

# Perancangan Dan Implementasi Field Oriented Control (FOC) dan PID Didalam Koordinasi Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa

Andri Ramadhan<sup>1</sup>, Syafira Amalia<sup>2</sup>, Feri F Silalahi<sup>2</sup>, Joslan Situmorang<sup>2</sup>, Syahramlan<sup>2</sup>, Yehezkiel Tampone<sup>2</sup>,  
Solly Aryza<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Teknik Mesin, Universitas Al-Azhar Medan, Indonesia

<sup>2</sup> Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

Email: syafiraa3103@gmail.com

## Abstrak

Motor induksi merupakan sebuah motor yang sulit untuk dikontrol sehingga memerlukan kecepatan yang sinkron dikarenakan adanya perubahan beban yang dinamis yang dikendalikan adalah arus torsi sedangkan arus medan dibuat konstan. Dengan demikian didalam paper ini adalah mengimplementasikan metode kontroler PID adaptif dengan motor induksi menggunakan Matlab yang mengkoordinasikan kecepatan dua beban decouple dengan motor induksi tiga fasa dimana didesain dan direalisasikan sebuah kontroler PID adaptif Self Tuning Regulator (STR) untuk pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan software Mtlab dan Mikrokontroler AVR Atmega16 sebagai input dan output dari plant dengan komunikasi menggunakan serial rs232. Hasil menunjukkan bahwa setelah dilakukan koordinasi system dengan masing-masing motor yang diberikan controller neural dan FOC didapatkan hasil kecepatan motor yang secara bertahap memberikan kecepatan yang sinkron sehingga dapat disimpulkan system ini dapat bekerja dengan baik untuk memperlambat respon plant.

**Kata Kunci:** Motor Induksi, Kecepatan Motor, metode neural, PID controller

## 1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling banyak diaplikasikan dalam dunia industri [1]. Hal ini dikarenakan motor ini memiliki konstruksi yang kuat, sederhana serta membutuhkan perawatan yang tidak banyak dibandingkan motor DC. Selain itu motor induksi juga memberikan efisiensi yang baik dan putaran konstan untuk tiap perubahan beban. Motor-motor dasarnya diterapkan sebagai sumber beban untuk menjalankan alat-alat tertentu atau membantu manusia dalam melakukan tugasnya sehari hari. Hal ini dimungkinkan karena motor jenis ini memiliki keunggulan-keunggulan baik dari segi teknis maupun ekonomis seperti memiliki konstruksi yang kokoh dan juga perawatannya mudah. Meskipun memiliki keunggulan seperti diatas, motor induksi juga mempunyai kelemahan antara lain motor induksi merupakan motor yang tidak linier, metode untuk mengatur kecepatan rumit, disamping itu diperlukan suatu converter yang dapat menimbulkan harmonisa. Sehingga penulis mencoba membuat suatu pengaturan analisa dari kelemahan motor induksi diatas, dalam hal ini untuk menjaga performa dan kelayakan efisiensi motor agar dapat dipakai dalam waktu jangka panjang dengan kestabilan dan keandalan yang dapat dipertahankan [2].

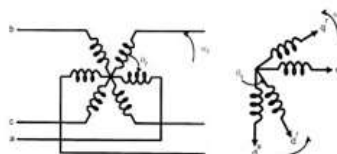
Dari permasalahan tersebut untuk mengestimasi atau mengurangi kelemahan motor digunakan suatu metode analisa dimana dapat mengubah system couple menjadi decouple, dengan system arus penguatan dan arus beban motor dapat dikontrol secara terpisah dengan demikian torka dan fluksi juga dapat diatur secara terpisah.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Rancang Bangun Inverter 3 Fasa untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi. [3] Tegangan input modul diperoleh dari tegangan jala-jala 1 fasa sebesar 50 sampai 210 VAC dan digunakan sebagai supali tegangan motor induksi tiga fasa dengan keluaran maksimal 310VDC. Kecepatan maksimal motor induksi sebesar 1100 rpm dengan frekuensi 50Hz dan minimal 150rpm dengan frekuensi 5Hz. Motor induksi merupakan sebuah perangkat elektro magnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dari berbagai motor listrik yang ada, motor induksi merupakan jenis motor arus bolak-balik yang paling banyak digunakan. Hal ini disebabkan motor induksi memiliki konstruksi yang kuat dan karakteristik kerja yang baik.

