**Pengendali *Sliding Mode Control* (SMC) Motor Induksi 3 Phasa dengan *Direc Torque Control* (DTC) Menggunakan Algoritma Genetika**

***Oktavianus Kati***♣***, Rhiza S. Sadjad, Nadjamuddin Harun***

**Abstrak**

*Dalam penelitian thesis ini dikembangkan metode pengaturan kecepatan motor induksi 3 phasa melalui direct torque control (DTC) menggunakan sliding mode control (SMC). Dengan menggunakan metode DTC memungkinkan untuk mengontrol torka dan fluks stator secara langsung. Estimasi putaran rotor, torka dan fluks dilakukan oleh DTC yang diberi input tegangan dan arus stator. Estimasi kecepatan motor akan dibandingkan dengan kecepatan referensi untuk menghasilkan error. Error dan delta error kecepatan putar sebagai masukan pada Sliding Mode Control (SMC), Algoritma genetika digunakan untuk mencari optimalisasi parameter-parameter SMC. Nilai keluaran dari SMC adalah Torka referensi. Besaran masukan estimasi DTC adalah arus dan tegangan motor, sinyal masukan inverter adalah tegangan dc. Besaran keluaran estimasi DTC adalah torka, putaran, fluks dan sudut antara fluks sumbu d dan sumbu q. Hasil yang diperoleh melalui simulasi menunjukkan respon kecepatan putar yang cepat dalam kondisi start, perubahan beban dan perubahan set point. Khusus pada kondisi perubuhan beban, respon kecepatan hampir tidak mengalami perubahan kecepatan atau bisa dikatakan respon kecepatan kokoh bila ada gangguan*

***Kata kunci :*** *Sliding mode control, DTC, Algoritma Genetika,*

1. **Pendahuluan**

Motor induksi 3 phasa saat ini banyak 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[**15**]. Motor induksi 3 phasa memiliki kelemahan pada pengontrolan kecepatan karena kecepatanya 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. Motor induksi umumnya dioperasikan untuk kecepatan tetap. Berdasarkan survey bahwa bila motor dioperasikan dengan kecepatan variabel, maka motor akan mengkonsumsi daya listrik yang kecil. Karena itu motor ini banyak dipakai dengan kecepatan variabel. Untuk mengatur kecepatan motor induksi pada kecepatan tetap dan kecepatan variable diperlukan konverter daya. Apabila motor induksi mendapat tegangan melalui konverter daya, maka bentuk gelombang tegangan tidak lagi sinusoidal. Dalam kondisi ini pemodelan motor tidak lagi menggunakan model trafo. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan pemodelan dalam koordinat *d-q* untukmelakukan analisa. Model *d-q* lebih fleksibel dari model trafo, bentuk tegangan sumber tidak harus sinusoidal dan parameter bisa diubah [**1**].

Selain itu model *d-q* dapat menganalisa motor induksi dalam kondisi : *transient, steady state* dan perubahan karena beban. Dalam penelitian ini, pengontrolan putaran motor induksi dilakukan dengan cara membandingkan putaran estimasi dengan putaran referensi. Sinyal tegangan dan arus stator motor induksi yang telah ditransformasi melalui DTC estimasi menghasilkan putaran estimasi, fluks, torka estimasi dan sudut pergesaran. Error antara putaran acuan dengan putaran estimasi sebagai masukan *Sliding mode control* (SMC) dimana parameter dari SMC (h dan beta) kita optimasi menggunakan algoritma genetika. Output dari SMC berupa torka referensi dibandingkan dengan torka estimasi. Hasil perbandingan tersebut berupa sinyal error yang berfungsi sebagai masukan ke switching sinyal inverter untuk menyuplai tegangan ke motor induksi tiga phasa. (gambar 1)

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan pengendali SMC sebagai kontrol putaran motor induksi untuk berbagai kondisi yaitu kondisi *start, steady state* dan perubahan setting point perubahan beban motor.

