapat diperoleh bentuk grafik daya seperti pada gambar 3.

Daya dan Pemakaian Energi Listrik Hubungan Delta

Daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa hubungan delta tanpa beban dapat dihitung dengan menggunakan data pada tabel 3 dan hasilnya sebagai berikut:

a) $V = 220 \text{ V}$

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

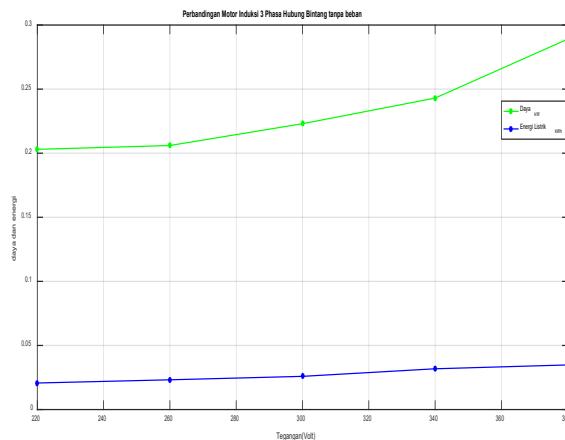
maka daya,

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \times 220 \times 2,847 \times 0,21 = 0,228 \text{ kW}$$

Pemakaian energi listrik selama 1 (satu) jam menggunakan persamaan 5 sebagai berikut:

$$W = 0,228 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} = 0,228 \text{ kWh}$$

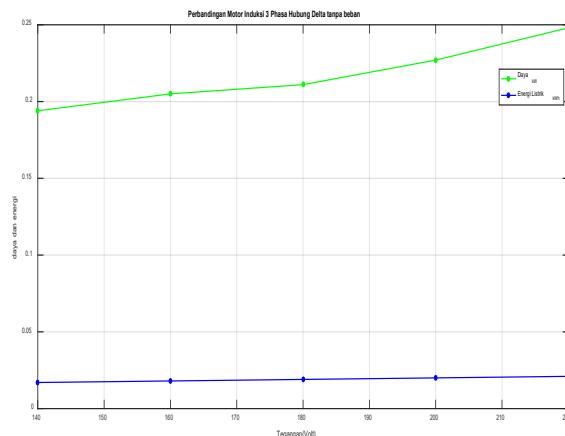


Gambar 3. Grafik Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Hubungan Bintang tanpa beban

Tabel 9. Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Hubungan Bintang Tanpa Beban

No	Tegangan (Volt)	Pengukuran		Perhitungan	
		Daya P (kW)	Energi W (kWh)	Daya P (kW)	Energi W (kWh)
1	140	0,194	0,017	0,203	0,203
2	160	0,205	0,019	0,211	0,211
3	180	0,211	0,018	0,214	0,214
4	200	0,227	0,02	0,223	0,223
5	220	0,248	0,018	0,228	0,228

Dari tabel 9 dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan hasil daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa hubungan delta tanpa beban yang tidak begitu jauh yaitu sebesar 0,02 Watt pada daya dan 0,11 kWh pada energi pemakaiannya.



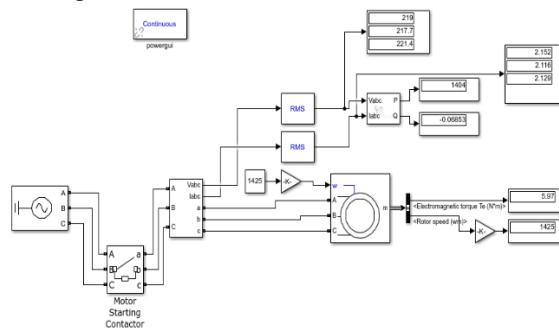
Gambar 4. Grafik Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Hubungan Bintang Tanpa Beban

Hasil pengukuran daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa hubungan

delta tanpa beban dengan kecepatan 1500 rpm selama 1 jam dapat diperoleh bentuk grafik daya seperti pada gambar 4 :

Simulasi Menggunakan MATLAB

Berdasarkan data *nameplate* dari motor induksi 3 phasa yang digunakan, maka rangkaian motor dengan metoda star delta seperti pada gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 5. Rangkaian Motor Induksi 3 Phasa Dengan Metode Star Delta

Pemodelan motor induksi dengan metoda star delta ini dirancang pada jendela MATLAB simulink dengan spesifikasi *input* parameter motor sesuai dengan data yang terdapat pada *nameplate* motor yaitu motor tiga phasa dengan tipe sangkar tupai, daya 7,5 kW, 10 HP, tegangan 380 Volt, Frekuensi 50 Hz, dan kecepatan 1450 rpm. *Toolbox asynchronous Machine* digunakan sebagai mesin motor induksi dengan satuan fundamental SI Unit.

