

Pemodelan Unjuk Kerja *Cycloconverter* Sebagai Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa 750 Watt dengan Jenis Beban Torsi Kuadratik

Bintang Fajri Rhamadhan¹, Gunawan², Agus Adhi Nugroho³

¹⁾²⁾³⁾ Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung

Jl. Kaligawe Raya No. 4, Kota Semarang

Email: ¹⁾ bintangfjr4@gmail.com, ²⁾ gunawan@unissula.ac.id, ³⁾ agusadhi@unissula.ac.id

ABSTRAK

Motor induksi satu fasa adalah jenis motor yang menghasilkan putaran menggunakan satu fasa tenaga listrik. Pada industri pertanian skala kecil, motor induksi satu fasa sering digunakan dalam peralatan seperti pompa air, alat penggiling, atau alat penggerak lainnya. Pengendalian kecepatan pada pompa sentrifugal dalam sektor pertanian dapat sangat penting karena memengaruhi sejumlah faktor dalam operasinya, seperti jumlah air yang dipompa, tekanan yang dihasilkan, dan efisiensi keseluruhan sistem. Pada penelitian ini dilakukan unjuk kerja perangkat cycloconverter dalam mengendalikan kecepatan dengan melalui perubahan siklus periode sehingga nilai frekuensi keluaran dapat bervariasi pada motor induksi satu fasa berdaya 750 Watt berbeban jenis torsi kuadratik yang umumnya diimplementasikan pada pompa sentrifugal dan kipas melalui pemodelan pada MATLAB/Simulink 2015. Selanjutnya akan dilakukan analisa daya, arus, tegangan, torsi dan kecepatan putar yang dihasilkan dari pemodelan tersebut. Hasil dari pemodelan ini diketahui kecepatan yang dihasilkan mengalami penurunan akibat dari pembebanan pada torsi dan perubahan frekuensi masukkan pada motor induksi yaitu ketika 10 Hz menghasilkan kecepatan rotor 242,1 RPM dan ketika 50 Hz menghasilkan kecepatan rotor 639,4 RPM. Penurunan frekuensi keluaran cycloconverter juga meningkatkan nilai daya, arus, dan tegangan motor. Sementara itu, Torsi pada motor induksi akan semakin tinggi bila frekuensi keluaran cycloconverter semakin kecil dan akan berbanding terbalik dengan kecepatan motor.

Kata Kunci : Motor Induksi, Kecepatan, Daya, Torsi

ABSTRACT

A single-phase induction motor is a type of motor that produces rotation using one phase of electrical power. In the small-scale agricultural industry, single-phase induction motors are often used in equipment such as water pumps, grinders, or other driving equipment. Speed control of centrifugal pumps in the agricultural sector can be very important because it influences a number of factors in its operation, such as the amount of water pumped, the pressure generated and the overall efficiency of the system. In this research, the performance of the cycloconverter device was carried out in controlling speed by changing the cycle period so that the output frequency value could be varied on a 750 Watt single phase induction motor with a quadratic torque type load which is generally implemented in centrifugal pumps and fans through modeling in MATLAB/Simulink 2015. Next, an analysis of the power, current, voltage, torque and rotational speed resulting from the modeling will be carried out. The results of this modeling show that the resulting speed has decreased due to loading on torque and changes in the input frequency of the induction motor, namely when 10 Hz produces a rotor speed of 242.1 RPM and when 50 Hz produces a rotor speed of 639.4 RPM. Reducing the cycloconverter output frequency also increases the motor power, current and voltage values. Meanwhile, the torque on an induction motor will be higher if the cycloconverter output frequency is smaller and will be inversely proportional to the motor speed.

Keywords : Induction Motor, Speed, Power, Torque

1 PENDAHULUAN

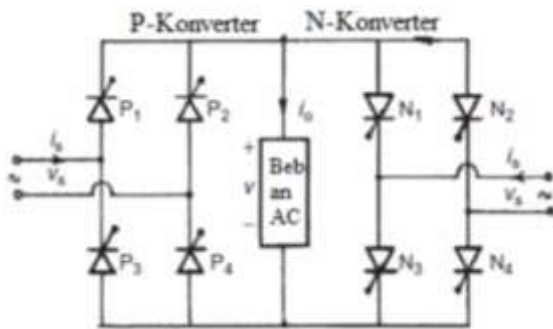
Motor induksi satu fasa umumnya digunakan pada peralatan yang membutuhkan daya yang tidak terlalu besar serta belum terpasang instalasi kelistrikan tiga fasa, seperti di rumah tangga dan industri skala kecil. Struktur motor induksi satu fasa sama dengan motor induksi sangkar tupai tiga fasa, hanya saja belitan statornya terdiri dari satu fasa.