**~**

***Vd***

**Sumber tegangan inveter**

+

+

***ω*ref *ω*err  *T*ref *T*err**

**SVPWM**

**Tabel Tegangan**

**SMC**

-

-

***Test***

***ω*m** *T*est

***λ*ref *λ*err** *θstr*

-

+

***Vabc***

 ***Iabc***

***λ*est**

***dq***

**DTC Estimator**

***abc***

Pemodelan ***d-q***

Gambar 1. Blok Diagram sistem pengaturan putaran motor induksi

1. **Model d-q Motor Induksi tiga phasa**

Secara konvensional untuk menganalisis motor induksi tiga phasa dikembangkan berdasarkan model trafo, dengan mengasumsikan tegangan sumber adalah sinusoidal dan kondisi steady state. Dalam operasi real ditemui permasalahan tegangan sumber yang tidak sinusoidal dan terjadi perubahan beban. Oleh karrna itu dibutuhkan model lain yang lebih fleksibel untuk menganalisis motor induksi yaitu model motor induksi dalam koordinat d-q-n. persamaan tegangan motor induksi dengan tegangan simetri dalam koordinat d-q-n dinyatakan sbb [**7**] :

 (1)
 (2)

 (3)

 (4)

Fluksi yang tercakup dalam kumparan adalah :

 (5)

 (6)

 (7)

 (8)

Torka elektromagnetik motor induksi dapat ditentukan dengan:

 (9)

Dan persamaan dinamis dari motor induksi dinyatakan oleh :

 (10)

 (11)

Dimana :

 : torka beban

 : torka elektromagnetik

 J : momen inersia (kg.m2)

 P : jumlah kutub

 : kecepatan angular rotor (rad/detik)

 : koefisien gesekan (N.m.det/rad)

 : posisi sudut (rad)

Persamaan (1 s/d 11) dapat dinyatakan dalam bentuk matriks menjadi :

Dengan dan

Dimana Ls dan Lr adalah induktansi sendiri untuk stator dan rotor dan Lm adalah induktansi bersama antara stator dan rotor.

Untuk lebih memudahkan dalam menghitung arus dan tegangan dalam bentuk *d-q* dan sebaliknya kita dapat menggunakan transformasi matriks kombinasi ***Clarke-Park*** yakni:

 (11)

 (12)

Diagram dari model d-q motor induksi tiga phasa dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Rangkaian ekivalen *d-q* dinamik motor induksi (a) rangkaian d-axis, (b) rangkaian q-axis

Sumber : Toh Chuen Ling, *Implementation of DTC of Induction Machines*, UTM, 2005

**Persamaan Ruang Keadaan dan Diagram Keadaan Motor Induksi**

Dari model matematika diatas, persamaan-persamaan tersebut dapat disederhanakan untuk memperoleh persamaan keadaa (*state space*) yang kemudian digambarkan dalam bentuk vector matriks persamaan keadaan. Selanjutnya dari persamaan keadaan akan didapatkan diagram keadaan yang akan membantu kita dalam menentukan diagram blok sistem nantinya. Pertama persamaan yang harus diuraikan adalah persamaan tegangan acuan masukan (1) dan (4):

 (13)

 (14)

 (15)

 (16)

Dari persamaan (9) dan (11) kita dapatkan :

 (17)

Dimana :

 dan

Dari persamaan diatas kita dapatkan vector matriks persamaan ruang keadaan (*state space*) berikut ini :

  

=

.

   

x

+

. (18)

Untuk memudahkan memperoleh diagram keadaan dan diagram blok dari persamaan diatas maka perlu penyederhanaan terhadap matriks pers. (18) diatas, dengan mengambil bagian yang dianggap perlu dideskripsikan :

 (19)

 (20)

Sehingga dari vektor matriks diatas didapatkan diagram keaadan motor induksi :

Gambar 3. Diagram Keadaan Motor Induksi

Sumber : Liu-Kong-Chao, *Speed Estimation of Induction Motor Using Non Linear Identification Technique,* 1999

