

Analisis Pengaruh Sudut Penyalaan TRIAC Terhadap Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Menggunakan Cycloconverter

Muhammad Alvin Saputra¹, Afriyastuti Herawati¹, Ika Novia Anggraini¹

¹Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu

afriyastuti_herawati@unib.ac.id

ABSTRACT

A single-phase induction motor is one type of electric motor that is most widely used in everyday's life, especially for running small loads. The application of this single phase induction motor is not only in households but also in shops, shopping centers, and industry. In its operation, single-phase induction motors can be operated with constant speed and variable speed. The operation of a single-phase induction motor at a constant speed can be done by inputting the nominal voltage and frequency of the motor. Meanwhile, the operation of a single-phase induction motor with varying speeds can be done by adjusting the input frequency of the motor. In this study, an induction motor speed control was carried out using a cycloconverter to regulate the speed of a single-phase induction motor by changing the input frequency of the motor into three variations, namely $f/1$, $f/2$ and $f/3$ at the base frequency of 50 Hz. The cycloconverter switching was designed using TRIAC and then a study was carried out on the effect of the TRIAC's firing angle on the speed, voltage and output power of the motor by varying firing angles by 0° , 30° , 45° , 60° and 90° . The result show, it is found that increasing the firing angle, the motor output voltage decrease, the motor output power also decrease, except at the angle of 60° rises then at the angle of 90° decrease again, while the motor speed increases at the same frequency.

Keyword: cycloconverter, firing angle, TRIAC.

1. PENDAHULUAN

Motor induksi satu fasa merupakan motor yang sederhana, kuat dan handal, dan digunakan dalam jumlah yang besar pada rumah tangga, toko-toko, kantor-kantor dan perusahaan-perusahaan ketika suplai tiga fasa tidak tersedia. Walaupun memungkinkan untuk menghasilkan daya sampai beberapa kilowatt (kW), tetapi sebagian besar motor induksi satu fasa yang tersedia dalam kapasitas daya di bawah 0.5 kiloWatt (kW), dan digunakan pada berbagai peralatan seperti kompressor pada lemari es, mesin cuci, kipas angin, blender, mesin print dan lain-lain.

Dalam operasi kerjanya, motor induksi satu fasa dapat beroperasi pada suatu nilai kecepatan tertentu (konstan) dan pada kecepatan yang dapat diatur sesuai dengan referensi kecepatan yang diinginkan. Namun umumnya motor induksi yang ada pada saat ini tidak diatur kecepatan putarannya, artinya kecepatan motor

induksi tersebut berputar secara diskrit yaitu berputar pada suatu kecepatan tertentu (konstan).

Untuk mendapatkan kecepatan putaran motor induksi satu fasa yang bervariasi dapat dilakukan menggunakan dua peralatan yaitu inverter dan cycloconverter [1][2]. Pada penelitian ini akan digunakan cycloconverter dalam memvariasikan kecepatan motor.

Penelitian mengenai pengaturan motor induksi satu fasa menggunakan cycloconverter sudah pernah dilakukan. Diantaranya menggunakan pensaklaran thyristor dan TRIAC [3][4][5]. Namun kebanyakan penelitian tersebut hanya berfokus pada hubungan antara frekuensi dengan kecepatan. Sedangkan untuk pengaruh sudut penyalaan terhadap kecepatan motor jarang dibahas. Sedangkan pengaturan frekuensi pada cycloconverter berbasis TRIAC dilakukan dengan cara pengaturan sudut penyalannya sehingga sangat penting untuk menganalisis hubungan antara sudut penyalaan terhadap besaran-besaran pada motor induksi satu fasa. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh sudut penyalaan TRIAC terhadap besaran-besaran pada motor induksi satu fasa yaitu tegangan, daya keluaran motor dan kecepatan motor.