Pada suatu lingkungan industri pertanian yang lebih kecil, motor induksi satu fasa sering digunakan dalam peralatan seperti pompa air, alat penggiling, atau alat penggerak lainnya. Pada tahap ini, penyesuaian kecepatan motor yang terhubung beban pompa air diperlukan dalam sistem otomatisasi guna membantu mengoptimalkan proses, mengurangi biaya investasi, konsumsi energi, dan biaya energi.

Penyesuaian ini sering dilakukan dengan sistem penggerak kecepatan variabel (*variable speed drive*) pada motor. mengurangi biaya investasi, konsumsi energi, dan biaya energi. Penyesuaian ini sering dilakukan dengan sistem penggerak kecepatan variabel (*variable speed drive*) pada motor.

Pada penelitian ini dilakukan suatu simulasi pemodelan melalui Simulink/Matlab 2015a. Simulasi merupakan model untuk merepresentasikan suatu proses atau sistem. Sebuah model dapat menggabungkan aspek logis, matematis dan struktural dari sistem atau proses. Dengan simulasi identifikasi masalah, hambatan, dan kekurangan desain dapat dilakukan sebelum membuat rancang bangun suatu sistem.[1]

Perangkat siklokonverter khususnya digunakan untuk penggerak motor ac besar berdaya tinggi, berkecepatan rendah, seperti pembakaran semen, rolling mill, dan baling-baling kapal.[2] *Cycloconverter* merupakan suatu jenis konverter frekuensi yang memiliki kemampuan mengubah arus listrik dari satu bentuk frekuensi menjadi bentuk frekuensi yang lain. Proses mengubah frekuensi keluaran dapat dilakukan secara kontinyu dari nilai masukan ke nilai keluaran yang diinginkan tanpa perlu adanya tautan DC. Perangkat Siklokonverter disusun dari beberapa switch (*triac, thyristor, ataupun Silicon Control Rectifier*) yang disusun secara paralel dengan sumber. [3]



Gambar 1. Rangkaian siklokonverter

Kelompok konverter P digunakan untuk menghasilkan setengah siklus atau siklus pertama selalu positif, sedangkan konverter kelompok N yang digunakan untuk menghasilkan setengah siklus atau siklus berikutnya selalu negatif.[4] Perangkat *cycloconverter* memiliki beberapa keterbatasan utama yaitu (1) rentang frekuensi terbatas untuk pengoperasian yang efisien dan bebas harmonik dan (2) koefisien transfer masukan/daya yang rendah, terutama pada tegangan keluaran yang rendah.[5]

Motor Induksi satu fasa dirancang untuk beroperasi pada suplai satu fasa dan diproduksi

dalam berbagai jenis untuk melakukan berbagai macam kegunaan. Karena persyaratan kinerja dari berbagai aplikasi sangat berbeda, industri manufaktur motor telah mengembangkan berbagai jenis motor dirancang guna memenuhi permintaan yang spesifik. [6] Motor satu fasa dapat diklasifikasikan sebagai berikut, bergantung pada konstruksi dan metode pengasutannya:

1. Motor induksi (split-phase, capacitor and shaded-pole)
2. Motor Tolak/Repulsion Motors
3. Motor seri AC
4. Motor sinkron tanpa eksitasi

Pada motor induksi fasa tunggal tidak memiliki kopel mula, sehingga memerlukan sistem pengasutan antara lain : *split-phase windings*, motor kapasitor, dan Motor kutub bayangan (*shaded-pole*).[7] Pada penelitian ini digunakan pemodelan system pengasutan *split-phase windings*. Secara umum, pada motor induksi terdapat perbedaan kecepatan antara medan putar stator dengan kecepatan aktual rotor. Bila kecepatan keduanya sama, tidak akan ada tegangan induksi yang timbul di stator. Perbedaan kecepatan ini dinamakan slip yang besarnya satu pada saat mulai dan mendekati nol pada saat akan berputar.