Untuk mendapatkan fungsi alihnya, maka kita membandingkan antara sebagai keluaran dan dan sebagai masukan dua koordinat orthogonal dan polar, *direct-quadrature* (d-q). untuk mendapatkan fungsi alih, maka salah satu dari tegangan acuan masukan dan harus sama dengan nol. Dari Persamaan (10) diatas :

 (21)

Dari persamaan (13):

Jika , dan disubtitusikan :

Maka persamaan persamaan fungsi alih motor induksi adalah :

 (22)

Diperoleh diagram blok motor induksi :

Gambar 4. Diagram blok Motor Induksi

Gambar 5. Model Simulasi Motor Induksi

Model simulasi motor induksi seperti pada gambar (5) diatas di verifikasi dengan memberikan input suplai tegangan 3 fasa (380 volt), respon kecepatan putar motor seperti pada gambar (6) :



Gambar 6. Respon Motor induksi Tanpa DTC

Dari gambar (6) kita lihat bahwa motor masih mengalami goncangan-goncangan pada saat start awal dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi putaran *steady-state* cukup lama (tss=2,248 detik, =156,4 rad/detik).

1. **Direct Torque Control (DTC)**

*Direct Torque Control* pertama kali dikembangkan oleh ***Takahasi*** dan ***Noguchi*** tahun 1986. Dasar dari metode DTC adalah perubahan torsi sebanding dengan slip antara fluks stator dan fluks rotor pada kondisi fluks bocor stator tetap [**4**]. Pada motor induksi dengan tipe rotor sangkar untuk waktu tetap rotor menjadi sangat besar, fluks bocor berubah perlahan dibanding dengan perubahan fluks bocor stator. Oleh karena itu pada keadaan perubahan cepat fluks rotor cenderung tidak berubah. Perubahan cepat dari torsi elektromagnetik dapat dihasilkan dari putaran fluks stator, sebagai arah torsi. Dengan kata lain fluks stator dapat seketika mempercepat atau memperlambat dengan menggunakn vektor tegangan stator yang sesuai. Torsi dan fluks kontrol bersama-sama dan decouple dicapai dengan pengaturan langsung dari tegangan stator, dari error respon torsi dan fluks. DTC biasanya digunakan sesuai vector tegangan dalam hal ini untuk memelihara torsi dan fluks stator dengan dua daerah histerisis. Untuk menentukan putaran motor dapat digunakan persamaan rangkaian dan arus motor diukur pada *reference frame* yang dapat dipilih dalam *stator frame*, persamaan tegangan stator dalam kerangka stator referensi diberikan [**1**] dengan persamaan :

 (1)

 (2)

 (3)

 (4)

Sehingga :

 (5)

Dengan demikian fluks lingkages dalam koordinat stator reference frame dihitung berdasarkan

 (6)

 (7)

Sehingga besarnya fluks stator adalah

 (8)

 (9)

Frekuensi listrik dihitung dengan mendiffrensialkan sudut vector fluks rotor yaitu :

 (10)

Persamaan turunan dari (10) adalah :

 (11)

Dan persamaan kecepatan rotornya adalah :

 (12)



Gambar 7. Blok diagram DTC

Respon putaran motor terhadap kecepatan referensi dan perubahan beban dengan *Direct Torque Control* seperti pada gambar (8), terlihat bahwa kecepatan putaran motor akan mengikuti putaran referensi motor yang telah disetting (=68,57 rad/detik), tampak bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan *steady state* cukup cepat dibanding respon motor tanpa DTC (tss = 0,1674 detik), adanya perubahan beban (torsi) sebesar 17,57 N.m menyebabkan putaran motor akan turun menjadi 51,3 rad/detik atau sebesar 25,43% dari kecepatan motor yang kita inginkan (kecepatan referensi).



