

## **SIMULASI INVERTER TIGA FASA DENGAN KONTROL ARUS *RAMP* COMPARISON CONTROL CURRENT UNTUK PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA**

### ***SIMULATION OF THREE PHASE INVERTER WITH RAMP COMPARISON CURRENT CONTROL FOR THREE PHASE INDUCTION MOTOR CONTROL***

**Hazlif Nazif**

Program Teknik Elektro Universitas Ekasakti

[hazlif\\_n@yahoo.co.id](mailto:hazlif_n@yahoo.co.id)

**ABSTRAK:** Pemanfaatan motor induksi tiga fase yang dipergunakan semakin meningkat dalam dunia industri, rumah tangga dan transportasi karena memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, dan perawatan yang mudah. Namun motor induksi ini dikendalikan oleh inverter masih menggunakan teknik kendali yang manual dengan mengatur tegangan input dan frekuensi. Oleh karena itu, diperlukan kontrol arus *ramp comparison current control* untuk inverter pada motor induksi tiga fase untuk mengatur kecepatan putaran motor induksi tiga fase dan frekuensinya diharapkan sesuai dengan pengaturan kecepatan putaran motor induksi yang dibutuhkan. Pengujian terhadap Inverter menggunakan teknik kontrol arus *ramp* menunjukkan bahwa inverter ini menghasilkan gelombang sinusoidal sesuai dengan motor induksi membutuhkan gelombang sinusoidal. Pengujian terhadap motor induksi tiga fase yang dilakukan dengan frekuensi yang bervariasi antara 40Hz-60Hz. Hasil pengujian dengan frekuensi 40Hz menunjukkan bahwa menghasilkan nilai torsi 0.999N.m, kecepatan putaran 800 rpm dan nilai arus per fasa 13A. Sedangkan, hasil pengujian dengan frekuensi 60Hz menunjukkan bahwa menghasilkan nilai torsi 1N.m, kecepatan putaran 1200 rpm dan nilai arus per fasa 31A.

**Kata Kunci:** *Frekuensi, Kecepatan Putaran, Kontrol Arus Ramp Comparison Current Control, Motor Induksi tiga fasa*

**ABSTRACT:** *The use of three-phase induction motors that are used is increasing in the industrial, household and transportation world because of their simple construction, relatively inexpensive, and easy maintenance. However, this induction motor is controlled by an inverter still using manual control techniques by adjusting the input voltage and frequency. Therefore it is necessary to control the current ramp comparison current control for the inverter on the three phase induction motor to adjust the rotation speed of the three phase induction motor and the frequency is expected to match the required rotation speed setting of the induction motor. Tests on the inverter using the ramp current control technique show that this inverter produces a sinusoidal wave in accordance with an induction motor that requires a sinusoidal wave. Tests on three-phase induction motors were carried out with varying frequencies between 40Hz-60Hz. The test results with a frequency of 40Hz show that it produces a torque value of 0.999N.m, a rotation speed of 800 rpm and a current value per phase of 13A. Meanwhile, the test results with a frequency of 60Hz show that it produces a torque value of 1N.m, a rotation speed of 1200 rpm and a current value of 31A per phase.*

**Keywords:** *Frequency, Rotation Speed, Ramp Comparison Current Control, Three Phase Induction Motor*

#### **A. PENDAHULUAN**

Pemanfaatan motor induksi tiga fase yang dipergunakan semakin meningkat dalam dunia industri, rumah tangga dan transportasi karena memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, dan perawatan yang mudah. Namun motor induksi ini dikendalikan oleh inverter masih menggunakan teknik kendali yang mengatur input tegangan dan frekuensi secara manual. Oleh

karena itu diperlukan kontrol arus *ramp comparison current control* untuk inverter pada motor induksi tiga phase untuk mengatur kecepatan putaran motor induksi diharapkan dapat sesuai dengan kebutuhan.

Penelitian yang terdahulu, penelitian yang pernah dilakukan tentang strategi kendali kecepatan motor induksi menggunakan PWM inverter berbasis jaringan saraf tiruan. Sebuah metode ini untuk mengendalikan kecepatan motor induksi menggunakan PWM inverter tiga fasa yang dikendalikan oleh pengendali berbasis jaringan saraf tiruan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kendali berbasis jaringan saraf tiruan mampu mengendalikan motor induksi sesuai kecepatan referensi yang diinginkan dengan ketepatan yang tinggi (Adi Kurniawan.2015).