Berdasarkan slip, maka karakteristik dari torsi dapat dijelaskan melalui persamaan daya pada rotor :

$$P = \left(\frac{1-s}{s}\right) \times I_2^2 R_2 \quad (1)$$

Torsi pada rotor menjadi :

$$T_r = \frac{1}{2\pi \cdot N_r} \times \left(\frac{1-s}{s}\right) \times I_2^2 R_2 \quad (2)$$

Karena : $N_r = N_s(1-s)$, maka :

$$T_r = \frac{2}{2\pi \cdot N_s} \times \frac{I_2^2 R_2}{s} \quad (3)$$

Atau

$$k = k \times \frac{I_2^2 R_2}{s} \quad (4)$$

Torsi total pada rotor (T_r) menjadi :

$$T_t = T_M + T_B \quad (5)$$

Dimana

T_t = Torsi total

T_M = Torsi maju

T_B = Torsi mundur

Dimana :

$$T_M = T_r = k \times \frac{I_2^2 R_2}{s} \quad (6)$$

dan

$$T_B = -k \times \frac{I_2^2 R_2}{(2-s)} \quad (7)$$

Sehingga besar slip rotor oleh fluks berputar berlawanan arah jarum jam :

$$\text{slip} = \frac{N_s - (-N_r)}{N_s} \times 100\% = 1 + \frac{N_r}{N_s} \quad (8)$$

$$N_s = \frac{f \times 120}{p} \quad (9)$$

Dimana :

f = Frekuensi (Hz)

P = Kutub/Pole

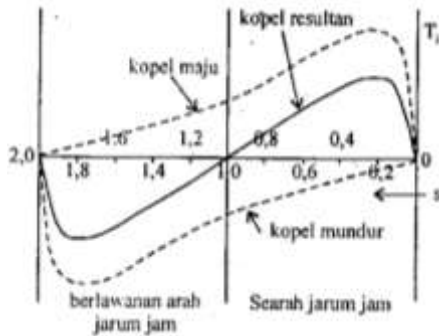
N_s = Kecepatan medan putar stator

N_r = Kecepatan aktual rotor

Karena : $N_r / N_s = (1-s)$, maka :

$$S_B = 1 + (1 - s) = (2 - s) \quad (10)$$

Hasil persamaan (3) dan (4) tersebut dapat dipresentasikan dalam grafik karakteristik kopel (torsi) dengan nilai slip $0 \leq s \leq 2$:



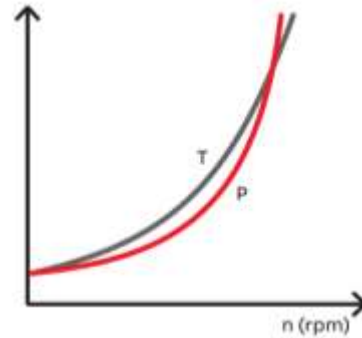
Gambar 2. Grafik karakteristik kopel (torsi) motor induksi satu fasa

Hasil torsi dari penjumlahan T_M dan T_B memiliki nilai yang sama besar dan menghasilkan garis simetris, sehingga T_t (mulai) = 0 sehingga motor tidak dapat berputar.[7]

Perawatan pada motor induksi fase tunggal, sederhana serta pengoperasian yang handal bila dilengkapi dengan pengontrol yang disetel secara optimal guna peningkatan faktor daya, pengurangan kerugian pengumpan, tegangan stabil, riak arus minimal, dan pemanfaatan/konservasi energi yang efisien.[2] Cara-cara pengendalian putaran motor menurut Zuhail dalam bukunya antara lain dengan mengubah jumlah kutub motor, mengubah frekuensi, dan pengaturan tahanan luar[8].

Guna menentukan unit pengendalian kecepatan yang sesuai pada suatu aplikasi, jenis beban dan permintaan sistem penggerak perlu ditentukan tipe beban motor. Beberapa karakteristik torsi Beberapa jenis beban secara umum antara lain[9]: torsi konstan, Torsi kuadratik, Torsi kuadratik, daya konstan, kombinasi jenis beban daya konstan dengan torsi konstan, dan *Starting/breakaway torque demand*.

