

# ***PENENTUAN PARAMETER PEMODELAN KECEPATAN PUTAR MOTOR INDUKSI 3 PHASA MENGUNAKAN JARINGAN SARAF TIRUAN (JST)***

**Hatma Rudito<sup>1)</sup>**

**Abstract:** Modeling speed control of induction machines 3 phase is very necessary, because will be make it more easier for used in mathematic analysis. In this book simulating modeling parameters is purposing give solution for made mode speed control induction machine 3 phase. And analysis using Universal Field Oriented (UFO) and Direct Field Oriented (DFO). Speed control machine 3 phase can be adapted with changing of load, so that using Neural Network. Result from analysis in this paper to give parameters mode adaptive control system in diagram block type.

**Key words:** Universal Field Oriented, Direct Field Oriented, Neural Network.

## **I. PENDAHULUAN**

Pada pengaturan kecepatan motor-motor listrik ada hal yang perlu diperhatikan yaitu kapasitas motor, jenis motor yang akan diatur.

Pengaturan kecepatan putar motor dc dapat dilakukan dengan menggunakan converter, atau dengan menggunakan tahanan geser, tetapi ini sangat tidak mantap.

Pada industri-industri pengaturan kecepatan motor dc biasanya menggunakan converter. Pengaturan motor ac lebih sulit dibandingkan dengan pengaturan motor dc, karena hanya dapat dilakukan dengan cycloconverter saja. Untuk itu mengatur kecepatan putar motor ac ada beberapa parameter yang harus dipenuhi yaitu frekwensi dan besarnya medan stator (Field Oriented Controller).

Metode pengaturan kecepatan variabel pada motor induksi dengan field oriented controller telah dilakukan pada tahun-tahun belakangan ini. Metode ini digunakan untuk meningkatkan kinerja motor induksi agar mampu menggantikan penggunaan motor dc yang banyak dipakai di industri, karena kesederhanaan dinamik sistem kontrolnya. Motor dc mempunyai beberapa kekurangan dibandingkan dengan motor induksi, seperti biaya fabrikasi dan perawatan yang relatif lebih mahal, dan akan lebih menguntungkan jika dibandingkan jika menggunakan motor induksi untuk mengkonversi daya listrik menjadi daya mekanis.

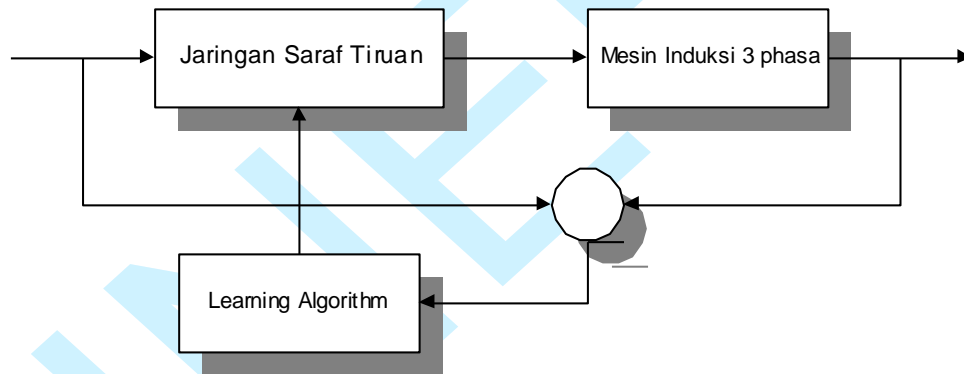
---

<sup>1</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang

Field Oriented Controller memerlukan penggunaan catu daya frekwensi variabel dan mampu mengendalikan kecepatan putar motor induksi dengan kinerja yang bagus. Metode vektor kontrol secara matematis dapat membangkitkan sinyal kontrol torsi terpisah dengan fluks ( decoupling control ), dan dapat diimplementasikan pada motor induksi rotor sangkar tiga phasa.

