

# Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Tanpa Sensor Kecepatan Melalui Vektor Kontrol Dengan Teknik Artificial Intelegent

Gigih Prabowo <sup>1</sup>, Renny Rakhmawati <sup>2</sup>, Meidy Irvianto <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

<sup>3</sup> Mahasiswa D4 Jurusan Teknik Elektro Industri

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Email: [hmpc\\_sda@yahoo.co.id](mailto:hmpc_sda@yahoo.co.id)

## Abstrak

*Motor induksi banyak digunakan di industri, namun dalam penggunaannya motor induksi memiliki hal-hal yang kurang menguntungkan seperti nilai overshoot tinggi, settling time lama saat start dan bila terjadi pembebanan kecepatan motor induksi akan turun. Dengan menggunakan vektor kontrol, kontrol kecepatan motor induksi 3 phasa tanpa sensor kecepatan dan pengontrolan torsi akan menghasilkan overshoot yang rendah dan settling time yang pendek dengan bentuk transient dan steady state yang baik dapat dicapai. Dengan teknik artificial intelegent yaitu menggunakan PI-Fuzzy controller, kekurangan ini dapat dikurangi. Elemen-elemen controller PI-Fuzzy masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi seperti saat start motor, kondisi tanpa beban dan aplikasi keadaan berbeban. Metode ini menggunakan setting arus dan tegangan input pada close loop untuk perhitungan parameter rotor. Controller dalam metode ini didesain untuk kontrol kecepatan yang digunakan dalam vektor kontrol motor induksi 3 phasa. Hasil yang diperoleh melalui simulasi diharapkan dapat memperbaiki dan memperhalus ripple pada torsi dan arus stator motor. Serta dapat memudahkan pembatasan magnitude dari torsi dan nilai arus dalam range tertentu pada beberapa macam gangguan.*

*Kata kunci: Controller PI-Fuzzy, Inverter, Motor Induksi, Vektor Kontrol*

## 1. PENDAHULUAN

Motor induksi 3 phase saat ini sering digunakan pada industri dengan berbagai aplikasi. Hal ini disebabkan karena motor induksi 3 phase memiliki keunggulan diantaranya handal, tidak ada kontak antara stator dan rotor kecuali bearing, tenaga yang besar, daya listrik rendah dan hampir tidak ada perawatan, tetapi motor induksi 3 phase memiliki kelemahan pada pengontrolan kecepatan karena kecepatannya hanya bergantung pada frekuensi input sedangkan sumber yang ada memiliki frekuensi yang konstan, untuk mengubah frekuensi input lebih

sulit dari pada mengatur tegangan input, dengan ditemukannya teknologi inverter maka hal tersebut menjadi mungkin dilakukan.

Pengaturan kecepatan motor induksi 3 phase dengan controller PI-Fuzzy merupakan close loop control yang umum digunakan di dalam pengaturan kecepatan motor induksi karena memberikan respon kecepatan yang lebih baik daripada open loop control. Namun hal ini membutuhkan perhitungan matematik yang rumit dan kompleks dalam menentukan Kp dan Ki yang sesuai, agar diperoleh kinerja motor yang bagus.

Pengaturan torsi pada sebuah motor induksi menyebabkan overshoot yang rendah dan settling time yang pendek sehingga menghasilkan bentuk transient dan steady state yang baik adalah kreteria utama dari desain kontroler ini.

Dengan teknik artificial intelegent yaitu menggunakan PI-Fuzzy controller, kekurangan ini dapat dikurangi. Elemen-elemen controller PI-Fuzzy masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi seperti saat start motor, kondisi tanpa beban dan aplikasi keadaan berbeban. Metode ini menggunakan setting arus dan tegangan input pada close loop untuk perhitungan parameter rotor. Controller dalam metode ini didesain untuk kontrol kecepatan yang digunakan dalam vektor kontrol motor induksi 3 phasa. Hasil yang diperoleh melalui simulasi diharapkan dapat memperbaiki dan memperhalus ripple pada torsi motor dan arus stator. Serta dapat memudahkan pembatasan magnitude dari torsi dan nilai arus dalam range tertentu pada beberapa macam gangguan.

Untuk mengontrol kecepatan motor induksi 3 phase tanpa sensor kecepatan melalui vector control dengan teknik artificial intelegent ini adalah menggunakan microcontroller AT Mega 16 dengan keypad sebagai input pengaturan kecepatannya dan kecepatan dari motor yang diperoleh melalui estimasi kecepatan akan ditampilkan pada LCD.