Gambar 8. Respon Motor terhadap kecepatn referensi dan perubahan beban dengan DTC

1. **Space Vektor PWM**

*Space vector modulation* (SVM) adalah teknik modulasi yang dikembangkan melalui *space vector* (vector ruang) yang akan menjadi tegangan acuan dengan periode *sampling* tertentu ke *inverter*, dengan menggunakan dua tegangan acuan yaitu *Vd* dan *Vq* dan sudut. Teknik SVPWM dapat digunakan untuk membangkitkan pola *switching inverter* 3 phasa jenis sumber tegangan (VSI). Bila tegangan acuan 3 phasa diberikan dalam bentuk *Va*, *Vb* dan *Vc* maka diperlukan transformasi dari 3 phasa ke 2 phasa. *Space vector* dengan persamaan 3 phasa dapat dinyatakan *Va(t), Vb(t)* dan *Vc(t)* yang masing-masing mempunyai pergeseran phasa sebesar 120 derajat. Persamaan dalam vektor dapat dinyatakan sebagai berikut[**3**] :

 (1)

Dimana :

Persamaan ini juga berlaku untuk arus dan fluks.

T5

T3

T1

Sumber teg.

 tiga phasa

D5

D3

D1

TR

 a

Cf

a

 b

**MI**

b

 c

c

RR

D2

D6

D4

T4

T6

T2

 Dioda Bridge Regenerating Link PWM Inverter

 Rectifier Circuit Filter

Gambar 9. Rangkaian Daya penggerak Motor Induksi tiga phasa

Pada inverter tiga phasa (gambar 9) dapat dibuat beberapa kombinasi switching yang akan menghasilkan vector tegangan yang berbeda. Jika T1 *on* dan T4 *off* (dilambangkan dengan Sa=1) maka pada *V*a timbul tegangan sebesar *V*dc. Demikain juga halnya pada Sb dan Sc. Ada 8 jenis switching yang berbeda yang dapat dibuat dari kombinasi Sa, Sb dan Sc seperti kita lihat pada tabel 1.

Vektor tegangan yang terjadi untuk tegangan *line to line* berlaku :

 (2)

Sehingga output tegangan inverter dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan matriks berikut:

 (3)

Tabel 1. Kondisi switching inverter

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sector** | **On Device** | **Va** | **Vb** | **Vc** | **Space Voltage****Vector** |
| 0 | T2,T4,T6 | 0 | 0 | 0 | V0(000) |
| 1 | T1,T4,T6 |  |  |  | V1(100) |
| 2 | T1,T3,T6 |  |  |  | V2(110) |
| 3 | T3,T2,T6 |  |  |  | V3(010) |
| 4 | T2,T3,T5 |  |  |  | V4(011) |
| 5 | T2,T4,T5 |  |  |  | V5(001) |
| 6 | T1,T4,T5 |  |  |  | V6(101) |
| 7 | T1,T3,T5 | 0 | 0 | 0 | V7(111) |



Sector 5

V101

Sector 6

V100

Sector 4

V001

Sector 3

V011

Sector 2

V010

Sector 1

V110

ta

V111

tb

V000

Vref

Gambar 10. *Space vector voltage*

1. **Sliding Mode Control (SMC)**

Untuk meningkatkan performa putaran motor induksi 3 phasa pada kondisi ada gangguan, maka kontrol putaran menggunakan *Sliding mode control* (SMC). Jenis control SMC sangat kokoh (*robust*) pada saat terjadi gangguan dengan variasi parameter dan torka beban berubah. Pada gambar 1 ditunjukkan blok diagram sistem yang dimaksud. Persamaan umum torka elektromekanik pada motor induksi adalah [**11**] :

 (1)

dimana : J dan B adalah konstanta inersia dan koefisien gesekan dari motor. TL adalah torka beban dan ωm adalah putaran sudut mekanik rotor. Te adalah torka elektromagnetik motor induksi dengan persamaan :

 (2)

Persamaan elektromekanik (1) dapat diubah menjadi:

 (3)

apabila maka persamaan (3) diatas jika kondisi gangguan persamaannya menjadi :

 (4)

 dan adalah kondisi taktentu dari parameter a, b dan d sebagai pernyataan parameter J dan B. Untuk menentukan *error* putaran motor digunakan persamaan:

 (5)

dengan adalah putaran acuan (referensi). Jika kita differensialkan persamaan (5) kita dapatkan persamaan :