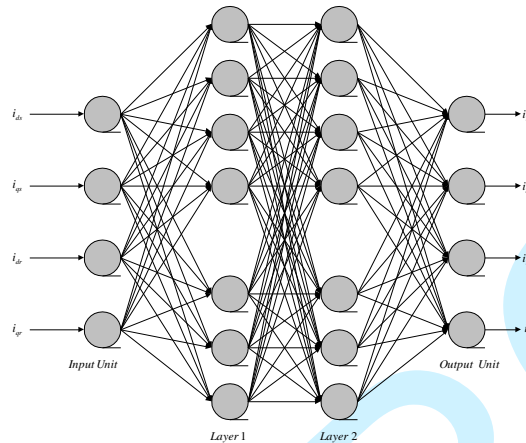
Sasaran utama decoupling control adalah untuk mendapatkan respon dinamis yang cepat, seperti kinerja steady state motor dc penguatan terpisah. Bagaimanapun, karakteristik decoupling control motor induksi tergantung pada perubahan parameter motor. Jadi, jika tanpa menggunakan teknik kontrol yang canggih, seperti kontrol adaptive, kinerja yang baik dan sistem yang memiliki parameter insensitive yang diharapkan tidak dapat dicapai. Adapun dalam penelitian ini orientasi medannya adalah direct field oriented, yaitu suatu metode pengukuran langsung parameter motor dan kemudian mengalisinya.

Motor induksi adalah suatu motor yang mempunyai dinamik sistem kontrol yang non linear, hal inilah memberikan motivasi kuat untuk mengaplikasikan jaringan saraf tiruan dengan menggunakan teknik adaptive.



Gambar 1. Blok Diagram Kontroler Jaringan Saraf Tiruan

Artificial Neural Network disingkat ANN atau jaringan saraf tiruan adalah sebagai informasi sistem pemrosesan yang mempunyai bentuk karakteristik yang sama dengan jaringan saraf mahluk hidup. Jaringan saraf tiruan adalah dikarakteristikan oleh Arsitektur, Training atau learning dan Activation function.



Gambar.2. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan (JST) Layer Ganda

Untuk melakukan training atau learning Alogarithma pada JST seperti berikut :

1. Masukkan harga pembobot yang kecil secara random
2. Input vector  $X_k^0 = \{x_1^0, \dots, x_k^0\}$  dan output layer  $Y_p^m = \{y_1^m, \dots, Y_p^m\}$  serta diasumsikan banyaknya layer m
3. Untuk unit pemroses ke I pada layer ke n, dimana  $n = 1, \dots, m$
4.  $x_1^n = F\left(\sum_j x_j^{n-1} w_{ij}^n\right)$ , dimana  $w_{ij}^n$  adalah pembobot dari hubungan ke j pada layer ke(n-1) ke hubungan I pada layer ke n, dan F(.) adalah fungsi pengaktif (activation function)
5. Final output pada layer  $X_p^m = \{x_1^m, \dots, x_p^m\}$

Untuk mengaktifkan Fungsi Pengaktif (Activation Function)

Output atau fungsi pengaktif, F(NET) menghitung satu nilai output, untuk itu dalam menghitung nilai pengaktif dari masing – masing elemen semua pembobot dalam jaringan, pertama-tama di set untuk nilai sembarang yang kecil (0,1 – 0,2).

Kemudian jaringan tersebut direpresentasikan sebagai vector input  $X_n$  dan output yang diharapkan  $Y_d$ .

Fungsi perbandingan untuk masing-masing elemen “ j “ dalam hidden layer digunakan untuk menghitung input NET<sub>j</sub> yaitu :

$$NET_j = \sum_{n=1}^n W_{nj} X_n$$

Fungsi pengaktif yang dipakai untuk menghitung elemen output adalah :

$$Y_j = F(NET_j)$$

Untuk metode Backpropagasi Algoritma, perbedaan fungsi sigmoid yang dipilih sebagai fungsi pengaktif tergantung dari kebutuhan, untuk itu dibuat batas outputnya yaitu dari 0 – 1.

$$Y_j = F(NET_j) = \frac{1}{1 + e^{-NET_j}}$$

Tipe ini dapat juga memproses elemen output, dimana nilai pengaktif akan dihitung dengan cara yang serupa.

