

# Desain Flux Vector Control Inverter 3 Fasa Pada Motor Induksi 1.5 HP Menggunakan Power Blockset

Felix Pasila, Limboto, Bayu Krisnawan

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro - Universitas Kristen Petra  
e-mail : felix@petra.ac.id, limboto@petra.ac.id,

## Abstrak

Paper ini menjelaskan desain flux vector menggunakan vector matlab pada inverter 3 fasa pada keadaan Torsi dinamik. Keadaan transien merupakan waktu yang sangat penting bagi inverter agar dapat memberi torsi yang optimal sehingga motor memberi performansi yang dibutuhkan. Hal ini membutuhkan desain flux vector yang mampu memberikan perbandingan V/F yang linear pada saat transien. Simulasi dilakukan pada motor induksi 1.5 HP dengan parameter motor induksi melalui matlab6.1, didapatkan hasil : Suplai Torsi = 240 - 320 Nm dalam range waktu 0.005-0.01 s.

**Kata kunci** : vector matlab ,flux vector, inverter 3 fasa.

## Abstract

*This paper describe Flux Vector Design Using Vector Matlab on 3 Phase Inverter when torque changes. Transient response is important things for inverter because it needs optimal torque that motor shows desire performance. This condition needs flux vector design that give V/F linear comparison in transient response. The experiment was done by simulating induction motor parameters using Matlab, the result shows : Torque supply 240 - 320 Nm, in 0.005 - 0.01s range of time.*

**Keywords** : vector matlab ,flux vector, 3 phase inverter.

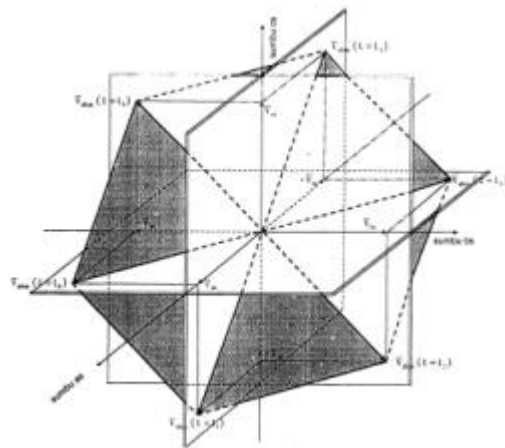
## Pendahuluan

Saat ini Inverter membutuhkan desain flux vector yang mampu menyuplai torsi pada motor, terutama pada keadaan transien. Kondisi transien sangat menentukan performansi dari inverter, karena pada saat tersebut motor membutuhkan perubahan arus yang cepat. Tegangan suplai akan naik secara linear terhadap frekuensi, sedangkan Torsi harus dipastikan cukup untuk start awal. Pada keadaan ini dibutuhkan desain flux control yang sesuai dengan parameter motor tersebut. Vector matlab membantu Engineer untuk mendesain model dari flux vector yang memberi jaminan bahwa inverter dapat menjalankan motor induksi dengan performansi yang baik.

## Dasar Teori Flux Vector

Implementasi Flux Vector pada motor induksi 3 fasa membutuhkan perhitungan/simulasi pada orientasi Stator, Rotor, dan Torsi. Simulasi/perhitungan ini dimungkinkan jika Koordinat ABC pada motor diubah ke dalam model bayangan/vector.

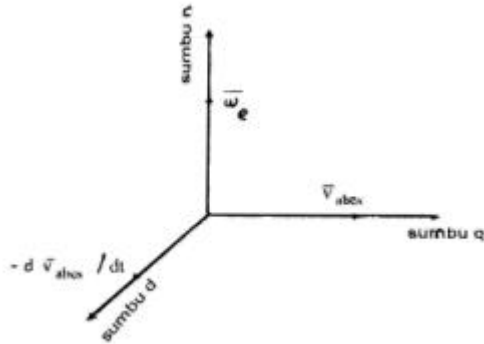
Model koordinat ABC (Gambar 1) pada semua motor tiga fasa adalah model konvensional semua motor induksi. Dalam bentuk vektor, model ini akan diubah ke bentuk direct, quadrature, dan netral (*dqn* model) untuk memudahkan simulasi motor mulai kondisi transien sampai stabil. Dari Gambar 2, Vector  $\overline{V_{abc}}$  terletak pada sumbu *q*, sedangkan vektor  $d\overline{V_{abc}}/dt$  terletak pada sumbu *d*, dan netral *n* sebagai netral dari *dq*, sering diabaikan jika kondisi diasumsikan seimbang.