Block sumber tegangan AC 3 phasa digunakan sebagai sumber tegangan *input* motor yang terhubung ke *block parameter circuit breaker* yang berfungsi untuk menghubungkan sumber tegangan ke motor.

Beban Resistif Hubungan Bintang

Daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban resistif hubungan bintang dapat dihitung dengan menggunakan data pada tabel 4 dan hasilnya sebagai berikut:

$$V = 380 \text{ V}$$

Beban = 300 Watt

maka daya,

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

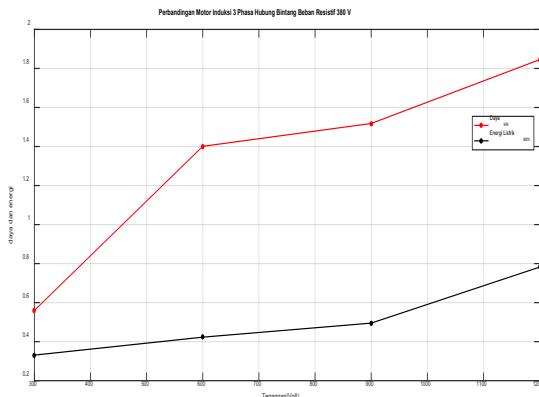
$$= \sqrt{3} \times 380 \times 2,466 \times 0,48 = 0,779 \text{ kW}$$

Pemakaian energi listrik selama 1 (satu) jam menggunakan persamaan 5 adalah sebesar 0,779 kWh. Dari tabel 10 dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan hasil daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban

resistif hubungan bintang pada tegangan 380 Volt yang tidak begitu jauh yaitu sebesar 0,21 Watt pada daya dan 0,448 kWh pada energi pemakaianya. Hasil pengukuran daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban resesif hubungan delta dengan kecepatan 1500 rpm dan tegangan 220 Volt selama 1 jam dapat diperoleh bentuk grafik daya seperti pada gambar 6

Tabel 10. Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Beban Resistif Hubungan Bintang Tegangan 380 V

No	Tegangan V (Volt)	Pengukuran		Perhitungan	
		Daya P(kW)	Energi W(kWh)	Daya P(kW)	Energi W(kWh)
1	300	0,56	0,331	0,779	0,779
2	600	1,401	0,423	1,040	1,040
3	900	1,518	0,495	1,222	1,222
4	1200	1,845	0,782	1,557	1,557



Gambar 6. Grafik Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Beban Resistif Hubungan Bintang

Beban Resistif Hubungan Delta

Daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban resistif hubungan delta dapat dihitung dengan menggunakan data pada tabel 5 dan hasilnya sebagai berikut:

$$V = 220 \text{ V}$$

$$\text{Beban} = 300 \text{ Watt}$$

maka daya,

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi = 0,756 \text{ kW}$$

Pemakaian energi listrik selama 1 (satu) jam menggunakan persamaan 5 sebagai berikut:

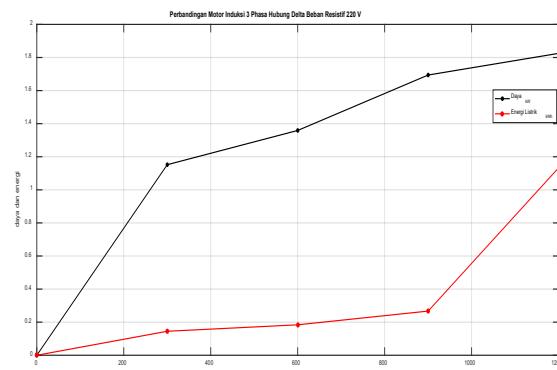
$$W = 0,756 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} = 0,756 \text{ kWh}$$

Dari tabel 11 dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan hasil daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban resesif hubungan delta pada tegangan 220 Volt yang tidak begitu jauh yaitu sebesar 0,20 Watt pada

daya dan 0,611 kWh pada energi pemakaianya. Hasil pengukuran daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban resesif hubungan delta dengan kecepatan 1500 rpm dan tegangan 220 Volt selama 1 jam dapat diperoleh bentuk grafik daya seperti pada gambar 7 :

Tabel 11. Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Beban Resistif Hubungan Delta Tegangan 220 Volt