Nilai kesalahannya dihitung dengan membandingkan nilai output, yaitu elemen  $Y_{out}$  dengan nilai  $Y_d$  yang diharapkan. Kesalahannya akan diminimisasi yaitu dengan menghitung gradient square error-nya :

$$E = \frac{1}{2} \sum_j Y_d - Y_f \bar{2}$$

Kemudian kesalahan-kesalahannya disebarkan kembali ke belakang melalui jaringan dan digunakan untuk memperbaharui interkoneksi dari pembonot-pembobotnya

$$\Delta W_j = \eta \delta Y_j + \alpha \Delta W_j$$

dimana sinyal error  $\delta_k$  pada suatu elemen output ' k ' adalah diberikan oleh :

$$\delta_k = Y_d - Y_k \bar{Y}_k \bar{Y}_k$$

sinyal error  $\delta_j$  untuk sembarang elemen yang tersembunyi diberikan oleh :

$$\delta_j = Y_j \bar{Y}_j \bar{Y}_k \bar{Y}_k$$

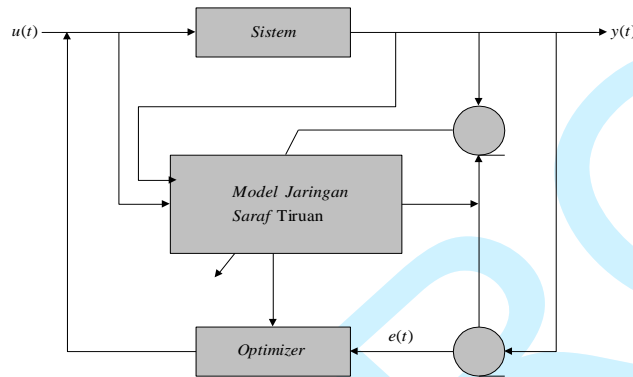
Jaringan yang digunakan disini yaitu mempunyai empat elemen output saja, sehingga persamaannya :

$$\sum \delta_k W_{jk} = \delta_{out} W_{j out}$$

Pembobot-pembobot yang baru kemudian akan direpresentasikan kembali pada jaringan, kemudian proses ini akan diulang sampai nilai kesalahannya minimal pada batas yang bias diterima dengan baik.

Sistem kontrol yang menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) telah banyak mendapat perhatian secara khusus beberapa tahun ini, karena jaringan saraf tiruan telah dapat memberikan dwfinisi beberapa fungsi system non linier. Banyak metode telah dikembangkan dan berhasil, diterapkan pada industri dimana termasuk didalamnya proses kimia, system produksi, robotika, mesin aeronautika, system pembuatan kertas.

Adapun system yang digunakan adalah yang dapat mengukur output dan input dari system yang parameter-parameternya adalah non linier dan tak diketahui, seperti dapat dilihat pada gambar dinawah ini :



Gambar 3. Model Kontroler Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Sistem nonlinier yang tak diketahui dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$y(t+1) = f(y(t), y(t-1), \dots, y(t-n), u(t), u(t-1), \dots, u(t-m))$$

dimana  $y(t)$  adalah keluaran scalar dari system,  $u(t)$  adalah masukkan scalar dari system,  $f(\dots)$  adalah fungsi non linier yang tak diketahui dan akan menjadi terukur oleh jaringan saraf tiruan, dan  $n$  dan  $m$  adalah struktur tingkatan dari system yang diketahui,  $u(t)$  adalah sinyal kontrol,  $r(t)$  adalah set point.

Untuk mengimplementasikan jaringan saraf tiruan ini arsitektur dari kontrolnya terdiri dari beberapa layer dan hidden neuron serta satu neuron yang digunakan sebagai outputnya.

Model system linier adalah dasar hubungan antara input dan output sebuah system linier yang diskrit, persamaan system liniernya adalah seperti berikut :

$$\hat{y}(t) = -a_1 y(t-1) - \dots - a_{n_y} y(t-n_y) + b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_u} u(t-n_u) + e(t)$$

dimana  $e(t)$  adalah white noise, digunakan pada penyelesaian pemodelan error dan pengukuran noise, dan  $n_u$  dan  $n_y$  dipakai untuk menentukan nilai sebelum input dan output pada pendekatan sebuah model.