## 2. DASAR TEORI

### A. Prinsip Dasar Vektor Kontrol

Vektor kontrol adalah suatu metode pengaturan kumparan medan pada motor induksi, dimana dari sistem coupling dirubah menjadi sistem decoupling. Dengan sistem ini arus penguatan dan arus beban motor dapat dikontrol secara terpisah, sehingga torsi dan fluks juga dapat diatur secara terpisah, seperti halnya motor dc. Implementasi flux vektor pada motor induksi 3 fasa membutuhkan perhitungan/simulasi pada orientasi stator, rotor dan torsi. Untuk memudahkan simulasi motor dari kondisi transient sampai stabil, maka koordinat *abc* pada motor diubah ke dalam model bayangan/vektor ke bentuk *dq* (direct, quadrature).

Persamaan untuk transformasi *abc* ke *dq*, adalah :

$$i_{ds} = \text{Re}[\bar{i}_s] = \text{Re}\left[\frac{2}{3}(ia + aib + a^2ic)\right] = \frac{2}{3}\left(ia - \frac{1}{2}ib - \frac{1}{2}ic\right) \quad (1)$$

$$i_{qs} = \text{Im}[\bar{i}_s] = \text{Im}\left[\frac{2}{3}(ia + aib + a^2ic)\right] = \frac{1}{\sqrt{3}}(ib - ic) \quad (2)$$

Sehingga persamaan terakhir torsi adalah :

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{L_r} \frac{L_m}{L_r} (\phi_{rd} i_{sq} - \phi_{rq} i_{sd}) \quad (3)$$

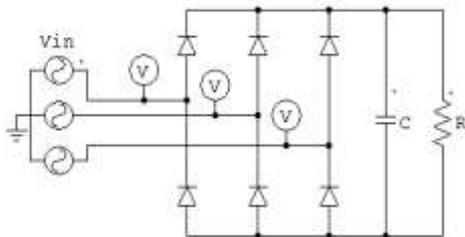
Dimana :

$$\phi_r = \phi_{rd} + j\phi_{rq}; \text{ apabila } \phi_{rq} = 0 \quad (4)$$

$$\text{maka } \phi_r = \phi_{rd}$$

### B. Rectifier 3 Fasa

Rangkaian rectifier 3 fasa dan 6 buah diode yang dapat mengubah tegangan 3 fasa menjadi tegangan DC. Rangkaiannya seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1 berikut :

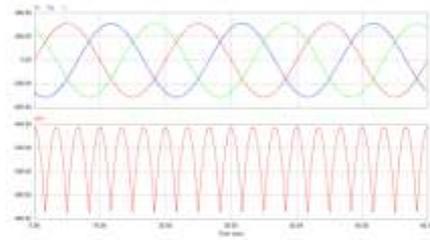


**Gambar 1.** Rangkaian Rectifier 3 Fasa.

Untuk menentukan tegangan keluaran dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_m = \sqrt{2} \times V_s \quad (5)$$

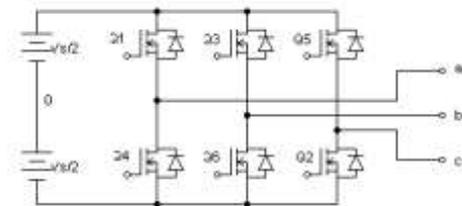
$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} V_m \quad (6)$$



**Gambar 2.** Gelombang V input dan V output rectifier.

### C. Inverter 3 Fasa

Konverter DC ke AC dinamakan inverter. Fungsi sebuah inverter adalah mengubah tegangan input DC menjadi tegangan output AC simetris dengan besar dan frekuensi yang diinginkan. Tegangan outputnya bisa tertentu dan bisa juga diubah – ubah dengan frekuensi tertentu atau frekuensi yang diubah – ubah. Tegangan output variabel didapat dengan mengubah – ubah tegangan input DC agar gain inverter konstan. Disisi lain, apabila tegangan input DC adalah tertentu dan tidak bisa diubah – ubah, bisa didapatkan tegangan output yang variabel dengan mengubah – ubah gain dari inverter. Gain inverter didefinisikan sebagai rasio tegangan output AC terhadap tegangan input DC.