No	Tegangan (Volt)	Pengukuran		Perhitungan	
		Daya P(kW)	Energi W(kWh)	Daya P(kW)	Energi W(kWh)
1	300	0,56	0,145	0,756	0,756
2	600	1,332	0,184	1,002	1,002
3	900	1,562	0,267	1,289	1,289
4	1200	1,713	0,333	1,540	1,540



Gambar 7. Grafik Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Beban Resesif Hubungan Delta

Beban Induktif Hubungan Bintang

Daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban induktif hubungan bintang dapat dihitung dengan menggunakan data pada tabel 6 dan hasilnya sebagai berikut:

$$a) V = 380 \text{ V}$$

Beban = Motor Induksi 3 Phasa

maka daya,

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \times 380 \times 2,122 \times 0,37 = 0,517 \text{ kW}$$

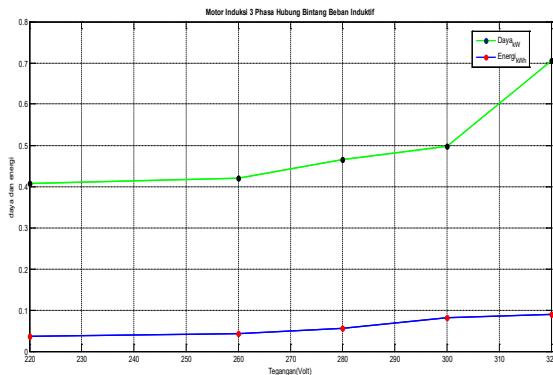
Pemakaian energi listrik selama 1 (satu) jam menggunakan persamaan 5 sebagai berikut:

$$W = 0,517 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} = 0,517 \text{ kWh}$$

Tabel 12. Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Beban Induktif Hubungan Bintang

No	Tegangan (Volt)	Pengukuran		Perhitungan	
		Daya P(kW)	Energi W(kWh)	Daya P(kW)	Energi W(kWh)
1	220	0,407	0,037	0,242	0,242
2	260	0,42	0,042	0,140	0,140
3	300	0,465	0,055	0,439	0,439
4	340	0,498	0,082	0,486	0,486
5	380	0,581	0,09	0,517	0,517

Dari tabel 12 dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan hasil daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban induktif hubungan bintang yang tidak begitu jauh yaitu sebesar 0,064 Watt pada daya dan 0,427 kWh pada energi pemakaiannya. Hasil pengukuran daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban induktif hubungan bintang dengan kecepatan 1500 rpm selama 1 jam dapat diperoleh bentuk grafik daya seperti pada gambar 8 :



Gambar 8. Grafik Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Beban Induktif Hubungan Bintang

Beban Induktif Hubungan Delta

Daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban induktif hubungan delta dapat dihitung dengan menggunakan data pada tabel 7 dan hasilnya sebagai berikut:

a) $V = 220 \text{ V}$

Beban = Motor Induksi 3 Phasa
maka daya,

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ = \sqrt{3} \times 220 \times 3,376 \times 0,37 = 0,409 \text{ kW}$$

Pemakaian energi listrik selama 1 (satu) jam menggunakan persamaan 5 sebagai berikut:

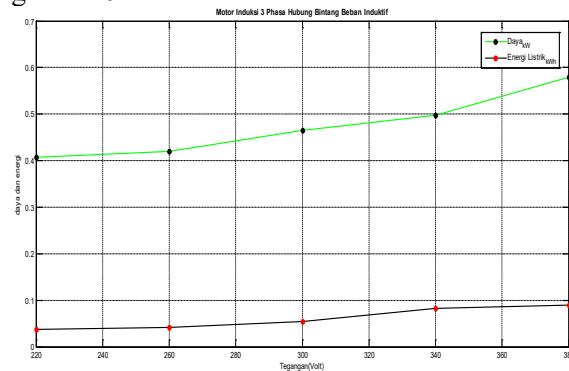
$$W = 0,409 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} = 0,409 \text{ kWh}$$

Tabel 13. Daya Dan Pemakaian Energi Listrik Beban Induktif Hubungan Delta

No	Tegangan (Volt)	Pengukuran		Perhitungan	
		Daya P (kW)	Energi W (kWh)	Daya P (kW)	Energi W (kWh)
1	140	0,394	0,048	0,273	0,273
2	160	0,405	0,055	0,296	0,296
3	180	0,408	0,074	0,404	0,404
4	200	0,45	0,096	0,476	0,476
5	220	0,465	0,149	0,487	0,487