Gambar 1. Vektor  $\overline{V_{abc}}$  Dalam Koordinat abc

**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2003. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 3, nomor 2, September 2003.

Persamaan-persamaan di bawah ini menjelaskan bagaimana proses perubahan vektor ABC ke vektor dqn. Model **dqn** ini akan dipakai untuk mengetahui flux yang diberikan dalam satuan waktu. Semua persamaan dibentuk dalam bentuk vector yang menunjukkan adanya perubahan fasa, dan menggunakan bentuk matrix untuk memudahkan perhitungan.



Gambar 2. Vektor satuan **dqn**

$$\bar{u}_q = \frac{\bar{V}_{abc s}}{|\bar{V}_{abc s}|} \quad (1)$$

$$= \sqrt{2/3} [\cos \omega_e t \bar{u}_{as} + \cos(\omega_e t - 2p/3) \bar{u}_{bs} + \cos(\omega_e t + 2p/3) \bar{u}_{cs}]$$

Vektor satuan pada sumbu d

$$\bar{u}_d = \frac{-d\bar{V}_{abc s}}{dt} \quad (2)$$

$$= \sqrt{2/3} [\sin \omega_e t \bar{u}_{as} + \sin(\omega_e t - 2p/3) \bar{u}_{bs} + \sin(\omega_e t + 2p/3) \bar{u}_{cs}]$$

Vektor satuan pada sumbu n

$$\bar{u}_n = \frac{\bar{n}}{|\bar{n}|} = \sqrt{1/3} (\bar{u}_{as} + \bar{u}_{bs} + \bar{u}_{cs}) \quad (3)$$

Dapat juga dituliskan dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} \bar{u}_q \\ \bar{u}_d \\ \bar{u}_n \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} \bar{u}_{as} \\ \bar{u}_{bs} \\ \bar{u}_{cs} \end{bmatrix} \quad (4)$$

di mana :

$$P = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \omega_e t & \cos(\omega_e t - 2p/3) & \cos(\omega_e t + 2p/3) \\ \sin \omega_e t & \sin(\omega_e t - 2p/3) & \sin(\omega_e t + 2p/3) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

Untuk mendapatkan  $\begin{bmatrix} \bar{u}_{as} \\ \bar{u}_{bs} \\ \bar{u}_{cs} \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} \bar{u}_{as} \\ \bar{u}_{bs} \\ \bar{u}_{cs} \end{bmatrix} = P^{-1} \begin{bmatrix} \bar{u}_q \\ \bar{u}_d \\ \bar{u}_n \end{bmatrix}$

Sehingga bentuk persamaan menjadi :

$$\bar{V}_{abc s} = V_{qs} \bar{u}_q + V_{ds} \bar{u}_d + V_{ns} \bar{u}_{cs} \quad (5)$$

di mana

$$V_{qs} = \sqrt{2/3} [V_{as} \cos \omega_e t + V_{bs} \cos(\omega_e t - 2p/3) + V_{cs} \cos(\omega_e t + 2p/3)]$$

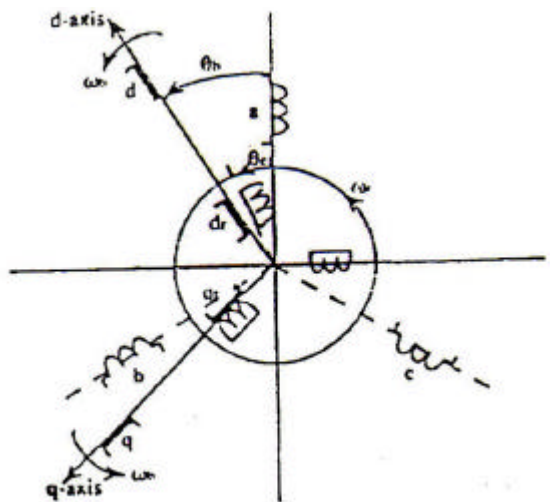
$$V_{ds} = \sqrt{2/3} [V_{as} \sin \omega_e t + V_{bs} \sin(\omega_e t - 2p/3) + V_{cs} \sin(\omega_e t + 2p/3)]$$

$$V_{ns} = \sqrt{1/3} [V_{as} + V_{bs} + V_{cs}]$$

Perubahan tegangan dari koordinat DQ ke ABC, ditunjukkan pada gambar 6.