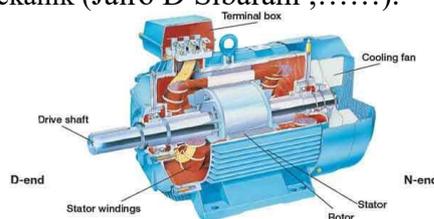
Penelitian yang pernah dilakukan tentang penerapan metode *hysteresis space vector pulse width modulation* pada inverter tiga fasa untuk pengaturan kecepatan dan efisiensi motor induksi. Dengan metode *indirect vector control* diterapkan untuk pengaturan kecepatan dan menggabungkan metode SVPWM (*Space vector pulse width modulation*) dengan *hysteresis* sehingga menjadi metode *hysteresis space vector pulse width modulation* (HSVPWM). Hasil simulasi menunjukkan bahwa dapat mengikuti dapat mengikuti set point sebesar 600 rpm dengan rise time 0.527 detik, steady state 0.723 detik dengan overshoot sebesar 0.8%. Ripple arus keluaran pada inverter menggunakan metode HSVPWM dapat berkurang 65%. Efisiensi motor induksi menggunakan metode HSVPWM yang semula 91% dapat ditingkatkan menjadi 94% atau kenaikan 3% (Hendi Purnata.,2017).

Dalam penelitian ini, inverter tiga phase dengan kontrol arus *ramp comparison current control* diharapkan dapat mengendalikan kecepatan putaran motor induksi tiga phase sesuai dengan yang diinginkan. Model dan Simulasi ini dibuat menggunakan perangkat lunak PSIM Versi 9.0.3. Kontrol arus *ramp comparison current control* adalah kontrol yang membandingkan arus error ke dalam gelombang segitiga untuk menghasilkan sinyal penyulutan yang digunakan untuk mengendalikan saklar statis. Karena mempunyai respon dinamik yang cepat dan frekuensi switching yang konstan dalam mengendalikan arus output (B.Chitti Babu.2010).

## B. LANDASAN TEORI

### 1. Motor Induksi

Motor Induksi merupakan mesin listrik yang digunakan dalam dunia industri dan rumah tangga, yang terdapat dua jenis motor induksi yaitu motor induksi 1 fasa dan 3 fasa. Dalam dunia industri, motor induksi 3 fasa memerlukan kapasitas daya listrik yang besar seperti pompa, kompresor, fan, blower, konveyor, dan penggerak proses produksi lainnya. Sedangkan dalam rumah tangga, motor induksi 1 fasa memiliki kapasitas daya listrik yang rendah seperti angin kipas, motor pompa air dan lain- lain. Energi listrik dapat diubah menjadi energi mekanik dengan dialiri oleh daya listrik. Induksi medan magnet yang terjadi akibat kumparan pada stator yang dihubungkan ke arus 3 fasa sehingga menghasilkan energi mekanik (Jairo D Sibarani ,.....).



Gambar 1. Motor Induksi

Fluksi bolak-balik yang berubah-ubah yang dihasilkan oleh arus dialiri. Medan putar yang berputar yang dihasilkan oleh penjumlahan dengan kecepatan putar sinkron  $N_s$ . Besarnya nilai  $N_s$  ditentukan oleh jumlah kutub  $p$  dan frekuensi stator  $f$  yang dirumuskan dengan,

$$N_s = \frac{120f}{p} \text{ (rpm)}$$

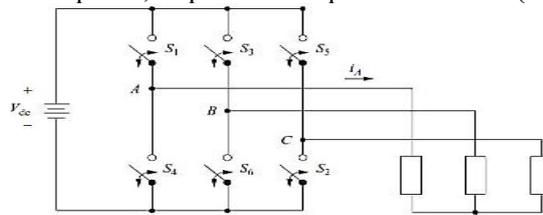
(1)

Dimana,

- $f$  = Frekuensi Sumber (Hz)
- $p$  = Jumlah kutub
- $N_s$  = Kecepatan Sinkron(rpm)