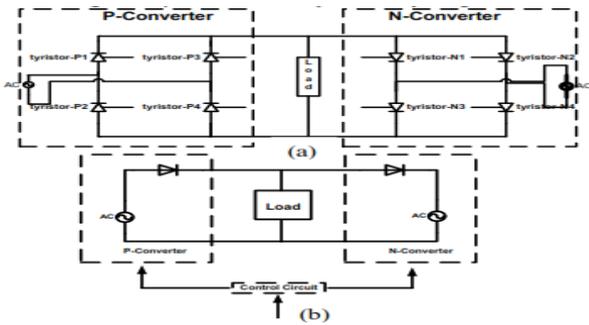
2. TINJAUAN PUSTAKA

Cycloconverter

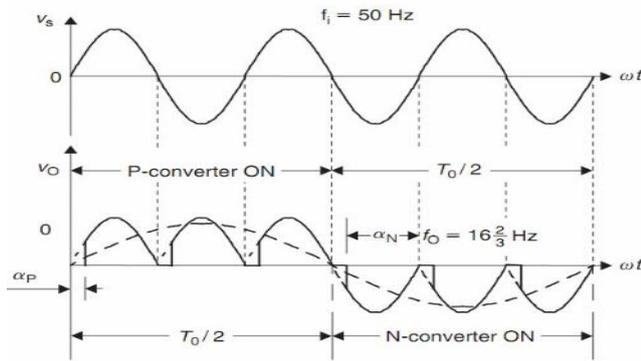
Cycloconverter merupakan suatu alat yang dapat mengubah daya bolak balik secara langsung dari satu frekuensi masukan menjadi daya keluaran bolak balik pada frekuensi yang berbeda (biasanya lebih kecil dari masukannya)[1]. *Cycloconverter* terdiri dari beberapa switch (triac, thyristor, ataupun *Silicon Control Rectifier*) yang disusun paralel dengan sumber. Besar tegangan maupun frekuensi keluaran dapat divariasikan dengan mengatur pensaklaran konverter. Rangkaian *cycloconverter* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Pada Gambar 1.a. dapat dilihat rangkaian daya *cycloconverter* satu fasa. Untuk lebih mudah memahami kerja rangkaian ini sehingga dapat menurunkan frekuensi sumber adalah dengan cara membagi topologi ini menjadi 2 buah rangkaian konverter thyristor-P dan rangkaian konverter thyristor-N yang bekerja secara bergantian, seperti terlihat pada Gambar 1.b. Konverter thyristor-P bekerja untuk membentuk tegangan keluaran pada saat periode positifnya, sedangkan konverter thyristor-N bekerja

setelahnya untuk membentuk tegangan keluaran pada periode negatif arus keluaran.



Gambar 1. (a) Rangkaian Cycloconverter Satu Fasa dan (b) Rangkaian Ekuivalen [4]



Gambar 2. Gelombang Masukan dan Keluaran Cycloconverter dari 50 Hz ke 16,7 Hz dengan Beban Resistif [4]

Pada Gambar 2 terlihat bahwa untuk mengubah sumber tegangan AC 50 Hz menjadi frekuensi yang lebih rendah (16,67 Hz), rangkaian konverter thyristor lengan kiri bekerja sedemikian rupa dengan memainkan sudut penyalanya selama 1,5 periode sumber. Konverter thyristor lengan kanan bekerja setelahnya [4].