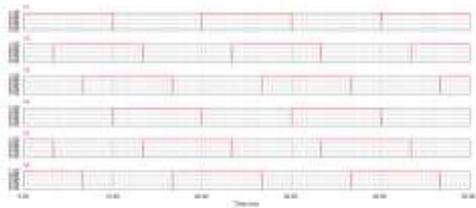


**Gambar 3.** Rangkaian Inverter 3 Fasa.

Rangkaian Inverter ini terdiri dari enam buah piranti switching (MOSFET) yang bekerja secara berpasangan dan bekerja (on-off) secara bergantian. Maka membutuhkan enam buah pulsa yang bekerja on-off secara bergantian. Rangkaian dasar Three Phase Full Bridge Inverter pada Gambar 4. didesain untuk menghasilkan tegangan 380 Vac dan arus 3 Ampere. Untuk memenuhi keadaan tersebut, piranti yang sesuai untuk Three Phase Full Bridge Inverter ini menggunakan MOSFET tipe IRFP 460. MOSFET ini memiliki kemampuan switching diatas 50 KHz, batas kemampuan tegangan drain-source sampai 500 V dan arus drain ID 20 Ampere.

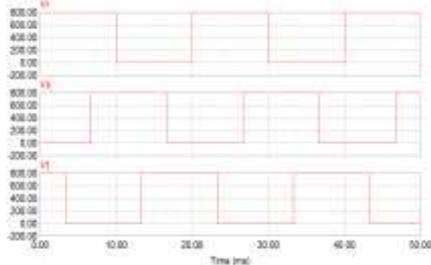
Untuk menentukan tegangan keluaran dari inverter dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{out} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_s \quad (7)$$



**Gambar 4.** Pulsa switching untuk inverter.

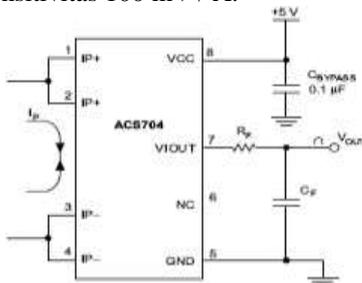
Dengan simulasi menggunakan sudut switching 180° untuk inverter seperti pada gambar 4 diatas, maka dihasilkan pulsa keluaran dari inverter seperti pada gambar 5, dibawah ini :



**Gambar 5.** Pulsa Keluaran Inverter.

#### D. Sensor Arus

Untuk sensor arus digunakan IC ACS 712 yang dapat membaca nilai arus hingga 15 Ampere. Output dari sensor arus ini berupa tegangan yang proporsional dengan nilai arus input yang dibaca, dengan sensitivitas 100 mV / A.



**Gambar 6.** Skematik sensor arus ACS 712.

#### E. Sensor Tegangan

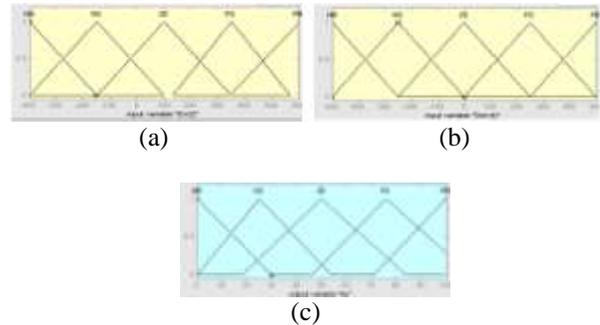
Sensor tegangan menggunakan resistor pembagi tegangan dipasang secara paralel antara phasa dan netral. Fungsi resistor ini adalah untuk menurunkan tegangan dari tegangan sumber menjadi tegangan yang dikehendaki.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \quad (8)$$

#### F. Perancangan Kontroller PI-Fuzzy

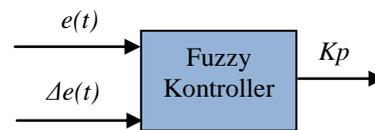
Pada proyek akhir ini kontrol *switching* yang digunakan adalah kontrol PI fuzzy. Kontrol PI fuzzy bekerja dengan cara menerima sinyal dari sensor sebagai output dari plant yang dikontrol. Sinyal ini berupa sinyal output yang kemudian dibandingkan dengan setpoint dan menghasilkan error (selisih setpoint dengan output). Proses perbandingan antara harga error dilakukan sehingga menghasilkan delta error (selisih antara error

sekarang dan terdahulu). Proses *fuzzyfikasi* dilakukan dengan menyusun membership function dari error dan delta error. Adapun membership function dari kontroller ini, adalah :



**Gambar 7.** (a) Membership funtion untuk input error, (b) Membership funtion untuk input delta error, (c) Membership funtion untuk output.