**2. Inverter**

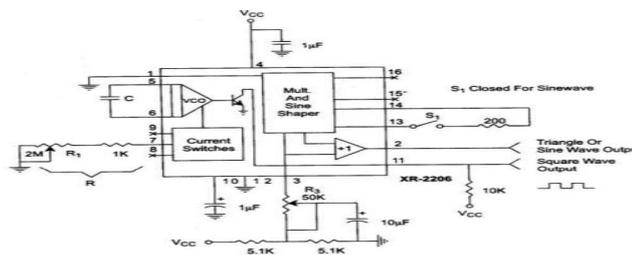
Inverter merupakan sumber tegangan DC yang dikonversi menjadi sumber tegangan AC sesuai kebutuhan peralatan elektronik atau motor listrik bertegangan AC dengan frekuensi tegangan yang diatur. Jenis inverter yaitu *inverter square wave*, *inverter pure sine wave* dan *inverter modified sine wave*. Dalam rumah tangga, motor listrik 1 fasa memerlukan kapasitas daya listrik yang kecil seperti kipas angin, pompa air dan lain lain, sementara dalam dunia industri, motor listrik 3 fasa memerlukan kapasitas daya listrik yang besar. Sebuah inverter disuplai dari sebuah sumber DC dimana output tegangan dan arus AC-nya mempunyai komponen fundamental dengan frekuensi dan amplitudo yang dapat divariasikan. Komponen utama dari rangkaian inverter, biasanya memerlukan komponen semikonduktor pensaklaran berupa MOSFET, IGBT, maupun SCR. Untuk membuat inverter 1 fasa, memerlukan 4 komponen semikonduktor sehingga menghasilkan bridge inverter 1 fasa. Sementara untuk inverter 3 fasa, memerlukan 6 komponen semikonduktor untuk membuat *bridge inverter 3 phase*.. diperlihatkan pada Gambar 2 (Agus Cahya,.....).



Gambar 2. Rangkain Inverter 3 fasa

**3. Rangkaian Penghasil Bentuk Gelombang**

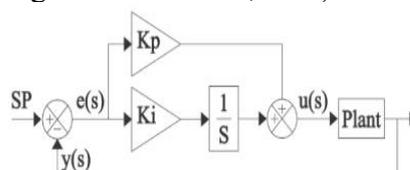
Rangkaian penghasil bentuk gelombang yang bertujuan dapat membangkitkan berbagai bentuk gelombang. Bentuk gelombang yang dapat dihasilkan oleh function generator diantaranya seperti bentuk gelombang Sinus(*Sine Wave*), gelombang kotak(*Square Wave*), gelombang gigi gergaji (*Saw Tooth Wave*), gelombang segitiga (*Triangular wave*) dan gelombang pulsa (*Pulse*) (Eddy Nurraharjo,2013).



Gambar 3. Rangkaian Penghasil Sinyal Sinusoidal, Segitiga dan Persegi

**4. Rangkaian PI**

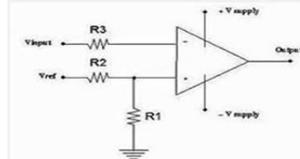
Rangkaian kendali PI terdiri dari parameter kendali P (*proporsional*) dan parameter kendali I (*integral*) yang masing-masing memiliki karakteritik tersendiri. Karakteristik dari kendali P yaitu dapat mempercepat respon output dari suatu plant untuk mencapai suatu *set point*. Sedangkan karakteristik dari kendali I dapat digunakan untuk memperkecil error saat kondisi *steady state* dari output suatu plant yang dikontrol(Teguh Tri Arvianto,2020).



Gambar 4. Blok Diagram PI

**5. Komparator**

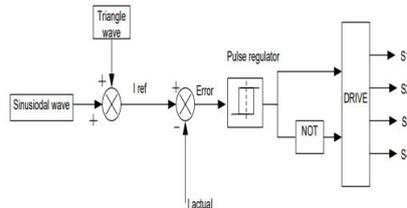
Komparator adalah suatu rangkaian yang digunakan untuk membandingkan tegangan input terhadap suatu tegangan referensi kemudian mengeluarkan output tertentu sesuai dengan kondisi perbandingan tersebut. Rangkaian komparator dapat dibuat dengan memanfaatkan komponen integrated linear atau Op Amp. Komparator digunakan antara lain pada rangkaian *Schmitt Trigger*, *Zero Crossing Detector*, *Voltage Level Detector*, dan *Oscillator* (Noptin Harpawi,2021).