Torsi kuadratik adalah jenis beban yang paling umum. Aplikasi yang umum adalah pompa sentrifugal dan kipas angin. Torsinya bersifat kuadrat, dan tenaganya berbanding kubik dengan kecepatan. [9]



Gambar 3. Kurva torsi dan daya tipe kuadratik saat diaplikasikan

Pada pengaplikasian beban torsi motor T_{beban} dapat dinyatakan dalam persamaan melalui perkalian kecepatan putar (ω^2) dengan konstanta beban (K_{beban}) sebagai berikut :[10]

$$T_{beban} = K_{beban} \times \omega^2 \quad (11)$$

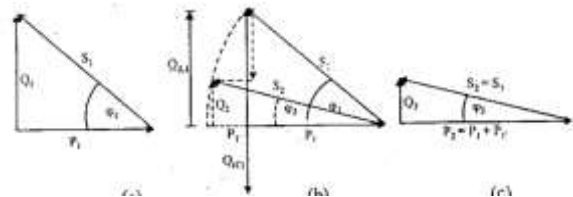
Dimana,

T_{beban} = Torsi sebagai beban/ *Torque Load*

K_{beban} = konstanta beban

ω = kecepatan putar (rad/s)

Beban berupa motor induksi akan menarik daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan arus induksi. Besar daya yang dapat digunakan ditentukan oleh faktor daya. Baik *lagging* atau *leading* bersifat memperkecil besar daya tersebut. Untuk mempertahankan nilai daya yang dapat digunakan maka kapasitor akan diparalel sebagai upaya memasok daya reaktif ke beban bersifat induktif (*lagging*).



Gambar 4. Segitiga Faktor Daya

Daya listrik bila digambarkan melalui teori vector akan membentuk tiga buah komponen (jenis), antara lain daya semu (S) kapasitas daya terpasang, daya aktif (P) daya terpakai, dan daya reaktif (Q).[7]

Jika arus dan tegangan berupa sefasa dan $\phi = 0^\circ$, maka didapatkan persamaan dalam satuan Watt :

$$P = V \cdot I \cos \phi = V \cdot I \quad (12)$$

Berdasarkan gambar 4 maka diperoleh persamaan :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (13)$$

$$P = S \cos \phi \quad (14)$$

$$Q = S \sin \phi \quad (15)$$

$$Q = P \tan \phi \quad (16)$$

Kemudian, Untuk arus dan tegangan sinusoidal, faktor daya dapat direpresentasikan dengan persamaan :[8]

$$PF = \frac{P}{VI} = \frac{P}{S} = \frac{VI \cos \phi}{VI} = \cos \phi \quad (17)$$

Dalam menentukan kondisi *lagging* atau *leading* ditentukan oleh sudut faktor daya (ϕ).

2 METODOLOGI



Gambar 5. Blok Diagram Rangkaian Penelitian

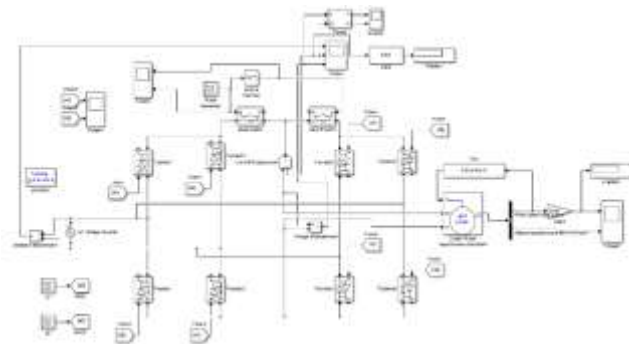
Penelitian dilakukan dengan mengubah frekuensi melalui rangkaian pensaklaran seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 blok diagram. Pengubahan pada rangkaian pensaklaran didasarkan pada rumus :