Penerapan sistem koordinat **dqn** pada motor induksi di implementasikan dalam 3 komponen yaitu Stator, Rotor dan Airgap. Dimana sistem koordinat dqn dianggap sebagai fasa tandingan terhadap tiga fasa dari motor induksi. Tujuannya adalah untuk mempermudah dalam analisa (digital simulation) kecepatan serta dalam desain driver control system ( inverter).

Dengan mengacu pada 3 komponen di atas maka dijabarkan sejumlah rumus dalam penentuan parameter pada motor induksi, yaitu :



Gambar 3. Fasor diagram pada koordinat **dqn**

**Parameter Stator**

$$\bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + \frac{d}{dt} \bar{I}_s + j_s \bar{I}_s \quad (6)$$

$$\bar{V}_s = V_{ds} + j V_{qs}$$

$$\bar{I}_s = i_{ds} + j i_{qs}$$

$$\bar{I}_s = I_{ds} + j I_{qs}$$

**Parameter Rotor**

$$\bar{V}_r = R_r \bar{I}_r + \frac{d}{dt} \bar{I}_r + j(\dot{\theta}_b - \dot{\theta}_r) \bar{I}_r \quad (7)$$

$$\begin{aligned}\bar{V}_r &= V_{dr} + jV_{qr} \\ \bar{V}_r &= R_r \bar{I}_r + \frac{d}{dt} \bar{e}_r + j(\hat{u}_b - \hat{u}_r) \bar{e}_r \\ \bar{e}_r &= \ddot{e}_{dr} + j\ddot{e}_{qr}\end{aligned}$$

$\omega_b$  = referensi kecepatan putar

$\omega_r$  = kecepatan putar rotor

$\lambda$  = Fluks

### Torsi Elektromagnetik

Torsi Elektromagnetik (Te) merupakan fungsi dari arus stator dan arus rotor, didefinisikan sebagai berikut :

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\mathbf{I}_{ds} i_{qs} - \mathbf{I}_{qs} i_{ds}) \quad (8)$$

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} X_m (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr})$$

### Fluks Gandeng

Persamaan fluks gandeng dituliskan seperti dibawah ini :

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_{qs} \\ \mathbf{I}_{ds} \\ \mathbf{I}_{qr} \\ \mathbf{I}_{dr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_s + X_m & 0 & X_m & 0 \\ 0 & X_s + X_m & 0 & X_m \\ X_m & 0 & X_r + X_m & 0 \\ 0 & X_m & 0 & X_r + X_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \end{bmatrix} \quad (9)$$

### Persamaan tegangan pada koordinat $qdn$

Persamaan tegangan pada koordinat  $qdn$  dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_{qs} \\ \bar{v}_{ds} \\ \bar{v}_{ns} \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} \bar{v}_{as} \\ \bar{v}_{bs} \\ \bar{v}_{cs} \end{bmatrix}$$

di mana <sup>5</sup> :

$$P = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \mathbf{w}_e t & \cos(\mathbf{w}_e t - 2\mathbf{p}/3) & \cos(\mathbf{w}_e t + 2\mathbf{p}/3) \\ \sin \mathbf{w}_e t & \sin(\mathbf{w}_e t - 2\mathbf{p}/3) & \sin(\mathbf{w}_e t + 2\mathbf{p}/3) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\text{Sehingga untuk mencari : } \begin{bmatrix} \bar{v}_{as} \\ \bar{v}_{bs} \\ \bar{v}_{cs} \end{bmatrix} = P^{-1} \begin{bmatrix} \bar{v}_{qs} \\ \bar{v}_{ds} \\ \bar{v}_{ns} \end{bmatrix}$$