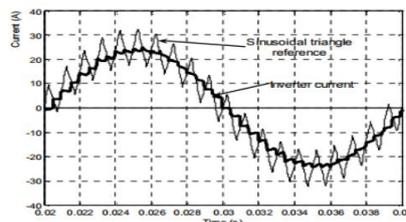
Gambar 5. Blok Diagram Rangkaian Komparator

**6. Kontrol Arus Ramp Current Control.**

Kontrol arus *ramp comparison current control* diwujudkan dengan menambahkan sinyal gelombang sinusoidal ke sebuah sinyal segitiga (*triangular wave*) untuk membuat sebuah sinyal referensi segitiga yang mengikuti pola sinusoidal. Sinyal ini kemudian dibandingkan dengan arus aktual dari inverter. Titik dimana gelombang sinusoidal segitiga dan arus aktual bersilangan menjadi waktu komponen switch inverter diaktifkan (ON). Jika arus aktual lebih besar daripada sinusoidalsegitiga, komponen switch inverter dimatikan(OFF) dan sebaliknya jika arus aktual kurang dari sinusoidal-segitiga maka komponen switch inverter diaktifkan lagi (ON). Bentuk gelombang arus keluaran pada inverter dengan kontrol arus *ramp comparison current control* (Hazlif Nazif,2015).

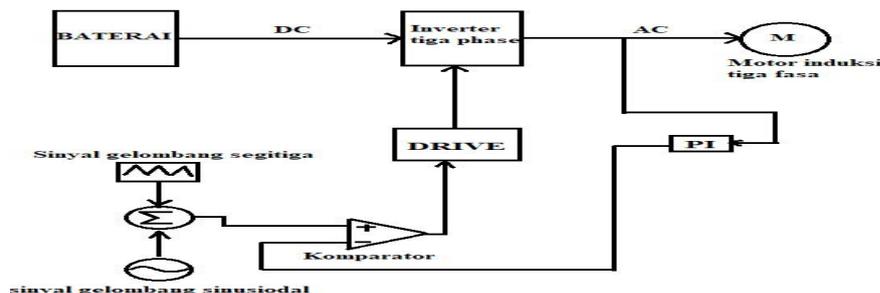


Gambar 6. Blok diagram kontrol arus *ramp comparison current control*



Gambar 7. Bentuk gelombang sinusoidal-segitiga referensi yang dihasilkan

**B. METODE PENELITIAN**



Gambar 8. Diagram Blok Sistem

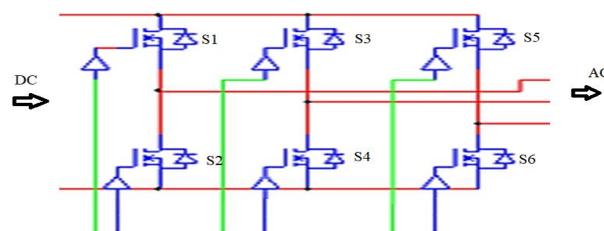
Pada penelitian ini meliputi tentang gambaran umum dari simulasi inverter tiga fasa dengan kontrol arus *ramp comparison control current* untuk pengendalian motor induksi tiga fasa. Rangkaian sistem ini terdiri atas baterai, inverter 3 phase, *PI*, kontrol arus *ramp comparison current control* dan motor induksi 3 phase dimodelkan dan disimulasikan dengan software PSIM 9.0.3 seperti blok diagram sistem, dapat dilihat pada Gambar 8. Fungsi dari masing masing bagian blok diagram yaitu,