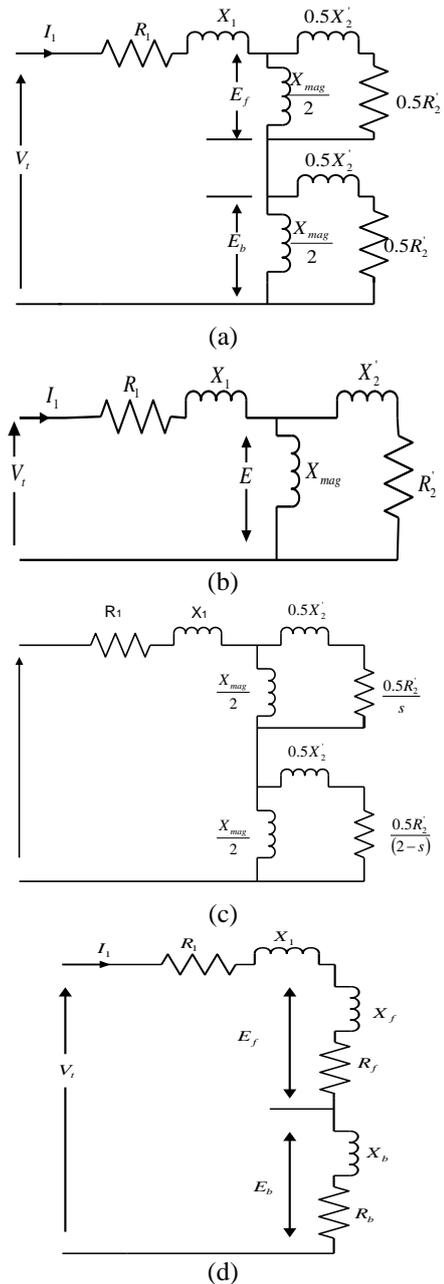
Motor Induksi Satu Fasa

Motor induksi satu fasa secara relatif memiliki konstruksi yang sederhana. Motor jenis induksi memiliki rotor sangkar dan kumparan stator terdistribusi satu fasa. Sebagaimana sifat motor satu fasa yang terdiri atas medan maju dan medan mundur sehingga resultan medannya menjadi nol dan tidak akan start untuk berputar jika kumparan stator dihubungkan ke sebuah suplai ac. Tetapi, jika rotor diberikan sebuah putaran atau distart dengan peralatan tambahan, motor akan kontinyu berputar.

Motor induksi satu fasa mulai bergerak lebih cepat ketika stator dari motor induksi satu fasa tersebut dihubungkan ke suplai daya, arus stator menghasilkan sebuah gaya magnetomotif yang ekuivalen terhadap dua gelombang magnetomotif dengan amplitude konstan yang berputar dalam arah berlawanan pada kecepatan sinkron. Masing-masing dari gelombang berputar ini menginduksikan arus pada rangkaian rotor dan

menghasilkan aksi motor induksi yang sama seperti pada mesin induksi fasa banyak. Teori medan berputar ganda dapat digunakan dalam analisis untuk menentukan performansi kualitatif dan kuantitatif motor induksi satu fasa.

Pertama kita anggap rotor dalam keadaan diam dan kumparan stator dieksitasi dari sebuah suplai satu fasa. Ini ekuivalen dengan sebuah trafo yang sisi sekundernya dihubung singkat. Rangkaian ekuivalennya seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Ekuivalen motor induksi satu fasa (a) dan (b) rotor pada keadaan diam. (c) dan (d) rotor berputar pada slip s.[1]

- Dimana
- R_1 = resistansi kumparan stator
- X_1 = reaktansi bocor kumparan stator
- X_{mag} = reaktansi magnetisasi

- X_2' = reaktansi bocor rotor terhadap stator
- R_2' = resistansi rotor terhadap stator
- V_t = tegangan suplai
- E = tegangan induksi pada kumparan stator (atau tegangan celah udara)

Dan[1]:

$$E = 4.44 fN\phi \dots\dots\dots(1)$$

Dimana ϕ adalah fluks celah udara.

Berdasarkan teori medan berputar ganda, rangkaian ekivalen dapat dipecah menjadi dua bagian seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas, representasi dampak dari medan maju dan medan mundur.[1]

$$E_f = 4.44 fN\phi_f \dots\dots\dots(2)$$

$$E_b = 4.44 fN\phi_b \dots\dots\dots(3)$$

Pada keadaan diam, dimana $\phi_f = \phi_b$, maka

$$E_f = E_b$$

Sekarang anggap motor dalam keadaan berputar pada kecepatan tertentu dalam arah medan berputar maju, slip menjadi s. arus rotor terinduksi oleh medan maju dengan frekuensi sf, dimana f merupakan frekuensi stator. Sebagaimana pada motor banyak fasa, gaya magnetomotive rotor berputar pada slip rpm dengan respek pada stator. Hasil dari gaya magnetomotif stator dan gaya magnetomotif rotor maju menghasilkan sebuah fluks celah udara maju yang menginduksikan tegangan E_f . Rangkaian rotor dicerminkan terhadap stator

memiliki impedansi $j0.5X_2' + \frac{0.5R_2'}{s}$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2c diatas.

Sekarang perhatikan medan berputar mundur (backward), yang menginduksikan arus ke rangkaian rotor pada frekuensi slip (2-s)f. Gaya magnetomotif rotor berputar di celah udara pada kecepatan sinkron dalam arah mundur (backward). Jumlah dari gaya magnetomotif stator mundur dan gaya magnetomotif rotor menghasilkan sebuah fluks celah udara mundur yang menginduksikan tegangan E_b . Rangkaian rotor yang tercerminkan memiliki impedansi $j0.5X_2' + \frac{0.5R_2'}{(2-s)}$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2c. Pada slip yang kecil, bentuk gelombang arus rotor akan menunjukkan komponen frekuensi tinggi [pada $(2-s)f \approx 2f$] mengikuti medan mundur, sedangkan pada komponen frekuensi rendah (pada sf) mengikuti medan maju.[1]

Hal ini jelas dari rangkaian ekivalen yang pada kondisi motor berputar (running), $Z_f > Z_b$, $E_f > E_b$.., dan sebab itu fluks celah udara maju ϕ_f akan lebih besar daripada fluks celah udara mundur ϕ_b . Parameter-parameter dari rangkaian pada gambar c dapat ditentukan dengan dua tes performansi pada motor induksi satu fasa.