Secara sederhana regresi system linier diberikan sebagai berikut :

$$\hat{y}(t) = x^T(t)w$$

dimana parameter vector regresor adalah sebagai berikut :

$$w = [a_1, \dots, a_{n_y}, b_1, \dots, b_{n_u}]^T$$

$$x(t) = [y(t-1), \dots, y(t-n_y), \dots, u(t-1), \dots, u(t-n_u)]^T$$

## II. METODE PENELITIAN

Oleh karena penelitian ini akan menghasilkan parameter model atau parameter system pemodelan maka metodologi penelitian yang digunakan adalah dengan menggunakan data pada motor yang akan dikendalikan serta beberapa parameter-parameternya, seperti misalnya jenis rotor dari motor dan yang kemudian akan dijadikan sebagai model motor induksi 3 phasa rotor sangkar. Untuk itu dilalukan praktek/percobaan pada laboratorium untuk mendapatkan data-data. Dan selanjutnya dianalisis menggunakan persamaan model dqn. Setelah dianalisis akan diperoleh data / model yang akan digunakan sebagai bahan simulasi atau bahan masukan pada jaringan saraf tiruan. Jaringan saraf tiruan yang digunakan penelitian ini adalah menggunakan double layer

Untuk mendapatkan algoritma kontroler yang stabil dan dapat menanggulangi perubahan beban secara tiba-tiba dan menjadikan sistem adaptif, sehingga di peroleh kinerja motor induksi ini menjadi baik.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Suatu metode baru *field oriented controller*, yang dapat dipakai mengendalikan kecepatan motor pada semua field orientation, mulai diperkenalkan pada tahun 1994 oleh Rik W. De Doncker dan Donald W. Novotny. (1994) Metode ini diklasifikasikan sebagai berikut:

Bila menghendaki metode pengaturan kecepatan motor yang hanya membutuhkan pengukuran posisi rotor dengan menggunakan poros encoder dan menghitung sudut antara reference frame i dan posisi poros rotor dari persamaan

frekwensi slip rotor :  $\omega_a^m = \frac{d\gamma_a^m}{dt}$  ; dimana :  $\omega_a^m$  adalah frekwensi slip rotor dan  $\gamma_a^m$

adalah sudut antara reference frame i dan posisi poros rotor. Maka metode ini dinamakan metode *Indirect Field Oriented (IFO) Control*.

Dan jika menghendaki suatu metode pengaturan kecepatan motor yang hanya menggunakan sensor, dan yang kemudian dipakai untuk mengukur langsung posisi flux, maka metode ini dinamakan metode *Direct Field Oriented (DFO) Control*.

Berdasarkan kedua klasifikasi metode pengaturan kecepatan motor diatas, maka dibuatlah suatu metode yang dapat dipergunakan sebagai *indirect field oriented control*

maupun *direct field oriented control* dan termasuk juga kontrolernya. Maka metode pengaturan kecepatan motor ini dinamakan *The Universal Field Oriented (UFO) Controller*.

Bila menggunakan metode UFO ; Dua parameter reference frame flux stator adalah :

$$a^s = \frac{L_s}{L_h} \quad \sigma^s = \frac{L_r L_s - L_h^2}{L_r L_s} \quad (1)$$

dan sebagai konsekwensinya persamaan (1) dapat dituliskan di UFO sebagai :

$$\phi_{qs}^*_{kritis} = \frac{1}{2} \frac{\lambda_s^s}{a^s \sigma^s L_r} \quad (2)$$

Batas stabilitas statis dengan flux stator konstan pada :

$$\phi_{so}^*_{kritis} = \frac{1}{\sigma^s \tau_r} \quad (3)$$

Maka torsi-nya adalah :

$$T_{e,kritis} = \frac{3}{4} \frac{1}{a^s \sigma^s L_r} \phi_{qs}^{s*2} \quad (4)$$

dari persamaan diatas torsi tergantung pada kwadrat flux bocor stator.