### Persamaan model motor induksi dalam koordinat $dqn$

Persamaan model motor induksi dalam koordinat  $dqn$  dinyatakan sebagai berikut :

$$\mathbf{Z}_{dq} = (\bar{R} + \mathbf{w}_s \bar{F} + \mathbf{w}_r \bar{G} + \tilde{n} \bar{L}) \quad (11)$$

di mana :

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_r \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_s & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L_r & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L_r \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & L_s & 0 & L_m \\ -L_s & 0 & -L_m & 0 \\ L_m & L_m & 0 & L_r \\ -L_m & L_m & -L_r & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -L_m & 0 & -L_r \\ L_m & 0 & L_r & 0 \end{bmatrix}$$

di mana :

$$L_s = L_{ls} + L_m$$

$$L_r = L_{lr} + L_m$$

$Z_{dq}$  dapat juga dituliskan sebagai persamaan matrix 4x4 :

$$\mathbf{Z}_{dq} = \begin{bmatrix} r_s + L_s \tilde{n} & \mathbf{w} L_s & L_m \tilde{n} & \mathbf{w} L_m \\ -\mathbf{w} L_s & r_s + L_s & -\mathbf{w} L_m & L_m \tilde{n} \\ L_m \tilde{n} & (\mathbf{w} - \mathbf{w}_r) L_m & r_r + L_r & (\mathbf{w} - \mathbf{w}_r) L_r \\ -(\mathbf{w} - \mathbf{w}_r) L_m & L_m \tilde{n} & -(\mathbf{w} - \mathbf{w}_r) L_r & r_r + L_r \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{V}_{qdsr} = \mathbf{Z}_{dq} \times \mathbf{i}_{dq}$$

$$\begin{bmatrix} v_{qs} \\ v_{ds} \\ v_{qr} \\ v_{dr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s + L_s \tilde{n} & \mathbf{w} L_s & L_m \tilde{n} & \mathbf{w} L_m \\ -\mathbf{w} L_s & r_s + L_s & -\mathbf{w} L_m & L_m \tilde{n} \\ L_m \tilde{n} & (\mathbf{w} - \mathbf{w}_r) L_m & r_r + L_r & (\mathbf{w} - \mathbf{w}_r) L_r \\ -(\mathbf{w} - \mathbf{w}_r) L_m & L_m \tilde{n} & -(\mathbf{w} - \mathbf{w}_r) L_r & r_r + L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Persamaan 13 adalah bentuk simulasi dari Voltage vector

Control, dengan bentuk umum :

$$\bar{V}_{sb} = V_d + jV_q \quad (14)$$

di mana :

$$\begin{aligned} V_q &= \text{Im}(\bar{V}_{sb}) = \frac{2}{3} \left[ V_a \sin(-q_b) + V_b \sin\left(-q_b + \frac{2p}{3}\right) + V_c \sin\left(-q_b + \frac{4p}{3}\right) \right] \\ V_d &= \text{Re}(\bar{V}_{sb}) = \frac{2}{3} \left[ V_a \cos(-q_b) + V_b \cos\left(-q_b + \frac{2p}{3}\right) + V_c \cos\left(-q_b + \frac{4p}{3}\right) \right] \end{aligned} \quad (15)$$

dimana dalam menyelesaikannya diperlukan data karakteristik motor mengenai:  $R_s$ ,  $L_s$ ,  $M$ ,  $L_r$ ,  $R_r$  dan  $\omega_r$ . dengan informasi ini maka penyelesaian dapat diselesaikan.

Persamaan umum Current vector control :

$$\bar{i}_{sb} = i_d + j i_q \quad (16)$$

di mana:

$$i_a = i_d \cos(-q_b) + i_q \sin(-q_b) \quad (17)$$

$$i_b = i_d \cos\left(-q_b + \frac{2p}{3}\right) + i_q \sin\left(-q_b + \frac{4p}{3}\right)$$

$$i_c = i_d \cos\left(-q_b + \frac{4p}{3}\right) + i_q \sin\left(-q_b + \frac{4p}{3}\right)$$