Rangkaian ekivalen dapat digunakan untuk menentukan performansi dari motor dengan penghitungan arus stator, daya masukan, torca yang dikembangkan, efisiensi dan seterusnya untuk suatu kecepatan tertentu. Untuk menyederhanakan penghitungan, rangkaian ekivalen sederhana dari gambar d dapat digunakan,[1]

$$Z_f = R_f + jX_f = \frac{j0.5X_{mag} \left(j0.5X_2' + \frac{0.5R_2'}{s} \right)}{\frac{0.5R_2'}{s} + j0.5(X_{mag} + X_2')} \dots\dots\dots(4)$$

$$Z_b = R_b + jX_b = \frac{j0.5X_{mag} \left(j0.5X_2' + \frac{0.5R_2'}{(2-s)} \right)}{\frac{0.5R_2'}{(2-s)} + j0.5(X_{mag} + X_2')} \dots\dots\dots(5)$$

Daya celah udara terhadap medan maju dan medan mundur yaitu [1] :

$$P_{gf} = I_1^2 R_f \dots\dots\dots(6)$$

$$P_{gb} = I_1^2 R_b \dots\dots\dots(7)$$

Dan torkanya [1] :

$$T_f = \frac{P_{gf}}{\omega_{sin}} \dots\dots\dots(8)$$

$$T_b = \frac{P_{gb}}{\omega_{sin}} \dots\dots\dots(9)$$

jumlah torkanya adalah[1] :

$$T = T_f - T_b = \left(\frac{I_1^2}{\omega_{sin}} \right) (R_f - R_b) \dots\dots\dots(10)$$

Daya mekanik yang dikembangkan yaitu[1] :

$$P_{mek} = T\omega_m \dots\dots\dots(11)$$

$$= T\omega_{sin} (1-s) \dots\dots\dots(12)$$

$$= I_1^2 (R_f - R_b) (1-s) \dots\dots\dots(13)$$

$$= (P_{gf} - P_{gb}) (1-s) \dots\dots\dots(14)$$

daya keluarannya [1]:

$$P_{out} = P_{mek} - P_{rot} \dots\dots\dots(15)$$

Dimana Prot termasuk rugi-rugi angin dan gesekan, dan ini diasumsikan rugi-rugi inti besi juga termasuk dalam rugi-rugi rotasi. Dua medan celah udara menghasilkan arus pada rangkaian rotor pada frekuensi yang berbeda. Oleh karena itu rugi-rugi tembaga rotor (rugi-rugi I²R) merupakan jumlah numerik dari rugi-rugi yang dihasilkan pada masing-masing medan.

Rugi-rugi tembaga rotor yang dihasilkan oleh medan maju adalah [1]:

$$P_{2f} = sP_g \dots\dots\dots(16)$$

Dan yang dihasilkan oleh medan mundur adalah [1]:

$$P_{2b} = (2 - s)P_{gb} \dots\dots\dots(17)$$

Total rugi-rugi tembaga rotor adalah [1] :

$$P_2 = sP_{gf} + (2 - s)P_{gb} \dots\dots\dots(18)$$

Total daya celah udara merupakan jumlah numerik dari daya celah udara yang diserap dari stator oleh dua komponen medan celah udara, yaitu [1] :

$$P_g = P_{gf} + P_{gb} \dots\dots\dots(19)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

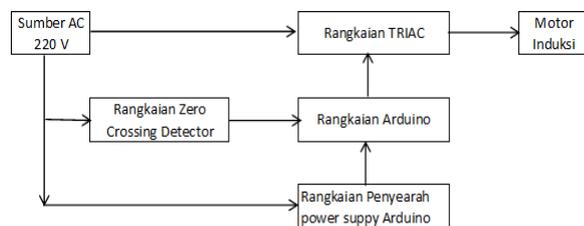
Pada penelitian yang dilakukan menggunakan objek yaitu motor induksi satu fasa dengan spesifikasi yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi motor induksi satu fasa