1. Baterai adalah perangkat yang terdiri dari satu atau lebih sel elektrokimia dengan koneksi eksternal yang disediakan untuk memberi daya listrik pada rangkaian sistem. Model baterai yang telah tersedia pada software PSIM.
2. Inverter tiga phase berfungsi sebagai pengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC untuk motor induksi 3 phase yang membutuhkan daya listrik AC.
3. Motor Induksi berfungsi sebagai pengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dimana listrik yang diubah adalah listrik tiga fasa. Model Motor Induksi 3 Phase yang telah tersedia pada Software PSIM.
4. *PI* berfungsi sebagai merespon dengan cepat output dari suatu plant untuk mencapai suatu *set point* dan memperkecil error saat kondisi *steady state* dari output suatu plant yang dikontrol
5. Rangkaian Drive berfungsi sebagai penggerak gate MOSFET dari inverter tiga phase dengan sinyal dari kontrol arus *ramp*.
6. Kontrol arus *ramp comparasion current control*, terdiri atas rangkaian gelombang segitiga, rangkaian gelombang sinusoidal, rangkaian komparator. Sinyal sinus dari blok gelombang sinusoidal ditambahkan dengan sinyal dari blok gelombang segitiga sehingga menghasilkan sinyal gelombang sinus-segitiga referensi, kemudian dibandingkan dengan sinyal dari arus actual dari inverter sehingga menghasilkan sinyal arus error, dimasukkan ke rangkaian penghasil pulsa untuk membuat pulsa. Output dari penghasil pulsa merupakan sinyal pulsa bagi rangkaian drive yang kendalikan switch inverter tiga phase.

Pengujian yang dilakukan terhadap rangkaian sistem ini, yaitu pengujian motor induksi 3 fasa dengan frekuensi yang bervariasi antara 40 – 60 Hz. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah nilai kecepatan putaran yang dihasilkan oleh motor induksi sesuai dengan pengaturan kecepatan putaran yang dibutuhkan. Hasil pengujiannya diharapkan nilai kecepatan putaran yang dihasilkan dari motor induksi 3 fasa dapat sesuai dengan yang diinginkan.

### Model Inverter Tiga Phase

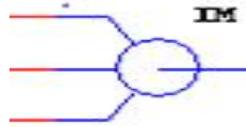
Inverter tiga phase berfungsi sebagai pengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC untuk motor induksi 3 phase yang membutuhkan daya listrik AC. Model inverter tiga phase yang telah dibuat, dapat dilihat pada Gambar 9. Dimana S1 sampai S6 adalah 6 (enam) buah saklar daya, yang dikendalikan oleh modulator PWM menggunakan teknik kontrol arus *ramp*. Saklar dapat menggunakan komponen daya seperti MOSFET atau IGBT. Ketika saklar atas (S1, S3 dan S5) secara berhubungan ON, maka saklar bawah (S2, S4 dan S6) secara berhubungan OFF. Oleh karena itu, perubahan pola switching S1,S3, S5 dan S2, S4, S6 akan membentuk 8 (delapan) pola switching.



Gambar 9. Model Inverter 3 phase

### Model Motor Induksi Tiga phase

Motor Induksi berfungsi sebagai pengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dimana listrik yang diubah adalah listrik tiga fasa. Model Motor Induksi 3 Phase yang telah tersedia pada Software PSIM.



Gambar 10. Model Motor Induksi 3 phase

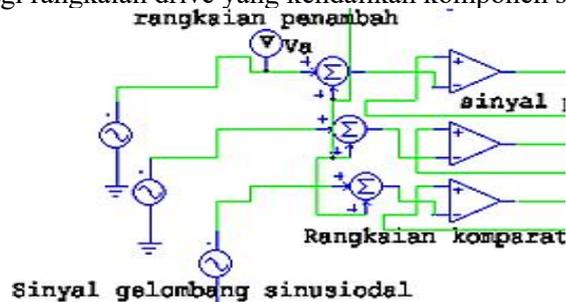
Parameter model motor induksi tiga phase yang digunakan pada simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 11.