Output dari kontroller masih berupa variabel fuzzy untuk itu perlu dilakukan proses *defuzzyfikasi* untuk mengubah variabel fuzzy menjadi variabel linguistik. Output dari kontroller yang telah *didefuzzyfikasi* digunakan untuk menentukan nilai dai parameter-parameter  $K_p$ . Fungsi fuzzy logic kontroller adalah untuk mengatur parameter PI secara otomatis. Adapun Blok diagram kontroller Fuzzy adalah sebagai berikut :



**Gambar 8.** Blok diagram Kontroller Fuzzy

Kontrol proporsional integral adalah merupakan perubahan dari keluaran kontrol integral  $m(t)$ , berubah dengan fungsi waktu yang sebanding dengan sinyal kesalahan. Hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan  $e(t)$  adalah :

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (9)$$

dengan:  $K_p$  adalah gain proporsional  
 $T_i$  adalah waktu integral

#### Desain Rule Base

Proses ini berfungsi untuk mencari suatu nilai fuzzy output dari nilai fuzzy input. Prosesnya adalah suatu nilai fuzzy input dimasukkan kedalam sebuah rule yang telah dibuat kemudian dijadikan fuzzy output. Sebagai contoh aturan-aturan fuzzy.

- If Error =NB and Derror =NB then  $K_p$  =NB
- If Error = NS and Derror = PS then  $K_p$  =ZE
- If Error = PS and Derror = NB then  $K_p$  =NS

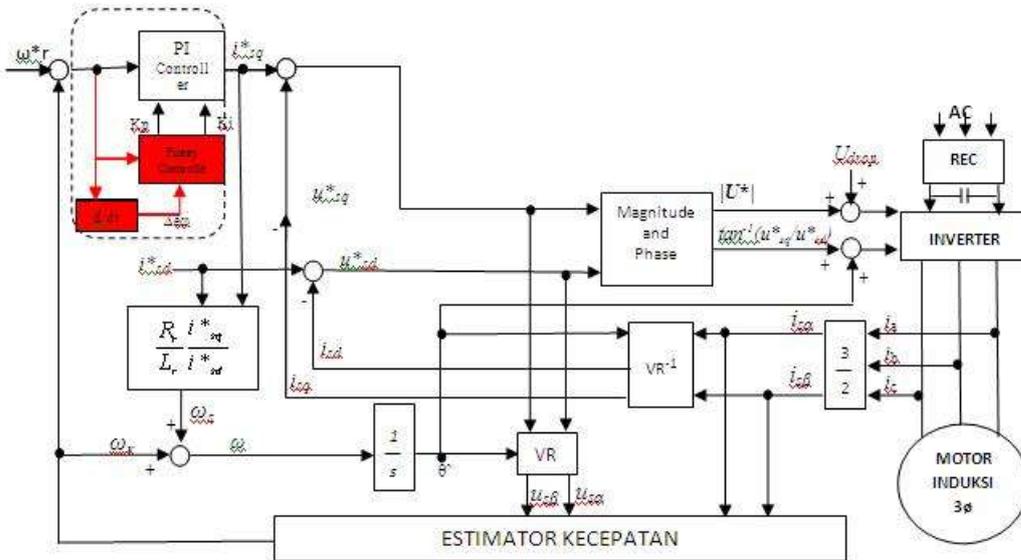
Ada bebrapa operator yang digunakan dalam fuzzy : and, or, dan not. Dalam proyek akhir ini menggunakan and maka input terkecil yang diambil,

misal if error = -100(NB) and Derror = -100 (NB) then  $K_p = 0$  (NB) nilai fuzzy output dari nilai diatas adalah 0. Nilai -100 diambil dari membership function input dengan cara menarik garis lurus vertikal yang diinginkan. Aturan-aturan (rule) mengikuti perilaku umum sistem dan ditulis dalam pola label linguistic fungsi keanggotaan. Untuk dua input yaitu Error dan Delta Error dan satu sistem output, aturan (rule) tersebut dapat ditulis dalam bentuk matriks seperti tabel 1 di bawah.