$$f = \frac{1}{T} \quad (17)$$

Dimana,

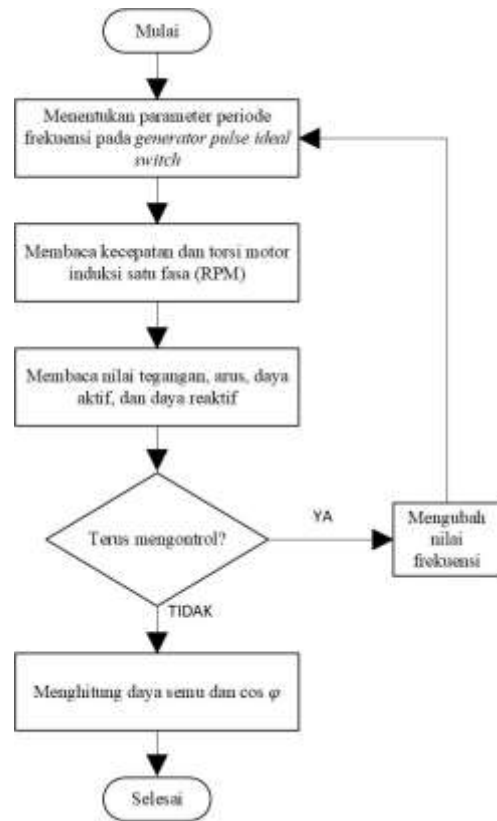
T = Periode (s)

f = Frekuensi (hz)



Gambar 6. Rangkaian Model Simulasi Cycloconverter Berbeban Motor Induksi 1 Fasa 750 Watt

Penelitian ini dilakukan sebanyak 5 kali percobaan pada frekuensi 50 Hz, 25 Hz, 16.6 Hz, 12.5 Hz, dan 10 Hz. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil gambaran unjuk kerja dari *cycloconverter* satu fasa terhadap kecepatan pada motor induksi satu fasa dengan karakteristik torsi beban kuadratik (pompa sentrifugal, kipas, dll). Adapun unjuk kerja yang akan diamati ialah tegangan, torsi, daya, arus, dan kecepatan putar motor.



Gambar 7. Diagram alir pemodelan

berdasarkan gambar 7 diagram alir dapat disusun suatu algoritma untuk pengaturan frekuensi dengan *cycloconverter* sebagai berikut :

1. Menentukan parameter periode frekuensi pada *generator pulse* yang terhubung pada *ideal switch*.
2. Membaca nilai keluaran kecepatan dan torsi motor induksi satu fasa 750 Watt dengan jenis torsi beban kuadratik
3. Membaca nilai keluaran tegangan, arus, daya aktif, dan daya reaktif yang dihasilkan dari unjuk kerja.
4. Kembali ke langkah 1 jika akan terus melakukan pengendalian dengan mengubah parameter periode siklus untuk frekuensi masukan yang berbeda.
5. Setelah mengumpulkan data hasil pemodelan, selanjutnya menghitung daya semu dan $\cos \phi$ /faktor daya.
6. Menganalisis hasil pemodelan.

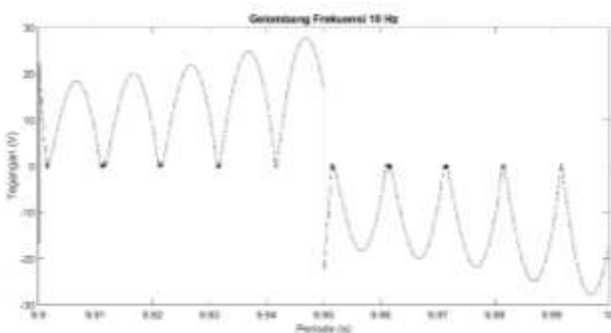
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

konverter-P dan konverter-N *cycloconverter* beroperasi secara bergantian pada periode $T_o/2$ yang memvariasikan nilai T_o .

Tabel 1. Periode gelombang satu siklus

Frekuensi Keluaran (Hz)	Variabel periode siklus (s)
$f = \frac{1}{50}$	0,02
$f = \frac{1}{25}$	0,04
$f = \frac{1}{16,6}$	0,06
$f = \frac{1}{12,5}$	0,08
$f = \frac{1}{10}$	0,1

Perangkat *cycloconverter* yang dihubungkan dengan motor akan menghasilkan bentuk gelombang keluaran yang berbeda dengan nilai tegangan yang berbeda pula.