Squirrel-cage Ind. Machine		
Parameters   Other Info   Color		
Squirrel-cage induction machine		
Name		Display
Name	IM4	<input type="checkbox"/>
Rs (stator)	0.294	<input type="checkbox"/>
Ls (stator)	0.00139	<input type="checkbox"/>
Rr (rotor)	0.156	<input type="checkbox"/>
Lr (rotor)	0.00074	<input type="checkbox"/>
Lm (magnetizing)	0.041	<input type="checkbox"/>
No. of Poles P	6	<input type="checkbox"/>
Moment of Inertia	0.4	<input type="checkbox"/>
Torque Flag	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Master/Slave Flag	1	<input type="checkbox"/>

Gambar 11. Parameter Motor induksi 3 phase

### Model Kontrol Arus Ramp Comparison Current Control

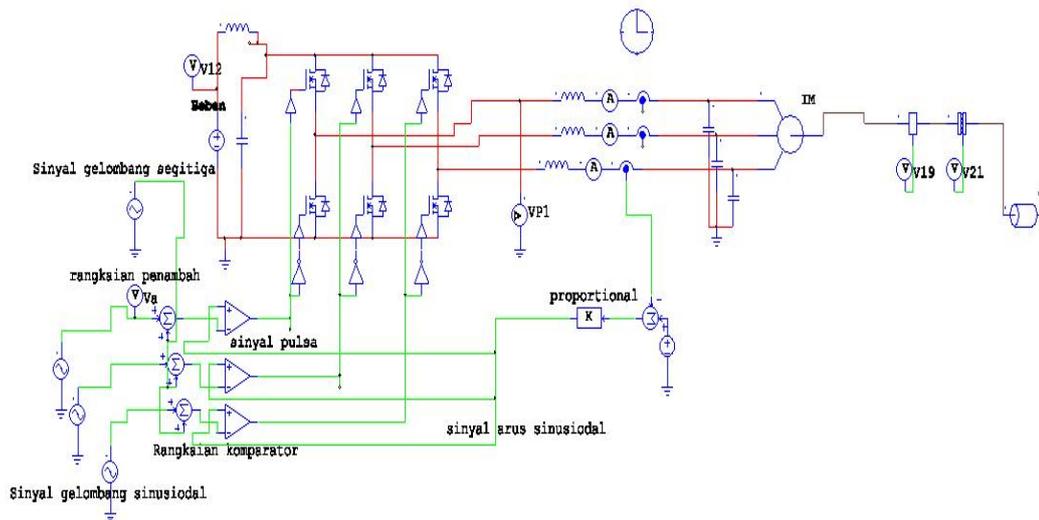
Gambar 12 menunjukkan model kontrol arus *ramp comparison current control* yang telah dibuat. Sinyal sinus dari blok gelombang sinusoidal ditambahkan dengan sinyal dari blok gelombang segitiga sehingga menghasilkan sinyal gelombang sinus-segitiga referensi, dibandingkan dengan sinyal dari arus *actual* dari inverter sehingga menghasilkan sinyal *error*, dimasukkan ke rangkaian penghasil pulsa untuk membuat pulsa. Output dari penghasil pulsa merupakan sinyal gate bagi rangkaian drive yang mengendalikan komponen switch inverter tiga phase.



Gambar 12. Model Kontrol Arus Ramp Comparison Current Control

### Model Inverter Tiga Phase Menggunakan Kontrol Arus Ramp Comparison Control Current Pada Motor Induksi Tiga Phase

Gambar 13 menunjukkan model lengkap rangkaian sistem yang telah dibuat, yang digunakan dalam penelitian ini.