### Permodelan Dinamik Motor Induksi Tiga Fasa

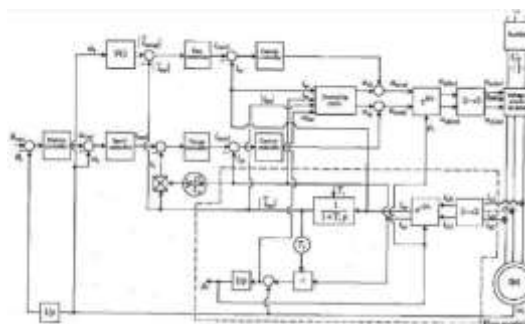
Mesin tiga fasa dapat digambarkan dengan mesin dua fasa yang sebanding. Penggambaran motor induksi dalam dua fasa disimbolkan dalam sumbu (*direct*) dan (*quadrature*). Gambar kumparan tiga fasa dan dua fasa dapat dilihat pada Gambar ini.



**Gambar 1.** (a) Efek Kopling pada Kumparan Stator dan Rotor Tiga Fasa (b) Kumparan Dua Fasa.

### Metode Vector Control

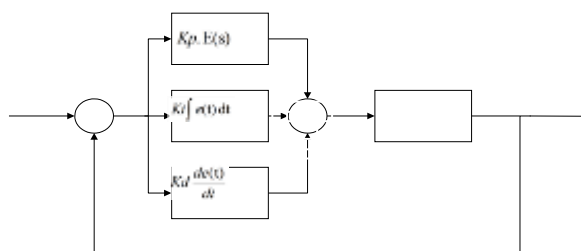
Salah satu pengendalian motor induksi adalah *vector control*. *Vector Control* atau disebut juga *Field Oriented Control* (FOC) merupakan metode pengaturan medan pada motor ac, dimana sistem [4]. Dengan sistem ini sistem arus penguatan dan arus beban motor dapat dikontrol secara terpisah, dengan demikian torsi dan fluksi juga dapat diatur secara terpisah.



Gambar 2. Diagram Blok *Indirect Vector Control*

### Kontroler PID

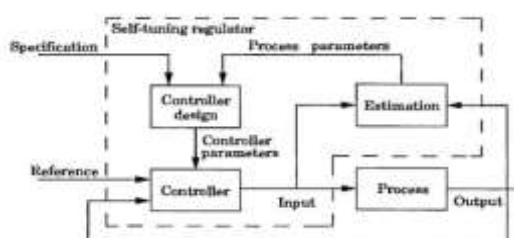
Kontroler ini menghitung nilai kesalahan (*error*) yang merupakan perbedaan antara nilai acuan (*setpoint*) dan keluaran yang terukur sensor. Gambar dibawah menunjukkan diagram blok kontroler PID



Gambar 3. Kontroler PID

### Metode Self-Tuning Regulator

Dengan metode ini, setiap perubahan yang terjadi pada plant akan diestimasikan, dimana variabel proses hasil estimasi tersebut akan digunakan untuk merancang kontroler baru untuk update parameter PI. Prinsip kerja metode self-tuning regulator secara rinci dapat dicek pada diagram blok seperti pada Gambar dibawah ini



Gambar 4. Diagram bloksel f-tuning regulator

Metode *self-tuning regulator* terdiri dari 2 loop. Loop pertama merupakan sistem *closed loop* pada umumnya yang meliputi kontroler, *plant* dan sinyal *feed back*, sedangkan loop lainnya melibatkan proses estimasi, perancangan kontroler baru dan penalaan parameter kontroler.

## 3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Sistem yang dirancang adalah sistem untuk mengendalikan *tracking* kecepatan motor induksi tiga fasa pada *plant* sentrifugal. Waktu yang dibutuhkan setiap siklus ini tergantung dari inersia mesin sentrifugal yang digunakan. Selain itu tahapan dalam proses sentrifugal seperti *starting*, *spinning* dan *breaking* juga berbeda-beda pada setiap mesin sentrifugal, halter sebut tergantung dari kualitas nirakental yang diputar.