 (6)

Dengan memisahkan komponen dan dari persamaan (6) kita peroleh :

 (7)

 merupakan perubahan yang terjadi dan diberikan dalam persamaan :

 (8)

Variable silidng mode control dengan komponen integral diberikan dalam persamaan :

 (9)

Dimana *h* menyatakan konstanta penguat. Untuk menentukan alur putaran (*speed trajectory tracking*), digunakan asumsi dan persamaan berikut :

***Asumsi 1 :*** harga h dipilih sehingga (*h-a*) menjadi positip dan *h>0*, kemudian sliding surface diberikan dengan persamaan:

 (10)

Agar control switching dijamin berada di sliding mode, maka kontrol putarannya diberikan dengan persamaan :

 (11)

 merupakan konstanta penguat switch . *S(t)* adalah variable sliding yang ditentukan melalui persamaan (8) dan *sgn(.)* adalah fungsi signum yang didifinisikan sebagai berikut :

 (12)

***Asumsi 2.*** Penguat dipilih sehingga untuk semua kondisi. Ketika sliding mode terjadi pada sliding surface persamaan (9), , dan tracking error bergerak konvergen secara eksponen menuju nol.

***x***

trayektori

chattering

Surface sliding

*S=0*

***xd(t)***

Gambar 11. Diagram fasa trayektori status

Sumber : Slotine and Li, 1991

Sesuai dengan parameter motor induksi dari persamaan (4), bila asumsi 1 dan asumsi 2 dibuktikan sebagai batasan putaran persamaan (11) akan mendahului putaran mekanik sehingga tracking kesalahan putaran cenderung menuju ketitik nol sehingga menuju kondisi tak berhingga. Pembuktian dari teorema diatas dapat menggunakan teori stabilitas *Lyapunov.* Fungsi *Lyapunov*  adalah[**12**]

 (13)

 (14)

Dengan menggunakan persamaan (14) maka kita dapatkan :

 `

Sehingga

Selanjutnya untuk menentukan nilai (beta) dan *h* digunakan metode optimasi *Algoritma Genetika.* GA diharapkan dapat menyesuaikan nilai dan *h* agar error menuju nilai konvergen pada setiap ada perubahan.

Akhirnya torka referensi dapat ditentukan dengan mensubtitusikan persamaan (7) ke persamaan (11), kita peroleh :

 (13)



Gambar 12. Diagram simulink SMC

1. **Hasil Simulasi**

Hasil yang diperoleh secara simulasi dengan menggunakan simulink/Matlab dengan data sebagai berikut : sampling time 100μs, fluks referensi diambil pada harga nominal. Data lengkap parameter motor induksi dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2. Parameter-paramter Motor induksi

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Daya | 7,5 | HP/kW |
|  | 5,6 | kW |
| Tegangan, ***V*** | 380 | Volt(L-L,rms) |
| Fasa (F) | 3 | phasa |
| Tahanan Stator, ***Rs*** | 1,77  | Ohm |
| Tahanan Rotor, ***Rr*** | 1,34  | Ohm |
| Reaktansi Stator, ***Xs*** | 5,25 | Ohm |
| Reaktansi Rotor, ***Xr*** | 4,57 | Ohm |
| Reaktansi Gandeng, ***Xm*** | 1,39 | Ohm |
| Momen Inersia Motor, ***J*** | 0.025 | Kg.m2 |
| Jumlah kutub, ***P*** | 4 | buah |
| Frekuensi,***f*** | 50 | Hertz |
| Slip, ***S*** | 3 | Persen |
| Koefisien gesek,***B*** | 0.01 | N.m.sec/rad |
| Arus beban Penuh, ***I***  | 4 | Ampere |
| Slip beban penuh (s) | 1,72 | Ohm |

Sumber : Arman Jaya, “Pengaturan kecepatan motor induksi tanpa sensor



Gambar 13. Diagram Sistem Simulasi SMC Motor Induksi

Simulasi diatur pada kondisi start, steady state dan perubahan referensi putaran dan bila terjad perubahan beban.