No.	Parameter	Nilai
1.	Tegangan Nominal	220 V
2.	Kecepatan (Ns)	3000 Rpm
3.	Daya	1/4 HP
4.	Arus	< 1,9 A
5.	Frekuensi	50 Hz
6.	Jumlah Kutub	2

3.2 Diagram Blok Keseluruhan Sistem

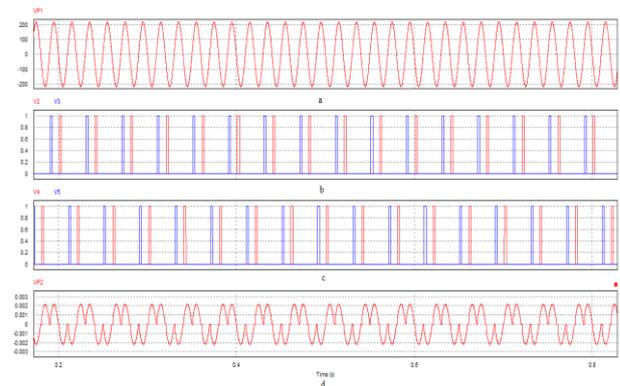
Penelitian ini dilakukan dengan dua bagian yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan tahap perancangan perangkat lunak (*software*). Pada bagian ini menjelaskan perancangan secara umum dari sistem kerja pengaturan kecepatan putaran motor induksi satu fasa. Perancangan meliputi diagram blok sistem yang diinginkan, sehingga setiap komponen yang membangun sistem kerja ini bisa tergambar dengan jelas. Keseluruhan sistem dari perancangan alat ini ditunjukkan dalam diagram blok pada Gambar 3.1 diagram blok keseluruhan sistem.



Gambar 4. Diagram Blok Keseluruhan Sistem

Pada Gambar 4 Diagram blok keseluruhan sistem terlihat bahwa sumber tegangan yang digunakan adalah sumber tegangan listrik AC 220 Volt 50 Hz. Dari sumber tegangan listrik AC 220 V ini dibutuhkan untuk rangkaian *zero crossing detector* dan perancangan catu daya. Rangkaian *zero crossing detector* digunakan untuk mendapatkan titik persimpangan antara gelombang tegangan bolak-balik dengan titik nol. Selanjutnya, sinyal keluaran rangkaian *zero crossing detector* ini akan diolah

arduino. Kemudian, rangkaian power supply digunakan sebagai sumber tegangan untuk rangkaian arduino. Pada rangkaian arduino ini digunakan untuk mengatur sinyal *switching* dari kontrol yang dipengaruhi oleh *zero crossing detector*. Pada rangkaian *cycloconverter*, frekuensi *output* satu fasa kemudian diturunkan tergantung nilai dari *switching* yang diberikan. Frekuensi *output* satu fasa divariasikan yaitu frekuensi input, 1/2 frekuensi input, dan 1/3 frekuensi input. Ketika arduino diset 1/2 frekuensi input maka arduino akan mengeluarkan sinyal *switching* sehingga frekuensi *output* yang dihasilkan setengah dari frekuensi input yang diberikan (Gambar 5).



Gambar 5. Prinsip kerja *cycloconverter* (a) Sinyal input *cycloconverter* (b) Sinyal trigger untuk gate A dan D (c) Sinyal trigger untuk gate C dan B (d) Sinyal output *cycloconverter*

3.2. Pegujian

Pengujian pada penelitian ini akan dilakukan dengan memvariasikan sudut penyalan TRIAC, dimulai dari 0°, 30°, 45°, 60°, sampai 90°. Kemudian pada setiap nilai sudut penyalan akan divariasikan frekuensinya mulai dari f/1, f/2 sampai f/3 dengan f adalah frekuensi dasar PLN sebesar 50 Hz. Setelah itu diukur besaran-besarnya yaitu tegangan, arus, daya dan kecepatan motor. Hasilnya kemudian dianalisis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Kecepatan Rotor Motor Induksi Tanpa Kendali

Pada pengujian ini merupakan tahapan awal dari sistem kendali motor induksi satu fasa. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kecepatan putaran yang dihasilkan pada motor yang digunakan tanpa kendali. Adapun karakteristik motor induksi satu fasa tertera pada Tabel 1 memiliki kecepatan putaran sinkron motor sebesar 3000 rpm dan frekuensi 50 Hz. Kecepatan putaran motor diukur menggunakan tachometer dan nilai yang didapat memiliki selisih yang lebih rendah dari kecepatan putaran sinkronnya. Hal ini dikarenakan tegangan induksi hanya akan terbangkitkan jika terjadi slip yaitu perbedaan kecepatan rotor dan kecepatan medan putara stator yang mengakibatkan perpotongan

antara medan putaran stator dengan konduktor rotor, sehingga motor induksi dapat berputar.