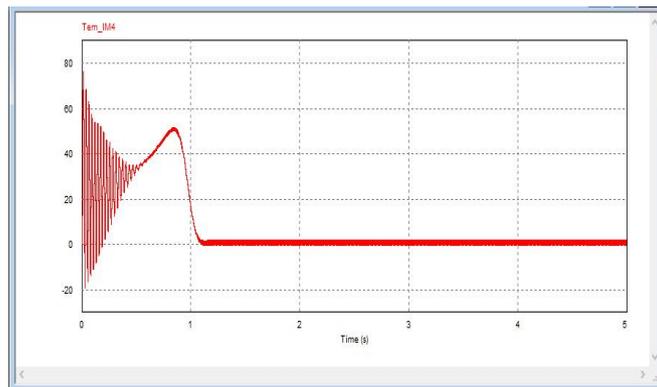


Gambar 13. Model Simulasi Lengkap

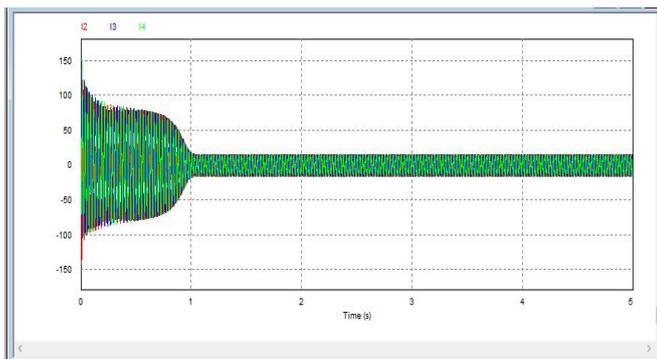
**C. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengujian terhadap motor induksi tiga phase yang dilakukan dengan frekuensi yang bervariasi untuk melihat dan mengetahui bentuk gelombang torsi, kecepatan putaran dan arus per fasa yang dihasilkan oleh motor induksi.

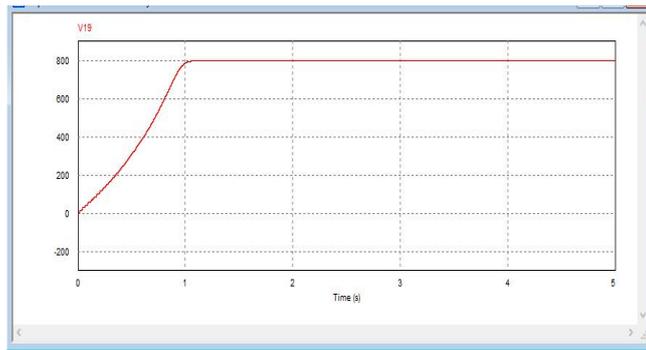
Pengujian terhadap simulasi ini dengan frekuensi 40 Hz. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai torsi 0.999 N.m, 800 rpm dan 13 A per fasa yang dihasilkan, diperlihatkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 14. Dengan frekuensi 40Hz , diperoleh nilai torsi 0.999 N.m

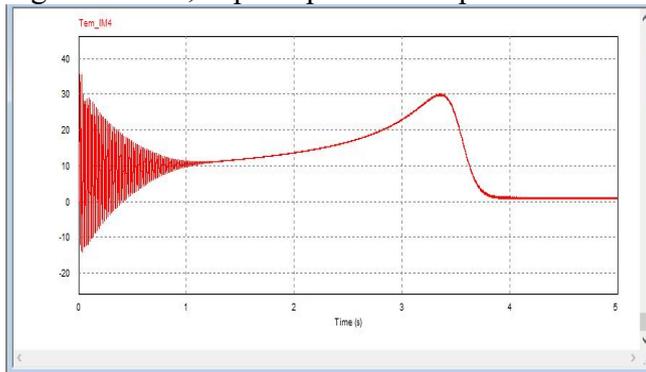


Gambar 15. Dengan frekuensi 40Hz, diperoleh nilai arus per fasa 13A

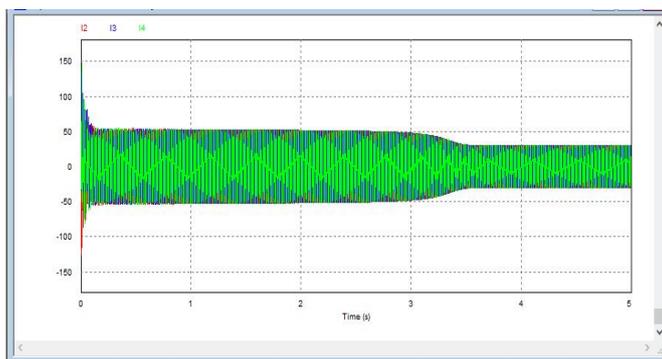


Gambar 16. Dengan frekuensi 40Hz, diperoleh nilai kecepatan putaran 800 rpm

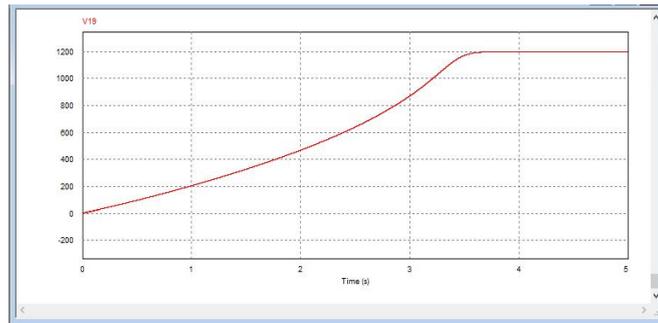
Pengujian terhadap motor induksi tiga phase yang dilakukan dengan frekuensi 60 Hz. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai torsi 1N.m, nilai kecepatan putaran 1200 rpm dan arus per fasa 31 A yang dihasilkan, dapat diperlihatkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 17. Dengan frekuensi 60 Hz, diperoleh nilai torsi 1 N.m