Sedangkan Persamaan Umum Flux Vector adalah :

$$\bar{I}_{sb} = I_d + jI_q \quad (18)$$

### Desain Flux Vector menggunakan Power Blockset

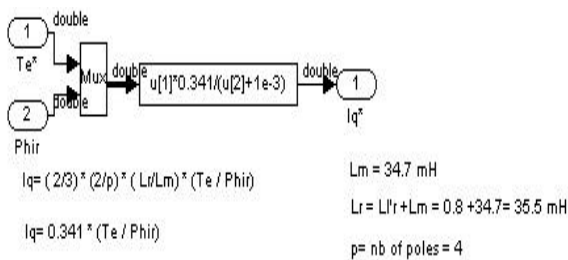
Blockset power system memberikan kemudahan bagi control system power electronics . Blockset yang digunakan dalam analisa ini adalah AC motor drive & vector control. Bagian-bagian utama dalam AC motor drive & vector control diagram yang dipakai adalah:

- Current  $i_d^*$  dan Current  $i_q^*$  Calculation Diagram
- Transformation Diagram (ADC-DQ & DQ-ABC)
- Flux Calculation Diagram
- Teta Calculation Diagram.

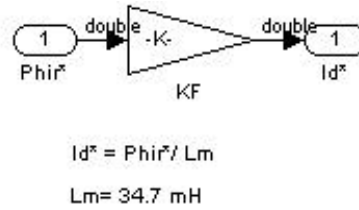
Persamaan matematis yang dimasukkan ke dalam Blockset didapatkan dari penurunan rumus-rumus di atas.

#### Current Calculation Diagram

Blok ini terdiri dari 2 bagian yaitu : Current  $i_d^*$  dan Current  $i_q^*$ . Tanda\* menunjukkan bahwa arus tersebut diharapkan(desire). Current  $i_d^*$  berfungsi sebagai motor flux controlled, bergantung pada  $\Phi_{hir}^*$ , sedangkan Current  $i_q^*$  berfungsi control torque motor, bergantung pada  $\Phi_{hir}^*$  dan  $T_e^*$ .  $T_e^*$  diperoleh dari Blok Speed Controller dengan masukan  $w_{ref} = 100$  dan Controller PI dengan konstanta  $K_p=13$ ,  $K_i=26$ , dan Torque limit = 300 N-m dan nilai  $\Phi_{hir}^*$  umumnya mendekati satu tergantung pada slip motor induksi, ditentukan sebesar 0.96.



Gambar 4.  $i_q^*$  Calculation Diagram



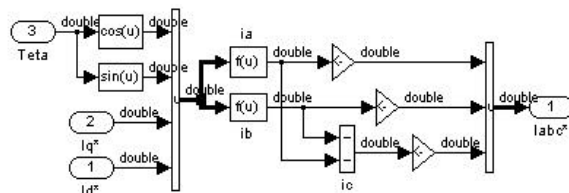
Gambar 5.  $i_d^*$  Calculation Diagram

Kedua bagian diatas merupakan diagram yang berfungsi untuk menghitung arus  $i_{ds}^*$  dan  $i_{d^*}$  . Hasil perhitungan kedua arus ini dipakai untuk perhitungan Blok DQ-ABC.

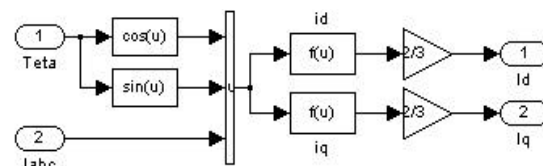
#### Blok Transformasi

Blok ini terdiri dari dua blok utama, yaitu Blok ABC-DQ dan Blok DQ-ABC. Blok DQ-ABC mengubah current Direct-Quadratic references menjadi current references  $I_a^*$ ,  $I_b^*$ ,  $I_c^*$ , yang menjadi input current regulator. Blok DQ-ABC membutuhkan pergeseran sudut antara Direct dan Quadratic Teta calculation dalam fungsi sinus/cosinus.

Sebaliknya, Blok ABC-DQ mengubah arus Current  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  yang terukur di stator, menjadi current DQ. Blok ini juga membutuhkan pergeseran sudut antara Direct dan Quadratic Teta calculation dalam fungsi sinus/cosinus.



Gambar 6. DQ-ABC



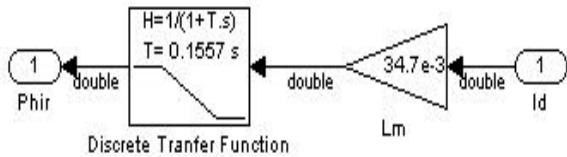
Gambar 7. ABC-DQ Diagram

Kedua Transformation Diagram merupakan fungsi yang merupakan bagian yang tidak bisa berdiri sendiri karena saling bergantung satu dengan yang lain.