Nilai kecepatan medan stator yang didapat berdasarkan persamaan 2.1 yaitu 3000 rpm dengan frekuensi 50 Hz, sesuai dengan kecepatan nominal motor.

$$n_s = \frac{120 \times 50 \text{ Hz}}{2} = 3000 \text{ rpm}$$

Setelah didapatkan nilai kecepatan medan stator maka dapat dilakukan perhitungan nilai slip yang terjadi pada motor induksi menggunakan persamaan 2.2.

$$\text{Slip} = \frac{3000 \times 2951}{3000} \times 100 \% = 1,63 \%$$

4.2 Pengujian Pengendalian Motor Induksi Terhadap Variasi Sudut Penyalaan

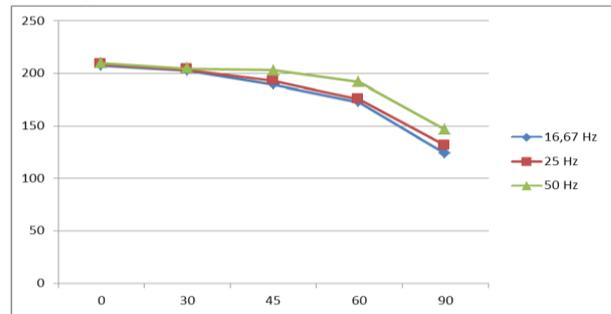
Pengujian kendali motor induksi satu fasa menggunakan *cycloconverter* dengan TRIAC sebagai komponen utamanya untuk pengendali tegangan AC. Pada pengendalian tegangan AC ini diberikan sinyal pemacu atau dengan memberikan sudut penyalaan pada triac. Sudut penyalaan diberikan yaitu sebesar 0°, 30°, 45°, 60° dan 90° yang dikontrol dengan menggunakan arduino. Pemberian sudut penyalaan untuk melihat bagaimana motor induksi dapat beroperasi jika diberi sudut penyalaan yang berbeda. Pengujian ini diharapkan dapat menghasilkan tegangan secara bertahap sampai tegangan nominal motor induksi satu fasa. Adapun data hasil pengujian pengendalian motor induksi terhadap variasi sudut penyalaan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Variasi Sudut Penyalaan TRIAC dengan variasi frekuensi

Sudut Penyalaan (α)	Frekuensi	Actual Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)		Arus (A)		Daya (W)		Kecepatan (RPM)	
			V _{in}	V _{out}	I _{in}	I _{out}	P _{in}	P _{out}	N _i	N _r
0°	fi1	50	220	210	0,5	0,3	110	63	3000	2865
	fi2	25		208,3	0,7	0,4	154	83,32	1500	1435
	fi3	16,67		207,5	0,9	0,6	198	124,5	1000,2	834,2
30°	fi1	50	220	204,7	0,5	0,3	110	61,41	3000	2829
	fi2	25		203,5	0,6	0,4	132	81,4	1500	1351
	fi3	16,67		202,9	0,7	0,5	154	101,45	1000,2	645,7
45°	fi1	50	220	203,2	0,4	0,3	88	60,96	3000	2887
	fi2	25		193	0,8	0,6	176	115,8	1500	1383
	fi3	16,67		189,7	0,8	0,6	176	113,82	1000,2	690,5
60°	fi1	50	220	192	0,6	0,4	132	76,8	3000	2910
	fi2	25		175,1	0,6	0,5	132	87,55	1500	1421
	fi3	16,67		172,4	0,7	0,6	154	103,44	1000,2	870,6
90°	fi1	50	220	146,7	0,4	0,3	88	44,01	3000	2920
	fi2	25		131,6	0,5	0,4	110	52,64	1500	1477
	fi3	16,67		124	0,6	0,6	132	74,4	1000,2	852,2