Dari optimasi GA diperoleh nilai h=300 dan = 35,

**Gambar 14** : merupakan respon putaran motor saat start, perubahan referensi kecepatan dan perubahan beban, *Over-shoot* yang dihasilkan pada saat start, perubahan referensi kecepatan dan perubahan beban serta waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi steady state dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 3. Respon Putaran Motor

|  |  |
| --- | --- |
| ***Kondisi*** | ***Parameter terukur*** |
| **Overshoot** | **(*iss*)** |
| Start | 9,43 rad/det | 0,12 |
| Perubahan referensi kecepatan | 15,74 rad/det. | 0,12 |
| Perubahan beban (torsi) | 4,85 rad/det. | 0,12 |

**Gambar 15** merupakan arus stator pada setiap kondisi perubahan yang terjadi, daerah *t*1 menunjukkan saat putaran 38,09 rad/detik pada saat beban nol (motor tanpa beban), daerah *t*2 menunjukkan saat putaran motor 76,18 rad/detik pada beban nol, dan daerah *t*3 menunjukkan saat putaran 76,18 rad/detik untuk beban penuh 31,63 N.m.

Tabel 4. Respon arus stator

|  |  |
| --- | --- |
| ***Daerah*** | ***Parameter terukur*** |
| **Putaran** | **Arus** |
| t1 | 38,09 rad/det. | 5,10 A |
| t2 | 38,09 rad/det. | 5,10 A |
| t3 | 76,18 rad/det. | 8,2 A |

Untuk kondisi transient dan perubahan referensi kecepatan overshoot arus yang terjadi sebesar 40, 29 Ampere dan 10,5 ampere

**Gambar 16**. Merupakan output tengangan inverter yang menjadi input tegangan bagi motor induksi 3 phasa,

Tabel 3. Respon Tegangan Motor

|  |  |
| --- | --- |
| ***Putaran*** | ***Parameter terukur*** |
| **Periode (T)** | **Vm** |
| 38,09 rad/det. (t=0 s/d 0,3 dtk) | 0,091 detik | 466,6 |
| 76,18 rad/det. (t=0,3 s/d 1 dtk | 0,044 detik | 466,6 |
|  |  |  |

Terlihat bahwa pada saat perubahan referensi kecepatan menjadi lebih cepat frekuensi tegangan motor juga semakin besar ()

**Gambar 17**. Merupakan respon dari torka elektromagnetik dimana pada saat start dan perubahan setting kecepatan terjadi ripple torka sebesar 310 N,m dan 280 N.m



Gambar 14. Respon Putaran Motor untuk setiap kondisi



***t***1 ***t***2 ***t***3

Gambar 15. Arus Stator untuk setiap kondisi



Gambar 16. Tegangan Motor pada saat perubahan referensi kecepatan dan Torsi beban



Gambar 17. Torka Elektromagnetik



Gambar 18. Fluks stator terhadap koordinat sumbu *d* dan *q*

1. **Penutup**

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Pada saat start motor dengan beban nol dan putaran 0,5 putaran nominal (38,09 rad/det) terjadi overshoot 9,43 rad.det(19,84%), rise time 0,007875 detik dan settling time 0,12 detik.
2. Pada saat motor terjadi perubahan putaran referensi naik 100% menjadi 76,18 rad/det. dengan beban nol terjadi overshoot 15,74 rad.det(17,12%), rise time 0,0094 detik dan settling time 0,12 detik.
3. Pada saat motor diberi beban penuh 31,63 N.m dan putaran (76,18 rad/det) terjadi overshoot 4,45 rad.det(5,51%), rise time 0, detik peak time 0,0086 detik dan settling time 0,12 detik.
4. Dari gambar 10 kita lihat bahwa sistem kokoh (robust) untuk perubahan beban yang terjadi.