#### Flux Calculation Diagram

Bagian flux calculation merupakan bagian yang berfungsi untuk menghitung besaran flux

kemudian hasil dari bagian ini adalah **Phir** yang terukur dan dipakai untuk menghitung  $i_{qs}$  setiap saat. Discrete transfer function merupakan bagian yang paling penting dalam blok ini. Transfer function yang muncul karena perubahan yang terjadi setiap saat adalah orde satu dengan periode 0.1557s (dari perhitungan  $L_r/R_r$ ) dipakai untuk mengintegrasikan perkalian  $i_d$  dan  $L_m$  menjadi Phir.



$$\text{Phir} = L_m \cdot i_d / (1 + T_r \cdot s)$$

$$L_m = 34.7 \text{ mH}$$

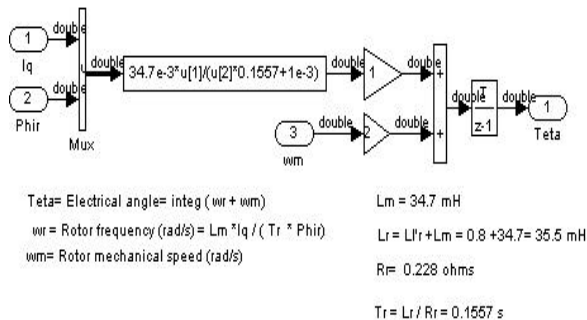
$$T_r = L_r / R_r = 0.1557 \text{ s}$$

$$L_r = L_l' + L_m = 0.8 + 34.7 = 35.5 \text{ mH} \quad R_r = 0.228 \text{ ohms}$$

Gambar 8. Flux Calculation Diagram

### Teta Calculation Diagram

Teta calculation merupakan bagian yang berfungsi untuk menghitung nilai sudut antara rotor dan stator dalam fungsi sudut radian. Pada bagian ini diperlukan parameter  $i_q$  dan Phir, dan rotor mechanical speed ( $w_m$ ).



$$\text{Teta} = \text{Electrical angle} = \text{integ}(w_r + w_m)$$

$$w_r = \text{Rotor frequency (rad/s)} = L_m \cdot i_q / (T_r \cdot \text{Phir})$$

$$w_m = \text{Rotor mechanical speed (rad/s)}$$

$$L_m = 34.7 \text{ mH}$$

$$L_r = L_l' + L_m = 0.8 + 34.7 = 35.5 \text{ mH}$$

$$R_r = 0.228 \text{ ohms}$$

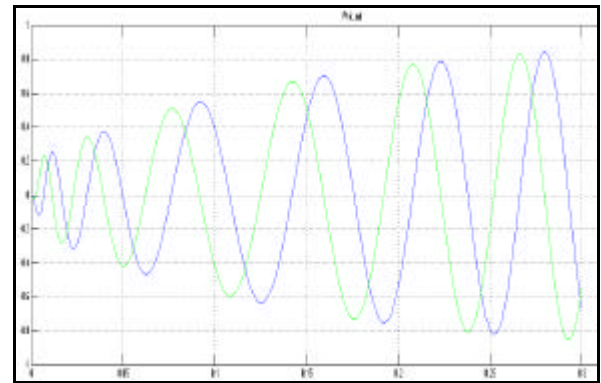
$$T_r = L_r / R_r = 0.1557 \text{ s}$$

Gambar 9. Teta Calculation Diagram

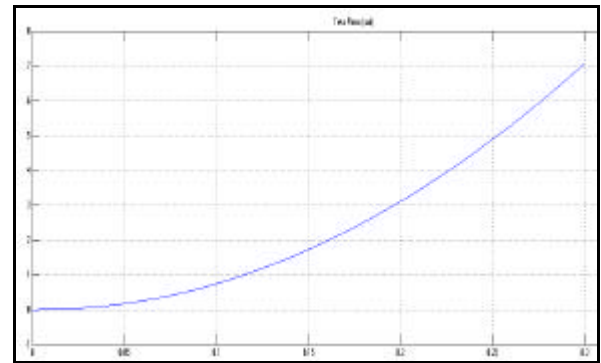
### Hasil Simulasi

Simulasi dilakukan dengan memberikan memasukkan semua nilai parameter motor induksi yang dibutuhkan dalam simulasi. Nilai Torque diatur dalam range 0-300 N-m, Nilai Konstanta PI diubah-ubah dengan perbandingan  $K_p$  dan  $K_i$ . Hasil simulasi akan menggambarkan bentuk respon Torsi, Theta, Arus dan Tegangan.