Dari Tabel 2 dapat dilihat dengan memvariasikan nilai sudut penyalaan maka dapat diketahui nilai tegangan, arus, daya dan kecepatan putaran motor yang dihasilkan. Terlihat bahwa tegangan yang didapat pada sudut penyalaan 0 derajat dengan frekuensi 50 Hz sebesar 210 Volt dan arus sebesar 0,3 Ampere dan kecepatan putaran motor sebesar 2865 RPM, diukur hingga sudut penyalaan 90 derajat dengan frekuensi 16,67 Hz sebesar 124 Volt dan arus sebesar 0,6 Ampere dan kecepatan

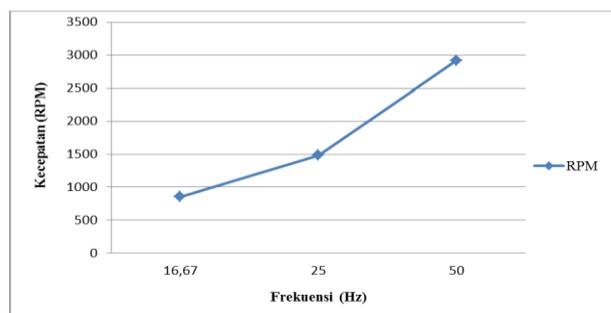
putaran motor sebesar 852,2 RPM. Dari hasil data yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut penyalaan yang diberikan akan mengakibatkan turunnya tegangan *output* dan arus *output* cukup konstan seiring perubahan sudut penyalaan sementara ketika frekuensi yang diberikan semakin kecil maka kecepatan putaran motor akan semakin menurun. Adapun grafik hubungan tegangan terhadap sudut penyalaan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Sudut Penyalaan pada

Berdasarkan Gambar 6 Grafik hubungan tegangan terhadap sudut penyalaan menunjukkan bahwa semakin besar sudut penyalaan yang diberikan maka tegangan yang diberikan akan semakin berkurang.

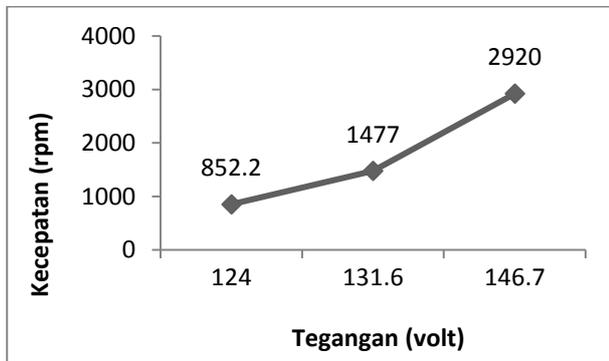
Sebagai sampel pengujian ini, diambil data pada sudut penyalaan 90 derajat untuk mengetahui hubungan antara kecepatan terhadap frekuensi. Adapun grafik hubungan kecepatan terhadap frekuensi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kecepatan Terhadap Frekuensi

Berdasarkan Gambar 7 grafik hubungan kecepatan terhadap frekuensi menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi yang diberikan maka kecepatan motor akan semakin cepat. Ketika frekuensi terendah yang diberikan sebesar 16,67 Hz kecepatan putaran motor yang dihasilkan sebesar 852,2 RPM. Pada saat frekuensi sebesar 25 Hz kecepatan putaran motor yang dihasilkan langsung naik sebesar 1477 RPM dan pada frekuensi tertinggi yang diberikan sebesar 50 Hz kecepatan putaran motor yang dihasilkan sebesar 2920 RPM.

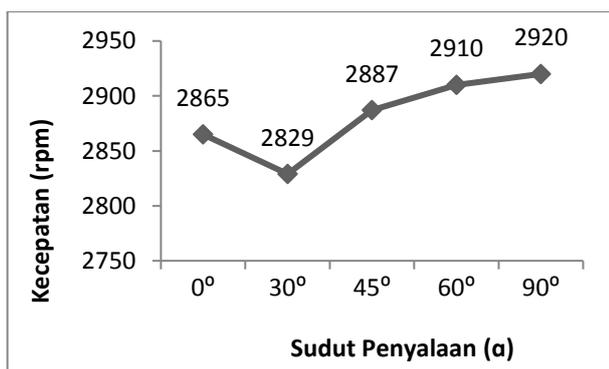
Setelah dilakukannya pengujian kecepatan terhadap frekuensi dengan perubahan sudut penyalan sebesar 90 derajat, maka dapat dibuat grafik hubungan kecepatan terhadap tegangan yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hubungan Kecepatan Terhadap Tegangan pada frekuensi 50 Hz