**Ucapan Terima kasih**

Ucapan terima

**Daftar Pustaka**

[1] Soebagio, *Model mesin AC pada koordinat d-qn*, Materi Kuliah Mesin Listrik Lanjut, ITS, 2006

[2] D. Casadei, G. Serra, A. Tani, and L.Zarri, “Assessment of direct torque control for induction motor drives”, *Buletin of the Polish academy of science tech. sciences*, vol. 54, No.3, 2006.

[3] Bimal Kr. Bose*, Modern Power Electronics and AC drives*, Prentice Hall PTR, 2002.

[4] D. Casadei, Giovanni Serra*,* “FOC and DTC: two variable scheme for induction motors torque control”, *Trans. On Power Electronics*, Vol. 17, No. 5, September 2002.

[5] I. Takahashi, T. Noguchi,” A new quick-response and high-efficiency control strategy of an induction motor”, IEEE, Trans. Ind. Appl., IA-22(5): 820-827, 1996.

[6] M. Abid, Y. Ramdani, A. Aissaoui, A. Zeblah,”Sliding mode speed and flux control of an induction machine”, Journal of Cybernetics and Informatics, ISSN: 1336-4774, vol. 6, 2006.

[7] Paul C. Krause,” Analysis of Electric Machinery”, McGraw-Hill, 1987.

[8] Ned mohan,” Advance electric drives analysis, control and modeling using simulink”, MNPERE, Minneapolis, 2001.

[9] O. Barambones, A. J. Garrido, F.J. Maseda. “A robust field oriented control of induction motor with flux observer and speed adaptation”. Proc. IEEE-ATFA, 2003.

[10] Petar R. Matic, Branko D. Blanus, Slobodan N Vukosavic,“A novel direct torque control and flux control algorithm for the induction motor”,IEEE, 2003.

[11] T. Brahmananda Reddy, D. Subbarayudu, J. Amarnath,” Robust sliding mode speed controller for hybrid SVPWM base direct torque control of induction motor”, World Jurnal of Modelling and Simulation, ISSN 1 746-7233, England, vol 3, 2007.

[12] Wilfrid Perruquetti, Jean Pierre Barbot,” Sliding mode control in Engineering”, Marcel and Dekker, Inc. New York-Basel, 2002.

[13] Arman Jaya, Mauridhi Heri Purnomo, Soebagio, “Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tanpa Sensor Kecepatan Menggunakan Metode Fuzzy Sliding Mode Control Berbasis Direct Torque Control”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITS. 2009.

[14] Ching-Chang Wong, Shih-Yu Chang, “Parameter Selection in the Sliding Mode Control Design Using Genetic Algorithms, Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 115-122, 1998

[15] T. Cao-Minh Ta, C. Chakraborty, Y. Hori, Efficiency Maximization of Induction Motor Drives for Electric Vehicles Based on Actual Measurement of Input Power, Department of Electrical Engineering, University of Tokyo, Japan

***Oktavianus Kati***, dilahirkan di Makassar 26 Oktober 1976, Menamatkan Pendidikan Dasar pada **SD Negeri Inpres Bertingkat Rappo Jawa Makassar** tahun 1988, Pendidikan Menengah pada **SMP Negeri 4 Makassar** tahun 1991, **SMA Negeri 4 Surabaya** tahun 1994, dan Sarjana pada **Universitas Hasanuddin** (Konsentrasi Teknik Energi) pada tahun 1999. Dari tahun 2000-2002 aktif sebagai tenaga ahli pada **PT. Wesitan Konsultan Pembangunan Wamena**, tahun 2003 terangkat sebagai tenaga Edukatif (PNS) pada **Universitas Cenderawasih (UNCEN) Jayapura-Papua**. Dari tahun 2005-2007 aktif sebagai kepala Lab pada Laboratorium Mesin-mesin Listrik UNCEN. Dan dari tahun 2007-2009 menjabat ketua Program Studi D3 Teknik Elektro UNCEN, tahun 2009 hingga sekarang tercatat sebagai mahasiswa **Pascasarjana pada Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Teknik Komputer, Kendali dan Elektronika Universitas Hasanuddin Makassar**.

Email : okecanakota@gmail.com