Dari tabel 13 dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan hasil daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban induktif hubungan delta yang tidak begitu jauh yaitu

sebesar 0,022 Watt pada daya dan 0,338 kWh pada energi pemakaiannya. Hasil pengukuran daya dan pemakaian energi listrik motor induksi tiga phasa beban induktif hubungan delta dengan kecepatan 1500 rpm selama 1 jam dapat diperoleh bentuk grafik daya seperti pada gambar 9 :



Gambar 9. Grafik Daya dan Pemakaian Energi Listrik Beban Induktif Hubungan Delta

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Motor induksi tiga phasa hubungan bintang tanpa beban dengan tegangan 220 V diperoleh konsumsi energi listrik sebesar 0,0207 kWh, sedangkan pada hubungan delta tanpa beban dengan tegangan 220 V diperoleh konsumsi energi listrik sebesar 0,018 kWh. Sementara pada beban resistif hubungan bintang dengan tegangan 220 V diperoleh konsumsi energi listrik sebesar 0,745 kWh. Sedangkan pada beban resistif hubungan delta dengan tegangan 220 V diperoleh konsumsi energi listrik 1,133 kWh dimana pada beban resistif hubungan delta konsumsi energi listriknya lebih tinggi sebesar 0,388 kWh (dalam satu jam) bila dibandingkan dengan hubungan bintang

Pada beban induktif hubungan bintang dengan tegangan 220 V diperoleh konsumsi energi listrik sebesar 0,037 kWh, sedangkan pada beban induktif hubungan delta dengan tegangan 220 V diperoleh konsumsi energi listrik 0,149 kWh dimana motor induksi tiga phasa beban induktif hubungan konsumsi energi listriknya lebih tinggi sebesar 0,112 kWh (dalam satu jam) bila dibandingkan dengan hubungan bintang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Anthony, *Mesin Listrik Dasar*. Padang: ITP Press, 2018.
- [2] A. Atmam, A. Tanjung, and Z. Zulfahri,

- “Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD),” *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 52–59, 2018.
- [3] Erisman, H. Eteruddin, and A. Atmam, “Evaluasi Kinerja Motor Ship Moving 3 Phasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Pada PLTU Tenayan Raya Pekanbaru,” in *Seminar Nasional Cendekiawan ke 4*, 2018, pp. 237–242.
- [4] R. A. Sinaga, H. Eteruddin, and A. Tanjung, “Pengaruh Kapasitor Terhadap Faktor Daya Motor Induksi Tiga Phasa di PT. Malindo Karya Lestari,” *Jurnal Teknik*, vol. 15, no. 2, pp. 85–93, 2021.
- [5] B. Aditya, A. Atmam, and E. Zondra, “Kinerja Motor Induksi Tiga Phasa Sebagai Pompa Air Gedung Bertingkat Di Kantor Walikota Pekanbaru Riau,” *SainETIn*, vol. 4, no. 2, pp. 57–64, 2020.
- [6] R. Ratnadewi *et al.*, “Control and Notification Automatic Water Pump with Arduino and SMS Gateway,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 407, p. 12160, 2018.
- [7] C. R. Aritonang, A. Atmam, and E. Zondra, “Analisis Putaran Motor Pada Electrical Submersible Pump (ESP) Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis Python,” *SainETIn*, vol. 4, no. 1, pp. 32–39, 2019.
- [8] S. Nuari, A. Atmam, and E. Zondra, “Analisis Starting Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC),” *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 60–67, 2018.
- [9] H. Eteruddin, A. Rahman, M. P. Halilintar, and A. Tanjung, “Evaluasi Indeks Konsumsi Energi Listrik Di Rumah Sakit Islam Ibnu Sina Pekanbaru,” *Elementer*, vol. 7, no. 2, pp. 42–50, 2021.
- [10] Atmam, E. Zondra, and Zulfahri, “Analisis Penggunaan Energi Listrik Pada Motor Induksi Satu Phasa dengan Menggunakan Inverter,” *SainETIn*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [11] Atmam, E. Zondra, and H. Yuvendius, “Konsumsi Energi Listrik Terhadap Perubahan Kecepatan Motor Induksi Tiga Phasa,” *SainETIn*, vol. 4, no. 1, pp. 9–18, 2019.
- [12] E. Zondra, A. Atmam, and H. Yuvendius, “Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Satu Fasa Akibat Perubahan Besaran Kapasitor,” *SainETIn*, vol. 4, no. 2, pp. 40–47, 2020.
- [13] Zuhal, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia, 1995.
- [14] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [15] M. Wijaya, *Dasar Dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Djambatan, 2001.