Kontroler PID Fuzzy terdapat pada program PLC yang secara langsung mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa agar sesuai dengan *input* yang diinginkan. Sinyal kontrol dari PIDFuzzy berupa tegangan 0–5 VDC. Tegangan ini akan masuk ke *inverter* untuk diubah menjadi frekuensi (Hz). Tegangan DC yang dapat terbaca oleh *inverter* berkisar antara 0 sampai 10V dengan *range* frekuensi yang dihasilkan sebesar 0–50Hz. Hal ini tidak sesuai dengan spesifikasi *inverter*. Oleh karena itu diperlukan suatu rangkaian penguat tegangan dua kali agar tegangan DC yang dikeluarkan PLC menjadi 0–10volt. Saat *inverter* mendapatkan tegangan DC yang sesuai maka tegangan tersebut akan diubah menjadi frekuensi (Hz), sehingga dapat memutar motor induksi 3fasa. Poros motor induksi dirancang dikopel dengan sensor *rotaryencoder* yang dapat mendeteksi kecepatan (rpm) dengan cara mengkonversi jumlah pulsa yang dihasilkan dalam setiap putaran motor. *Output* sensor *rotaryencoder* dapat langsung dibaca oleh modul QD62 (*HighSpeedCounter*) yang ada pada PLC Mitsubishi untuk diproses sebagai sinyal *feedback*. Metode Identifikasi

Proses identifikasi dilakukan secara *open loop* dan statis dengan memberikan sinyal *step* dan melihat respon berupa kecepatan. Sinyal *input* didapat dari *setpoint* yang diberikan pada *PLC*, kemudian hasil respon *plant* yang terbaca oleh *rotaryencoder* yang selanjutnya akan ditampilkan pada komputer melalui proses akuisisi data dengan *PLC Mitsubishi*. Pengambilan data untuk proses identifikasi dilakukan sebanyak 3 kali untuk masing-masing kondisi beban (minimal, nominal, dan maksimal).

Tiga metode identifikasi diterapkan pada satu sampel data untuk didapatkan metode yang paling sesuai. Hasil nilai RMSE terkecil dari berbagai macam metode ini kemudian diterapkan pada dua sampel data yang lainnya. Ketiga metode identifikasi tersebut adalah metode Viteckova orde 2, Latzel, dan Strecj's. Metode Strecj's dipilih karena memiliki validasi nilai RMSE yang paling kecil dari kedua metode yang lain.

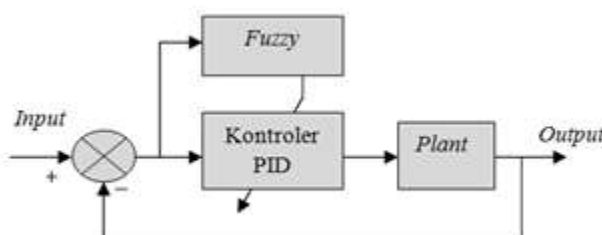
### Perancangan Kontroler PID Fuzzy

Perancangan kontroler PID dilakukan secara analitik. Pencarian parameter kontroler  $K_p$ ,  $\tau_i$ , dan  $\tau_d$  disesuaikan dengan model plant. Pada penelitian ini pencarian parameter kontroler PID dilakukan pada model tiap-tiap kondisi beban. Parameter kontroler PID yang telah didapatkan dipergunakan sebagai batasan dalam perancangan mekanisme penalaran parameter PID.

Dalam sistem ini kendali utama adalah kendali PID sedangkan kendali logika fuzzy bekerja membantu untuk meminimalkan *over shoot/under shoot* yang terjadi dan juga meminimalkan *recovery time* dari respon sistem. Sistem kendali logika fuzzy yang didesain mempunyai 2 input yaitu

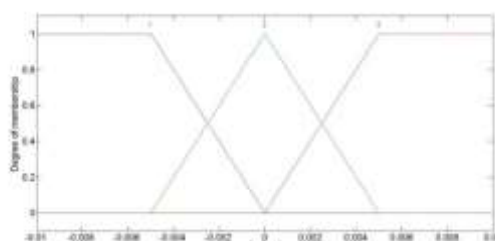
### Error dan delta error

Sedangkan delta error adalah selisih antara pengukuran error sekarang dan error sebelumnya. Konfigurasi sistem PID Fuzzy dapat dilihat pada Gambar di bawah