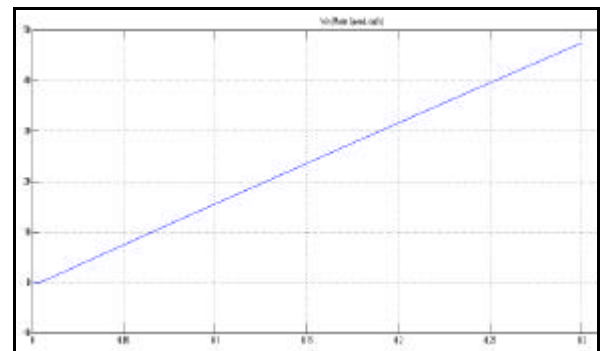
Simulasi Pada Theta dan Phir :



Gambar 10. Flux Terjadi pada model dq (sb x max 1, sb y sec)

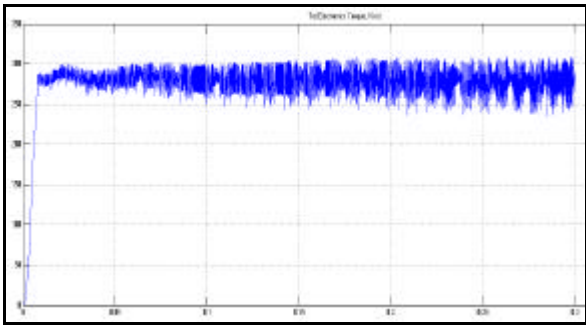


Gambar 11. Sudut Theta pada Rotor (rad)

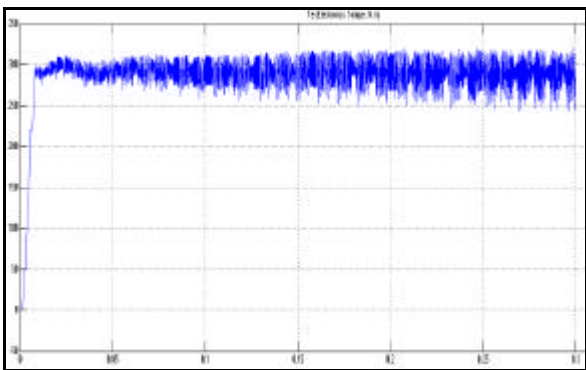


Gambar 12. Linearitas Rotor Speed (rad/s)

Gambar 10 menunjukkan bahwa flux yang terjadi merupakan fungsi sinus yang amplitudonya semakin membesar dan akan stabil pada 1 wb. Perubahan sudut Theta pada rotor akan seperti respon eksponensial datar (gambar 11). Perubahan theta secara eksponensial ini mempengaruhi kecepatan rotor yang linear seperti pada gambar 12.