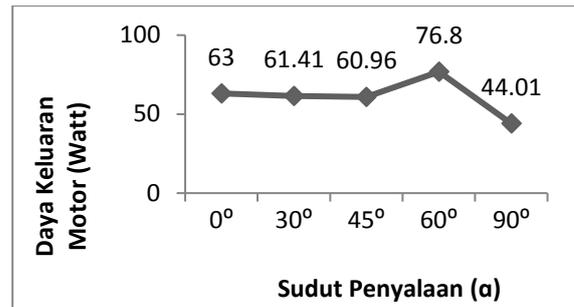
Berdasarkan Gambar 8 grafik hubungan kecepatan terhadap tegangan menunjukkan bahwa untuk nilai frekuensi yang sama, semakin besar tegangan yang diberikan maka kecepatan motor akan semakin cepat. Tegangan terkecil yang terukur yaitu pada saat kecepatan putaran motor sebesar 852,2 RPM dengan tegangan 124 Volt, sedangkan tegangan yang tertinggi yaitu pada saat kecepatan putaran motor sebesar 2920 RPM dengan tegangan 146,7Volt.

Sedangkan untuk mengamati hubungan antara sudut penyalan dengan kecepatan, dapat dilihat pada Gambar 9. Dari Gambar 9 terlihat pada frekuensi yang sama yaitu $f/1$ atau 50 Hz, maka kecepatan cenderung naik dengan naiknya sudut penyalan, kecuali dari sudut penyalan 0° ke 30° mengalami penurunan tetapi setelah itu naik. Trend yang sama juga didapatkan pada frekuensi $f/2$ dan $f/3$.



Gambar 9. Grafik hubungan sudut penyalan terhadap kecepatan pada frekuensi 50 Hz

Untuk pengamatan terhadap daya motor pada variasi sudut penyalan dapat dilihat pada Gambar 10. Untuk nilai frekuensi yang sama yaitu 50 Hz, terlihat bahwa seiring dengan kenaikan sudut penyalan maka daya semakin turun, kecuali pada sudut penyalan 60° mengalami peningkatan kemudian turun lagi di sudut 90° .



Gambar 10. Grafik hubungan sudut penyalan terhadap daya keluaran motor pada frekuensi 50 Hz

5. KESIMPULAN

1. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa semakin besar sudut penyalan TRIAC pada cycloconverter maka tegangan akan semakin turun dengan tegangan tertinggi sebesar 210 V pada frekuensi 50 Hz dengan sudut penyalan 0° dan terendah sebesar 124 V pada frekuensi 16,67 Hz dengan sudut penyalan 90° .
2. Untuk nilai frekuensi yang sama, maka semakin besar sudut penyalan maka kecepatan akan semakin meningkat, sedangkan daya akan semakin menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P.C. Sen, *Principles of Electric Machines and Power Electronics*, Edisi Kedua, John Wiley & Sons Inc, Canada, 1997.
- [2] N.Mohan, T. Undeland, W. Robbins, "*Power Electronics: Converters, Applications and Design*", Edisi Kedua, John Wiley & Sons Inc, New York, 1992.
- [3] Tarmizi. 2010. *Desain Sistem Kontrol Sudut Penyalan Thyristor Komutasi Jaringan Berbasis Mikrokontroler PIC 16F877*. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh, 2010.
- [4] Karnika Sharma, dkk. 2016. *Speed Control of Single Phase Induction Motor Using TRIAC & Reversal of Direction, Vol.3*, 2016.
- [5] Ayebatonye Marttyns Epemu, Kingsley Okeoghene Enalume, *Speed Control of a Single Phase Induction Motor Using Step-down Cycloconverter. Nigeria*.2018.
- [6] Arindya, Radita, *Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik*. Graha Ilmu: Yogyakarta, 2013.
- [7] Sumardjati, Prih, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*, Hlm 90. Jakarta, 2008.
- [8] Djoekardi, Djuhana, *Mesin-Mesin Listrik Motor Induksi*. Universitas Trisakti: Jakarta, 1996.
- [9] Sumanto, Drs, *Motor Listrik Arus Bolak-Balik*. Yogyakarta. Hlm.43. Jakarta, 1993.
- [10] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*. PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta, 1998.