Derr Error	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	ZE
NS	NB	NS	NS	ZE	PS
ZE	NS	NS	ZE	PS	PS
PS	NS	ZE	PS	PS	PB
PB	ZE	PS	PS	PB	PB

Tabel 1. Rule Base Kontrol Logika Fuzzy

### 3. METODE PERANCANGAN SISTEM



Gambar 9. Blok Diagram Sistem

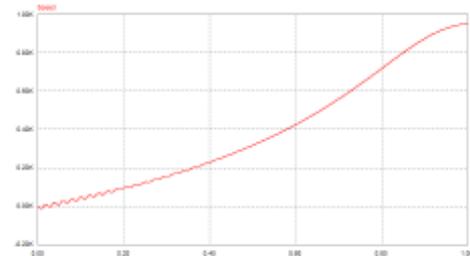
Gambar 9 diatas menunjukkan diagram sistem secara keseluruhan dari pengaturan kecepatan motor induksi 3 fase tanpa sensor kecepatan dengan menggunakan metode vektor kontrol.

Dengan melihat blok diagram diatas tampak bahwa sensor tegangan dan sensor arus menyensor pada posisi input dari motor induksi 3 fase. Kemudian dilakukan transformasi dari *abc* ke *dq* menggunakan persamaan-persamaan vektor kontrol. Kontrol yang digunakan dalam sistem ini akan menghasilkan keluaran berupa arus acuan  $i_{sq}$  yang sebanding dengan besarnya arus  $i_{sq}$  penghasil torsi motor. Metode ini menggunakan setting arus dan tegangan input pada close loop untuk perhitungan parameter rotor.

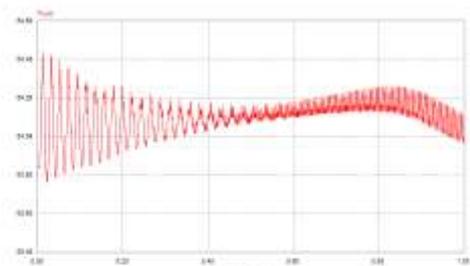
### 4. HASIL PENELITIAN MELALUI SIMULASI

Dari hasil perancangan, dilakukan realisasi/pembuatan baik perangkat keras maupun lunak. Dan diadakan pengukuran/pengujian masing-masing bagian (sub-sistem) dari perangkat-perangkat tersebut sebelum dilakukan integrasi. Untuk mengetahui semua sistem yang telah dirancang sesuai dengan hasil yang

diharapkan, maka dilakukan simulasi terlebih dahulu.



Gambar 8. Gelombang kecepatan motor induksi.



Gambar 9. Gelombang torsi motor induksi

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil percobaan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Pengaturan kecepatan putar motor induksi 3 phasa dilakukan untuk mendapatkan overshoot yang rendah serta settling time yang pendek. lebih tinggi dengan nilai THD sebesar 62%.
- Menggunakan metode vektor kontrol dengan kontroller PI-fuzzy akan tampak sistem yang stabil untuk waktu pengoperasian lama dimana error dapat ditekan sekecil mungkin sehingga kualitas input dan output tetap terjaga.
- Pada Paper ini telah dilaksanakan pembuatan rectifier, inverter serta sensor arus, tetapi masih perlu dilanjutkan lagi.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Krishnan, R, “ ELECTRIC MOTOR DRIVES, Modeling, Analysis and Control”, INTERNATIONAL EDITION, (PHIPE) Pearson Education, Virginia Tech, Blacksburg, VA.
- [2] Dal Y. Ohm\*, “Dynamic Model Of Induction Motors For Vector Control”, \*Drivetech, Inc., Blacksburg, Virginia.
- [3] Arunima Dey<sup>1</sup>, Bhim Singh<sup>2</sup>, Bharti Dwivedi<sup>1</sup>, Dinesh Chandra<sup>3</sup>, “Vector Control Of Three-Phase Induction Motor Using Artificial Inteligent Technique”, <sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Institute of Engineering and Technology, Sitapur Road, Lucknow, India, <sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, IIT, Delhi, India, <sup>3</sup>Department of Electrical Engineering, MNNIT, Allahabad, India. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, NO.4, JUNE 2009.
- [4] Zidan Hasan, Fujii Shuichi, Hanamoto Tsuyoshi, Tsuji Teruo, “A Simple Sensor-less Vector Control System for Variable Speed Induction Motor Drives” Kyushu Institute of Technology.
- [5] Rashid, Muhammad H, ”*Power Electronics Handbook*”. Canada. ACADEMIC PRESS, 2001.
- [6] Rochim, Saiful, “*Rancang bangun AC to DC semikonferter 3 fasa dengan frekwensi rendah dengan control switching PID fuzzy*”. Surabaya. PENS-ITS, 2006.
- [7] Prabowo, Gigih, “*Rectifiers (AC to DC Converters).pdf*”, Surabaya. PENS-ITS, 2004