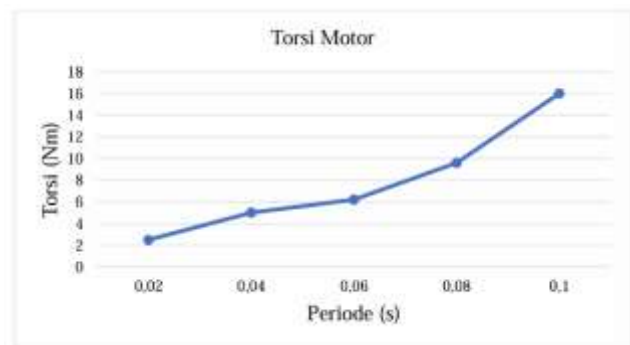


Gambar 8. Bentuk gelombang frekuensi kelurana 10 Hz

Tabel 2. Hasil pengujian kecepatan motor dan presentasi pengurangan kecepatan

Variabel periode siklus (s)	Frekuensi Keluaran (Hz)	Kecepatan Stator/Ns (RPM)	Kecepatan Rotor/Nr Saat Berbeban (RPM)	Presentase Selisih Kecepatan Ns-Nr (%)	Torsi Motor (Nm)
0,02	50	1500	639,4	57,37	2,5
0,04	25	750	482,7	35,64	5
0,06	16,6	498	353,2	29,07	6,2
0,08	12,5	375	279,6	25,44	9,6
0,1	10	300	242,1	19,3	16

Pada pengujian yang telah dilakukan, kecepatan motor Induksi satu fasa akan menurun dua kali lipat dari kecepatan sinkron hingga mencapai kecepatan maksimal rotor karena jenis torsi beban. Hal ini dilakukan dengan menghubungkan jenis beban torsi kuadrat (pompa, kipas, dan lain sebagainya) berada di bawah batasan torsi/kecepatan motor induksi pada kecepatan terukur (torsi) berdasarkan persamaan $T = 1,93 \times 10^{-4} \times \omega^2$.



Gambar 9. Grafik hubungan frekuensi dengan torsi motor

Pada pengujian torsi mekanik dihasilkan nilai torsi tertinggi 16 Nm saat kecepatan motor 242,1 RPM dan frekuensi keluaran 10 Hz. Sedangkan nilai torsi terendah 2,5 Nm terjadi saat kecepatan motor 639,4 RPM dan frekuensi keluaran 50 Hz. Hasil ini menunjukkan adanya hubungan torsi dengan frekuensi keluaran dimana saat frekuensi keluaran tinggi maka torsi akan menurun. Sementara saat frekuensi keluaran rendah, torsi cenderung akan meningkat.

Tabel 3. Pengukuran daya motor induksi

Variabel periode siklus (s)	Frekuensi Keluaran (Hz)	Data Pengukuran Simulasi				Perhitungan S (VA)	Perhitungan Faktor Daya
		Matlab					
		V (V)	I (A)	P (Watt)	Q (VAR)		
0,02	50	21,89	11,65	930,4	575,3	1093,89	0,85
0,04	25	23	13,18	970	574	1127,10	0,86
0,06	16,6	24,95	7,98	991	586	1151,29	0,86
0,08	12,5	26,5	16,06	1012	604	1178,54	0,85
0,1	10	27,75	17,11	1025	613,8	1194,72	0,85

Pengukuran daya yang dihasilkan pada pengujian simulasi merupakan daya aktif dan daya reaktif. Untuk mengetahui nilai daya semu berdasarkan persamaan 13 :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Maka jika, Frekuensi keluaran=50 Hz

$$S = \sqrt{930,4^2 + 575,3^2} = 1093,89 \text{ VA}$$

Frekuensi keluaran=25 Hz

$$S = \sqrt{970^2 + 574^2} = 1127,10 \text{ VA}$$

Frekuensi keluaran=16,6 Hz

$$S = \sqrt{991^2 + 586^2} = 1151,29 \text{ VA}$$

Frekuensi keluaran=12,5 Hz

$$S = \sqrt{1012^2 + 604^2} = 1178,54 \text{ VA}$$

Frekuensi keluaran=10 Hz

$$S = \sqrt{1025^2 + 613,8^2} = 1.194,72 \text{ VA}$$

Kemudian dengan memperhitungkan besar nilai daya aktif (P) dan daya Semu (S) nilai faktor daya yang diperoleh berdasarkan persamaan (17) jika frekuensi keluaran=50 Hz, maka :

$$\text{Faktor Daya} = \frac{P}{S}$$
$$\text{Faktor Daya} = \frac{930,4}{1093,89} = 0,85$$