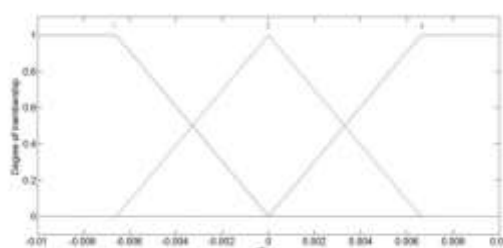
Gambar 5. Blokdiagram PID Fuzzy

Pembentukan fungsi keanggotaan masukan dan keluaran didasarkan pada parameter PID yang telah didapatkan untuk kondisi beban minimal, nominal, dan maksimal. Perancangan dilakukan pada fungsi keanggotaan masukan, fungsi keanggotaan keluaran, *rule-base* dan normalisasi. *Input* pada logika fuzzy untuk menalar parameter  $K_p$ ,  $\tau_i$ , dan  $\tau_d$  berupa *error* ( $e$ ) dan *delta error* ( $\Delta e$ ) yang dibagi dalam 3 *linguistic terms* yaitu minimal, nominal, dan maksimal seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 6. Membership function error ( $e$ )

Dari data perhitungan, nilai *error* dan *delta error* diperoleh nilai antara -0,005 sampai 0,005 dan -0,0066 sampai 0,0066. Nilai ternormalisasi  $K_e$  sebesar 200 dan data ternormalisasi  $K_{de}$  sebesar 150. Nilai linguistik dari fungsi keanggotaan didefinisikan dengan angka 1, 2, dan 3. Untuk nilai 1 Negatif (N), nilai 2 Zero (Z), dan nilai 3 Positif (P).

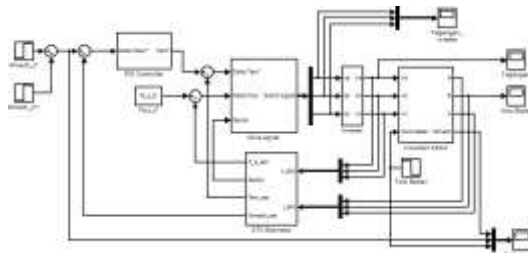


Gambar 7. Membership function delta error ( $\Delta e$ )

Fungsi keanggotaan keluaran *Fuzzy* berupa sinyal kontrol. Dalam hal ini sinyal kontrol berupa penguat. Fungsi keanggotaan keluaran *Fuzzy* di definisikan dengan penguat  $K_p, \tau_i, \tau_d$  untuk beban minimal, beban nominal, dan beban maksimal. Nilai *linguistik* dari fungsi keanggotaan keluaran *Fuzzy* didefinisikan dengan 1 (kecil), 2 (sedang), dan 3 (besar).

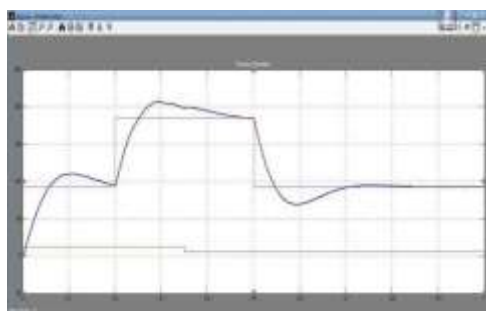
### 3.1 Pembahasan

Pada bagian ini simulasi telah dilakukan dengan menggunakan Matlab/ Simulink. Seperti pada gambar dibawah ini :

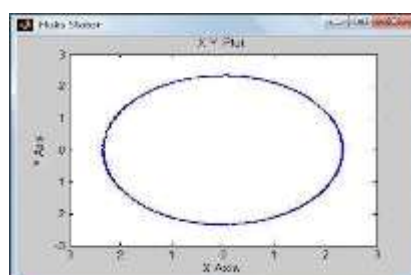


**Gambar 8.** Simulasi sistem

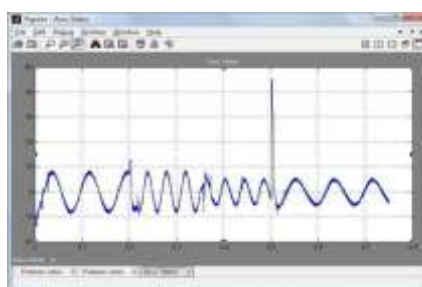
Gambar Simulasi sistem Sampling time 1000  $\mu$ s, fluks referensi diambil pada 2.85, Motor Induksi 3 fasa tegangan nominal 380 V,  $f = 50$  Hz, jumlah kutub 4, slip 3%, mempunyai data pelengkap sebagai berikut:  $R_s = 1.77 \Omega$ ,  $R_r = 1.34 \Omega$ ,  $X_{Ls} = 5.25 \Omega$ ,  $X_{Lr} = 4.57 \Omega$ ,  $X_m = 139.0 \Omega$ ,  $J = 0.025$  Kg.m<sup>2</sup>,  $B = 0.01$  Nm.sec/rad. Untuk Kontrol PI terdiri dari  $K_p=25$ ,  $K_i=8$ . Berikut hasil-hasil simulasinya :