Jika metode yang digunakan adalah Orientasi Medan Flux Celah udara maka parameter reference frame flux celah udara adalah :

$$a^h = 1 \quad \sigma^h = \frac{L_r - L_h}{L_r} \quad (5)$$

dan konsekwensinya persamaan (5) dapat dituliskan pada UFO dalam bentuk seperti berikut :

$$\phi_{qs}^h_{kritis} = \frac{1}{2} \frac{\lambda_h^h}{a^h \sigma^h L_r} \quad (6)$$

Batas stabilitas statis dengan flux celah udara pada :

$$\phi_{so}^h_{kritis} = \frac{1}{\sigma^h \tau_r} \quad (7)$$

Maka torsi-nya adalah sebagai berikut :

$$T_{e,kritis} = \frac{3}{4} P \frac{1}{a^h \sigma^h L_r} \phi_{qs}^{h*2} \quad (8)$$

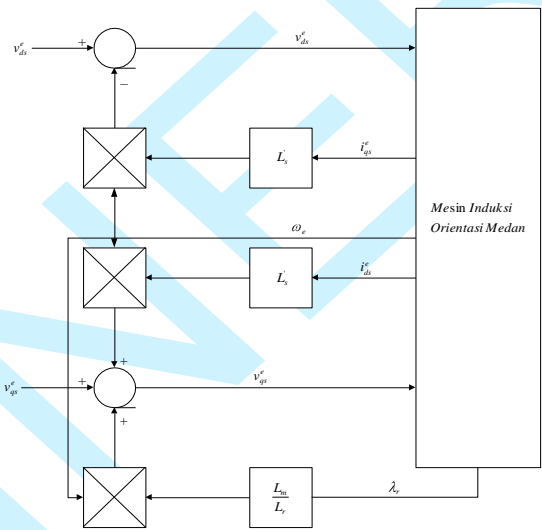
Bila sudut frekwensi slip adalah lebih besar dari pada  $\omega_{so\ kritiss}$ , maka tidak terjadi stabilitas statis. Dan justru sudut frekwensi slip tergantung hanya pada parameter rotor dan tidak tergantung pada flux celah udara.

Konsep dari decoupling adalah mencari persamaan untuk kebebasan dalam pengaturan dua arus stator. Ini dapat diselesaikan dengan mendefinisikan variable tegangan baru dimana berhubungan langsung dengan arus sebagai berikut :

$$v_{qe}^e = \dot{\lambda}_s + L_s' p \dot{i}_{qs}^e = v_{qs}^e - \frac{L_m}{L_r} p \lambda_{qr}^e - \omega_e \left( L_s' i_{ds}^e + \frac{L_m}{L_r} \lambda_{dr}^e \right) \dots\dots\dots (9)$$

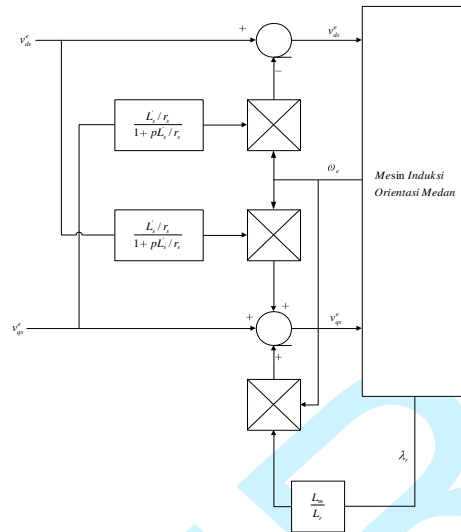
$$v_{de}^e = \dot{\lambda}_s + L_s' p \dot{i}_{ds}^e = v_{ds}^e - \frac{L_m}{L_r} p \lambda_{dr}^e - \omega_e \left( L_s' i_{qs}^e + \frac{L_m}{L_r} \lambda_{qr}^e \right) \dots\dots\dots (10)$$

Persamaan-persamaan tersebut diatas jika direpresentasikan kedalam bentuk blok diagram adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Model Decoupling System Menggunakan Arus Umpan Balik ( $p \lambda_r$  diabaikan)





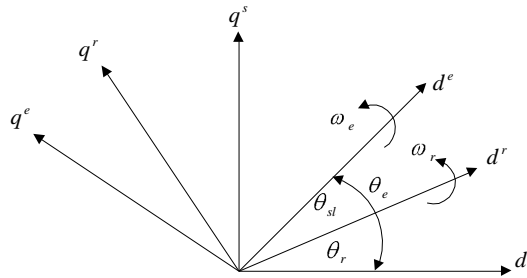
Gambar 5. Model Decoupling System Tanpa Arus Umpan Balik ( $p\lambda_r$  diabaikan)