Gambar 18. Dengan frekuensi 60Hz, diperoleh nilai arus per fasa 31 A



Gambar 19. Dengan frekuensi 60Hz, diperoleh nilai kecepatan putaran 1200 rpm

Dari hasil pengujian simulasi berdasarkan gambar 16, terlihat bahwa semakin rendah frekuensi, kecepatan putaran semakin turun. Sementara itu dari gambar 19, diketahui bahwa semakin tinggi frekuensinya, maka kecepatan putaran semakin tinggi.

#### D. PENUTUP

Dari pengujian, simulasi dan analisa inverter tiga phase dengan kontrol arus *ramp comparison current control* untuk pengendalian motor induksi tiga phase, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi frekuensinya, maka kecepatan putaran semakin tinggi. Demikian pula, semakin rendah frekuensinya semakin turun kecepatan putaran. Model motor induksi 3 phase yang dikendalikan oleh inverter menggunakan kontrol arus *ramp comparison current control*, berhasil dibuat dengan program PSIM sesuai dengan teorinya.

#### F. DAFTAR PUSTAKA

- Adi Kurniawan, Anisa Harumwidiah. (2015). Strategi Kendali Kecepatan Motor Induksi menggunakan PWM Inverter berbasis Jaringan Saraf Tiruan. *TRANSMISI*, 17, (2), 2015, E-ISSN 2407-6422, 84.
- Hendi Purnata, Anindya Dwi Risdhayanti, Shabrina Adani Putri, Achmad Komarudin. (2017). Penerapan Metode Hysteresis Space Vector Pulse Width Modulation pada Inverter Tiga Fasa untuk Pengaturan Kecepatan dan Efisiensi motor induksi. *Jurnal INOVTEK Polbeng*, Vol. 07, No. 2, November 2017. E-ISSN 2580-2798
- Jairo D Sibarani, Glanny M Ch. Mangindaan, Abdul Haris J. Ontowirjo, ..... Study Pengaruh Torsi Terhadap Kinerja Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan MatLab. [http://repo.unsrat.ac.id/2768/1/Jurnal\\_Jairo\\_%281%29.pdf](http://repo.unsrat.ac.id/2768/1/Jurnal_Jairo_%281%29.pdf)
- Agus Cahya, Dedid Cahya, Agus Indra, Rusminto, ..... Rancang Bangun Inverter 3 Fasa Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi. <https://docplayer.info/41419887-Rancang-bangun-inverter-3-fasa-untuk-pengaturan-kecepatan-motor-induksi.html>
- Eddy Nurraharjo. (2013). Rangkaian Pembangkit Gelombang dengan menggunakan IC XR-2206. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK* Volume 18, No.1, Januari 2013 : 24-29, ISSN : 0854-9524

- Teguh Tri Arvianto, Endro Wahjono, Irianto Irianto (2020).Perancangan boost converter menggunakan kontrol proporsional integral (PI) sebagai suplai tegangan input inverter satu fasa untuk sistem uninterruptible power supply.TEKNIKA: Jurnal Sains Dan Teknologi Vol 16 No.02 (2020) 136–146.
- Noptin Harpawi, M Susantok, Yuli Triyani(2021).Penerapan Voltage Level Detector (VLD)With Hysteresis Untuk Kontrol Level Air.Jurnal ELEMENTER Vol 7, No. 2, November 2021.
- Hazlif Nazif, Muh. Imran Hamid (2015).Pemodelan Dan Simulasi PV-Inverter Terintegrasi Ke Grid Dengan Kontrol Arus “Ramp Comparison Of Current Control”.Vol: 4, No. 2, September 2015.ISSN: 2302 - 2949