**Gambar 9.** Respon Putaran Rotor



**Gambar 10.** Fluks Stator



**Gambar 11.** Arus stator

Pada gambar 4 adalah putaran motor saat start berbeban, perubahan kecepatan pada  $t = 0,2$  dan perubahan beban pada  $t = 0,35$ . Gambar 5 adalah fluk stator pada sumbu d dan sumbu q. Gambar diatas adalah Arus stator pada saat berbeban perubahan kecepatan pada  $t = 0,2$  dan perubahan beban pada  $t = 0,35$ .

#### 4. KESIMPULAN

Dari analisa dan hasil pengujian motor tiga phasa menggunakan FIELD ORIENTED CONTROL (FOC) DAN PID dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : Motor induksi didalam penelitian ini menggunakan motor arus bolak-balik yang paling banyak diaplikasikan dalam dunia industri dikarenakan memiliki konstruksi yang kuat, sederhana serta membutuhkan perawatan yang tidak banyak dibandingkan motor DC dan merupakan sebuah perangkat elektro magnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dari berbagai motor listrik yang ada, motor induksi merupakan jenis motor arus bolak-balik yang paling banyak digunakan. Dimana Kecepatan sinkron sendiri ialah kecepatan rotasi medan magnetik pada mesin. Kecepatan sinkron ini dipengaruhi oleh frekuensi mesin dan banyaknya kutub pada mesin. Motor induksi selalu berputar dibawah kecepatan sinkron karena medan magnet yang terbangkitkan pada stator akan menghasilkan fluks pada rotor sehingga rotor tersebut dapat berputar.

#### REFERENCES

- [1] A. n. a. Solly Aryza, Adaptive Speed Estimation of induction motor Based on inverse Control, UK: Scxience Direct, 2011.
- [2] M. I. Solly Aryza1\*, A Novelty Design Of Minimization Of Electrical Losses In A Vector Controller IM, Scopus, 2018.
- [3] V. HIDAYAT, RANCANG BANGUN PENGATURAN KECEPATAN MOTOR UNIVERSAL MENGGUNAKAN RASPBERRY PI, <http://repo.polinpdg.ac.id/1381/>, 2017.
- [4] M. Sadli, DISAIN KONTROLER PI DENGAN DECOUPLING PADA SISTEM KENDALI LEVEL COUPLED TANK, <http://www.journal.ubb.ac.id/index.php/ecotipe/article/view/49>, 2014.
- [5] F. Santoso, Perbandingan Kinerja Sistem Kontrol Berumpan Balik Feedback Dengan Sistem Kontrol Berumpan Maju Feedforward Pada Jaringan Penukar Panas Heat Exchanger, <http://jurnalmesin.petra.ac.id/index.php/mes/article/view/15969>, 2003.
- [6] T. a. H. D. C. a. G. A. I. a. W. R. T. Tianur, KONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN METODE PID-FUZZY, <http://repo.pens.ac.id/591/>, 2011.
- [7] R. A. E. N. A. Ibrahim Ats-Tsauril, ISOLASI  $\alpha$ -pinene PADA MENARA DISTILASI BAHAN ISIAN UNTUK, [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34227340/Jurnal\\_Cendekia\\_UGM.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1544598500&Signature=NmcN7PNf%2FyHCA6pgTebKmUho8ec%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DJurnal\\_Cendekia\\_UGM.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34227340/Jurnal_Cendekia_UGM.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1544598500&Signature=NmcN7PNf%2FyHCA6pgTebKmUho8ec%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DJurnal_Cendekia_UGM.pdf), 2013.
- [8] D. A. A. I. I. R. Muhammad Ruswandi Djalal, DESAIN OPTIMAL KONTROLER PID MOTOR DC MENGGUNAKAN CUCKOO SEARCH ALGORITHM, <http://sentia.polinema.ac.id/index.php/SENTIA2015/article/view/185>, 2015.