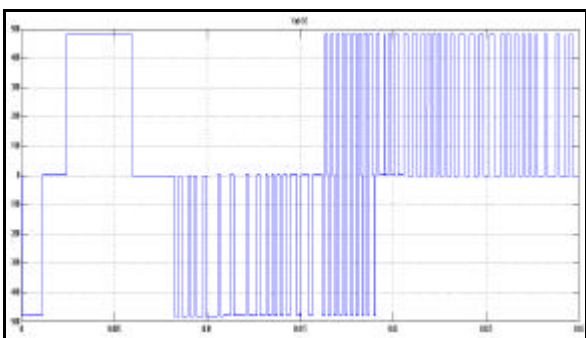


Gambar 13. Electromagnetic Torque (N.m) untuk Kp:Ki=13:13



Gambar 14. Electromagnetic Torque (N.m) untuk Kp:Ki=26:13

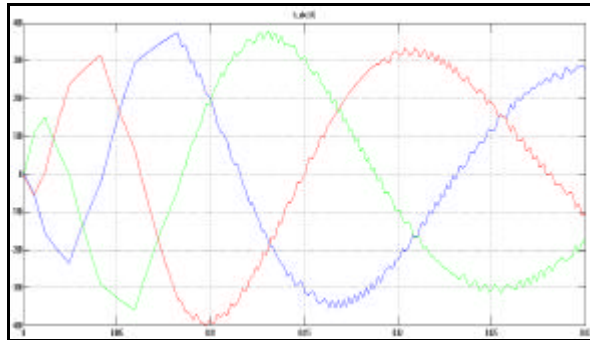
Gambar 13 dan 14 menunjukkan respon electromagnetic Torsi dengan pemakaian control kecepatan PI. Pemilihan konstanta PI dilakukan dengan coba-coba sampai didapatkan range torsi yang cepat dan stabil. Dari eksperimen, kedua desain PI ini tidak banyak berbeda, tetapi torsi yang terjadi sangat cepat dan cukup stabil.



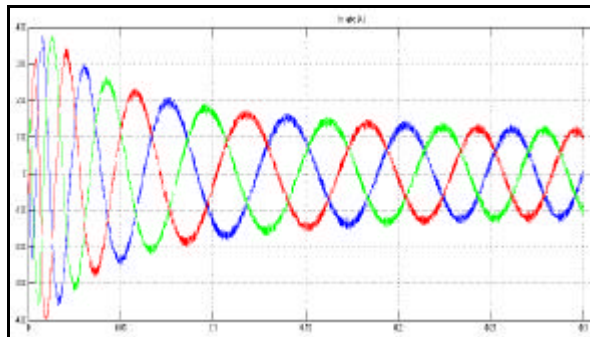
Gambar 15. Tegangan Vab (Volt)

Respon tegangan keluaran di stator adalah bentuk pulsa(gambar 15). Pulsa ini dibentuk oleh Pulse Width Modulation yang dikeluarkan oleh current regulator<sup>4</sup>. Bentuk awal/sesaat arus stator ( $I_{s\_abc}$ ) menyebabkan terjadinya harmonisa. Penggunaan IGBT transistor menyebabkan hal ini sulit dihindari(gambar 16). Secara kese-

luruhan, arus start yang dibutuhkan untuk mendapatkan torsi 320 N.m adalah sekitar 350 A (gambar 17).



Gambar 16. Kondisi Awal Arus Stator ( $I_{s\_abc}$ , Amp)



Gambar 17. Arus Stator ( $I_{s\_abc}$ , Amp) Total

### Kesimpulan

Simulasi menunjukkan bahwa Fluktuasi tegangan dan arus pada saat kondisi starting berbeban pada motor induksi sangatlah cepat, sehingga dibutuhkan desain Flux Vector yang mampu mengikuti fluktuasi tersebut. Hasil simulasi menunjukkan Torsi, Arus Rotor,  $V_{ab}$ , Sudut Tetha dan Flux, mampu mengikuti fluktuasi kondisi transien pada motor.

Pada saat kondisi transien pada motor induksi 1.5 HP , 1.1 Kw, Desain inverter memberikan suplai kepada motor induksi dengan Torsi = 240 - 320 Nm dalam range waktu 0.005-0.01 s.

Grafik Rotor Speed yang linear menunjukkan bahwa kurva V/F cepat memberi respon kebutuhan motor pada keadaan transien.

## Daftar Pustaka

- [1] Vas, Peter. Vector Controls Of AC Machine. USA : Claredon Press Oxford, June 1990
- [2] Boldea I and Nassar, Syed A.. Vector Controls Of AC Drives. Florida : CRC Press, 1992
- [3] Matlab Ver 6.1, Toolbox Power Blockset, Power System AC Motor Drive-Vector Control, 2001 .
- [4] Rockwell International Corporation, Application Considerations for PWM Inverter-fed Low-voltage Induction Motors, June 1999
- [5] Salam, Zainal. dan UTM Skudai, JB. Power Electronics and Drives, [<http://encon.fke.utm.my/notes/Design2.pdf>], April 1998.