Perubahan sifat dinamik selama operasi pengaturan, pada frame reference UFO (Universal Field Oriented) Controller tanpa merubah beberapa perangkat kerasnya membuka perspektif baru pada sistim pengaturan kecepatan motor induksi. Dalam hal ini pada pengaturan motor induksi kecepatan rendah yang semula menggunakan UFO (Universal Field Oriented) controller, pengaturannya dapat dilakukan dengan hanya menggunakan IFO (Indirrect Field Oriented) Controller yaitu dengan mengatur besaran flux rotor atau flux celah udara, sedangkan pengaturan motor induksi kecepatan tinggi pengaturannya dapat dilakukan dengan menggunakan DFO (Direct Field Oriented) controller yaitu dengan mengatur besarnya flux statornya.

Metode direct orientasinya flux digunakan pada pengukuran posisi flux ( $\theta_e$ ). Pada penjumlahan posisi flux yang adalah digunakan perubahan current commands  $i_{ds}^*$  dan  $i_{qs}^*$ , dimana harga dq pada synchronuos rotating frame, ke stationary frame.

$$\begin{pmatrix} i_{ds}^* \\ i_{qs}^* \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) \\ \sin(\theta_e) & \cos(\theta_e) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} i_{ds}^* \\ i_{qs}^* \end{pmatrix} \quad (11)$$

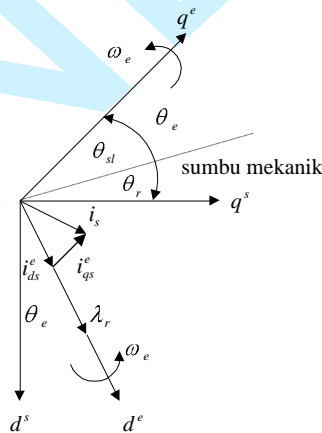
Kemudian variabel yang stationary dirubah ke variabel fasa menggunakan ketiga current commands, hal ini dapat dilihat pada gambar.



Gambar 6. Sistem Sumbu d – q

Prinsip-prinsip dari field oriented control dengan metode indirect dapat dijelaskan dengan diagram phasor yang ditunjukkan pada gambar, dimana sebuah sumbu koordinat  $d - q$  digunakan untuk merepresentasikan variabel - variabelnya.

Sumbu - sumbu  $d^s - q^s$  tetap pada sumbu stator sementara sumbu  $d^e - q^e$  berputar pada kecepatan sudut sinkron  $\omega_e$  seperti ditunjukkan pada gambar. Pada setiap saat, sumbu elektrik  $q^e$  berada pada posisi  $\theta_e$  terhadap sumbu  $q^s$ . Sudut  $\theta_e$  diperoleh dengan menjumlahkan sudut posisi rotor  $\theta_r$  dan sudut posisi slip ( $\theta_{slip}$ ), dimana  $\theta_e = \omega_e t$ ,  $\theta_r = \omega_r t$  dan  $\theta_{slip} = \omega_{slip} t$ . Fluks rotor  $\lambda_r$  yang terdiri dari fluks celah udara dan fluks bocor pada rotor, adalah searah dengan sumbu  $d^e$  seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Oleh karena itu untuk decoupling control, komponen fluks stator dari arus  $i_{ds}^e$  adalah searah dengan sumbu  $d^e$  dan komponen torsi dari arus  $i_{qs}^e$  adalah searah sumbu  $q^e$ .



Gambar.7. Diagram Phasor Indirect Field Oriented

Untuk menghitung besarnya arus command  $i_{ds}^*$ ,  $i_{bs}^*$ ,  $i_{cs}^*$ , maka digunakan :

$$\begin{pmatrix} i_{ds}^* \\ i_{qs}^* \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) \\ \sin(\theta_e) & \cos(\theta_e) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} i_{ds}^* \\ i_{qs}^* \end{pmatrix} \quad (12)$$