Frekuensi keluaran=25 Hz

$$\text{Faktor Daya} = \frac{970}{1127,10} = 0,86$$

Frekuensi keluaran=16,6

$$\text{Faktor Daya} = \frac{991}{1151,29} = 0,86$$

Frekuensi keluaran=12,5

$$\text{Faktor Daya} = \frac{1012}{1178,54} = 0,85$$

Frekuensi keluaran=10 Hz

$$\text{Faktor Daya} = \frac{1025}{1194,72} = 0,85$$

Pada tabel 4.3 menunjukkan tegangan dan arus rata-rata keluaran motor induksi mencapai 24,81 V dan 13,196 A, semakin rendah frekuensi keluaran maka nilai tegangan dan arus akan semakin besar. Peningkatan arus dan tegangan dapat disebabkan kumparan stator pada motor yang terhubung pada *cycloconverter* berperilaku seperti sebuah induktor. Induktor memiliki persamaan $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$, dimana saat f (frekuensi) divariasikan maka nilai X_L juga berubah.

Peningkatan terjadi saat arus dan tegangan yang ditarik motor semakin besar memengaruhi terjadi peningkatan daya aktif. Berdasarkan persamaan $P = I \cdot V$, daya akan semakin meningkat bila tegangan atau arus mengalami peningkatan.

Kemudian faktor daya yang dihasilkan pada penelitian ini konstan, dimana hal ini dipengaruhi oleh meningkatnya nilai daya aktif dan daya semu, berdasarkan persamaan Faktor daya = P/S. Faktor daya rata-rata yang dihasilkan dalam pengujian ini tidak ideal bagi kualitas daya karena nilainya 0,85.

4 KESIMPULAN

Setelah proses pemodelan dan analisa dari unjuk kerja *cycloconverter* sebagai pengendalian kecepatan motor induksi satu fasa 750 watt dengan jenis beban torsi kuadratik, maka didapat kesimpulan:

1. Pengendalian kecepatan motor induksi satu fasa 750 Watt dengan dibebani jenis torsi kuadratik yang umumnya diimplementasikan pada pompa sentrifugal dan kipas melalui perangkat *cycloconverter* menghasilkan kecepatan yang menurun akibat dari pembebanan pada torsi mekanik motor induksi. Penurunan kecepatan yang terjadi berbanding lurus dengan nilai frekuensi dan kecepatan rotor motor induksi.

2. Frekuensi keluaran *cycloconverter* yang semakin kecil dapat meningkatkan nilai daya, arus, dan tegangan pada motor induksi.
3. Torsi pada motor induksi akan semakin tinggi bila frekuensi keluaran *cycloconverter* semakin kecil dan akan berbanding terbalik dengan kecepatan motor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. S. Carson, "INTRODUCTION TO MODELING AND SIMULATION," Proc. 2004 Winter Simul. Conf., 2004.
- [2] M. H. Rashid, M. F. Rahman, D. Patterson, A. Cheok, and R. Betz, Power Electronics Handbook Devices, Circuits, And Applications. Elsevier Inc, 2011.
- [3] M. A. Saputra, A. Herawati, and I. N. Anggraini, "Analisis Pengaruh Sudut Penyalan TRIAC Terhadap Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Menggunakan Cycloconverter," Int. J. Eng. Sci. Technol., vol. 11, no. 1, pp. 8–13, 2021.
- [4] I. W. Djatmiko, Bahan Ajar ELEKTRONIKA DAYA. 2010.
- [5] T. Sutikno and T. Wahono, Konverter AC-AC Prinsip dan Aplikasi. Institute of Advanced Engineering and Science (IAES), 2020.
- [6] B. . Theraja, "SINGLE-PHASE MOTORS," in A Textbook of Electrical Technology in S.I Units, Vol. 2: AC and DC Machines, 2013.
- [7] M. Wijaya, Dasar-Dasar Mesin Listrik. Jakarta: Penerbit Djambatan, 2001.
- [8] Zuhail, Dasar Tenaga Listrik & Elektronika Daya. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [9] ABB Drives, Technical guide No . 7 Dimensioning of a drive system, no. 7. .
- [10] M. Errouha, S. Motahhir, Q. Combe, and A. Derouich, "Intelligent control of induction motor for photovoltaic water pumping system," SN Appl. Sci., no. August, 2021, doi: 10.1007/s42452-021-04757-4.