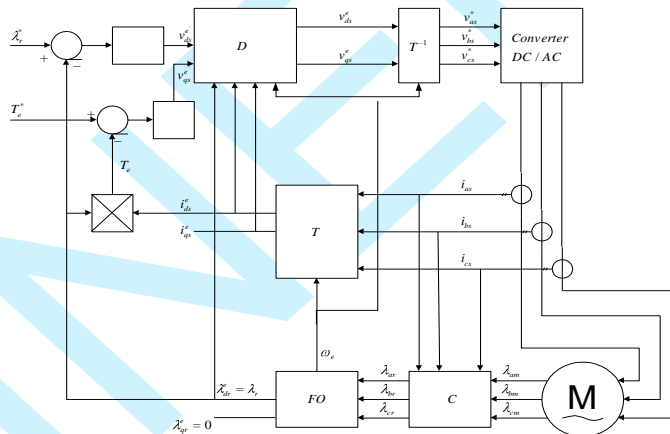
$$i_{ds}^* = \frac{1 + s\tau_r}{M} \lambda_r^* \quad (13)$$

$$i_{qs}^* = \frac{2L_r}{3ppM} \frac{T_{em}^*}{\lambda_r^*} \quad (14)$$

$$\omega_{sl}^* = \frac{2L_r}{3pp\tau_r} \frac{T_{em}^*}{\lambda_r^*{}^2} \quad (15)$$

dimana:  $s$  adalah time derivative operator  $d/dt$ .

Ini adalah cara terbaik dalam mengimplementasikan sistem pengaturan kecepatan motor induksi 3 pha, tanpa menambahkan perangkat keras dan perangkat lunak kontroler.



Gambar 8. Implementasi Model Field Oriented menggunakan PWM dan sensor Fluks

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Setelah membahas dan menganalisis data-data motor kedalam persamaan matematis dan diperoleh beberapa bentuk pemodelan pengaturan yang adaptive dari motor

induksi rotor sangkar 3 phasa dan dengan model ini akan diperoleh sebuah system control yang adaptif terhadap perubahan beban.

## **B. SARAN**

Untuk pengembangannya pemodelan ini dapat dilanjutkan dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi untuk mendapatkan respon/karakteristik dari motor induksi 3 phasa rotor sangkar.

## **V. DAFTAR PUSTAKA**

Abdellfattah Ba-Razzouk, Ahmed Cheriti, and Guy Oliver, 1997, Field Oriented Control of Induction Motors Using Neural Network Decouplers, *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol.12, No.4, July 1997.

Bose, BK, 1993, *Power Electronic and AC Drive*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.

B, Kuo, 1993, *Automatic Control System*, 2ed, Prentice Hall.

D'Azzo and Houpis, 1998, *Linear Control System Analysis & Design*.

Dan W. Patterson, 1992 *Artificial Neoral Network*, Prentice Hall.

Denis O'Kelly, 1992, *Performance and Control of Machines*, McGraw- Hill.

Fauset, 1994, *Fundamentals of Neural Network*, Prentice Hall.

Ion Boldea and Syed A Nazar, 1992, *Vector Control of AC Drive*, CRC Press, Inc.

James G Stallcup, *Motor & Tranformers*, American Technical Publishers, Inc, Home Wood Illinois 60430.

Karl J Astrom and Bjork Wittenmark, 1997, *Adaptive Control*, Addison – Wesley.

Katsuhikogata, 1997, *Teknik Kontrol*, Prentice Hall, Jilid I, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Kumpati S. Narendra and Kannan Parthasarathy, 1990, Indentification and Control of Dynamic System Using Neiral Network, *IEEE Transaction on Neural Network*, Vol.1, No. 1, March 1990.

Mohan & Undeland & Robbin, 1999, Power Electronics : converters, applications and design, John Wiley and Sons.

Paul C Krause, 1997, Analysis of Electric Machines and Power Electronics, John Wiley & Sons.

P C Sen, 1999, Principle of Electric Machines and Power Electronics, John Wiley & Sons.

Peter Vas, 1990, Vector Control of Machines, Claredon Press, Oxford.

Phillips and Harbor, 1998, Sistem Kontrol : Dasar - dasar, 3ed, Jakarta.

Rik W De Donker, and Donald W Novotny, 1994, The Universal Field Oriented ( UFO ) Controller, IEEE Transaction on Industry Application, Vol. 30, No. 1, January / February, 1994.

Rik W De Donker, Michele Pastorelli, and Paolo Ferraris, 1995, Comparison of Universal Field Oriented ( UFO ) Controllers in Difference Frames, IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 10, No.2, March 1995.