



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGENDALIAN ADAPTIF FUZZY UNTUK SELF TUNING PI
PADA KONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI
TIGA FASA TANPA SENSOR KECEPATAN
DENGAN *OBSERVER MRAS***

TESIS

**ANE PRASETYOWATI R
06 06 00 3146**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCA SARJANA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGENDALIAN ADAPTIF FUZZY UNTUK SELF TUNING PI
PADA KONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI
TIGA FASA TANPA SENSOR KECEPATAN
DENGAN *OBSERVER MRAS***

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Magister Teknik**

**ANE PRASETYOWATI R
06 06 00 3146**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN TEKNIK KONTROL INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DESEMBER 2008**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikuti maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : ANE PRASETYOWATI R

NPM : 0606003146

Tanda Tangan :

Tanggal : 11 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Ane Prasetyowati R

NPM : 0606003146

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Tesis : Pengendalian *Adaptif Fuzzy untuk Self Tuning PI* pada kontrol kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa tanpa sensor kecepatan dengan *observer MRAS*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : DR. Ir. Ridwan Gunawan, M.T ()

Penguji : ()

Penguji : ()

Penguji : ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan Thesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik pada Program Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. DR Ir. Ridwan Gunawan, M.T, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
2. Fakultas Teknik Universitas Pancasila yang telah memberikan kesempatan pada saya untuk melanjutkan studi program pasca sarjana;
3. Suami, anak-anak dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
4. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan thesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 11 Desember 2008



Ane Prasetyowati R
0606003146

**PERNYATAAN PERSEJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ane Prasetyowati R
NPM : 0606003146
Program Studi : Teknik Kontrol Industri
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengendalian Adaptif Fuzzy untuk Self Tuning PI pada kontrol kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa tanpa sensor kecepatan dengan *observer* MRAS

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok.
Pada tanggal : 11 Desember 2008.
Yang menyatakan



Ane Prasetyowati R

0606003146

Nama : Ane Prasetyowati R
Program Studi : 0606003146
Judul : Pengendalian *Adaptif Fuzzy untuk Self Tuning PI* pada kontrol kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa tanpa sensor kecepatan dengan *observer MRAS*

ABSTRAK

Motor Induksi di dalam perindustrian sangat banyak dibandingkan dengan motor lainnya, karena harga dan kemudahan operasi motor induksi tersebut. Banyaknya aplikasi yang menggunakan motor induksi menyebabkan cukup banyak *research* mengenai pengendalian motor induksi agar dapat berjalan lebih efektif, efisien, dan ekonomis. Pada penelitian ini dibahas mengenai bagaimana menala proposional gain dan integral gain bila kecepatan referensi diubah dengan menggunakan *adaptif fuzzy*. Pada perancangan sistem kendali *adaptif fuzzy* disini menggunakan *Observer Model reference adaptif system (MRAS)* untuk melakukan estimasi kecepatan motor induksi.

Pemodelan motor induksi tiga fasa dan MRAS dilakukan dalam kerangka acuan *direct-quadrature (dq)*, ini ditujukan agar tidak diperlukan lagi melakukan banyak transformasi, karena bagian pengendali, fluks model, serta banyak besaran lainnya berada pada sumbu dq. Hasil simulasi dengan *C-MEX S-function Matlab/Simulink 6.5* menunjukkan bahwa penggunaan kendali *Adaptif Fuzzy* untuk *self tuning PI* dapat menala gain proporsional dan gain integral dengan ketepatan 97%. Respon kecepatan rotor dengan menggunakan observer MRAS lebih baik dari Observer full order, pada kecepatan referensi 140 rad/det tidak mengalami overshoot di $t = 3$ detik. Pada parameter motor yang sama, motor dengan nilai momen inersia besar memiliki putaran lebih stabil.

Keyword: Observer, adapif fuzzy, MRAS

Name : Ane Prasetyowati R
Program Studi : 0606003146
Judul : *Adaptif Fuzzy Self Tuning PI in speed control for sensorless induction three phase motor with MRAS Observers*

ABSTRACT

Induction motor in industrial is using more than any other motor because the price and the operation of the induction motor is easy. Many application that used induction motor causing many research about the controlling of induction motor so the motor can run more effective, efficient and economist. In this research we are talking about how to tuned the proportional gain dan the integral gain if the motor parameter being changed using adaptif fuzzy. On the adaptif fuzzy planning system here we use Observer Model Adaptif System (MRAS) to do the estimating the speed of the induction motor. The using of the observer is being hope to reduce the using of speed sensor, that can reduce the cost.

Induction three phases motor modeled and MRAS is done in the references of direct-quadrature (dq), this aim to not doing many transformation, because in the control part, flux model, and many other values is in the dq axis. The simulation results with C-MEX S-function Matlab/Simulink 6.5 shown that the using of adaptive fuzzy for self tuning PI can tuned proportional gain and internal gain with the proximation of 97%. Motor speed response with observer MRSA has the better performance than the full observer order, at the 147 rad/sec reference speed doesn't have overshoot at $t = 3$ second. Value of moment inertia is rather then big have rotation be stable with the same motor parameters.

Keyword: *Observer, adapif fuzzy, MRAS*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL -----	i
PERNYATAAN ORISINILITAS -----	ii
LEMBAR PENGESAHAN -----	iii
UCAPAN TERIMA KASIH -----	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH-----	v
ABSTRAK -----	vi
ABSTRACT-----	vii
DAFTAR ISI -----	viii
DAFTAR GAMBAR-----	xi
DAFTAR TABEL -----	x
DAFTAR SINGKATAN -----	xiv
DAFTAR ISTILAH / SIMBOL -----	xv
BAB 1 PENDAHULUAN -----	1
1.1 Latar Belakang -----	1
1.2 Tujuan Pembahasan -----	2
1.3 Pembatasan Masalah -----	2
1.4 Sistematika Penulisan -----	3
BAB 2 TEORI MOTOR INDUKSI TIGA FASA DAN KONTROL KECEPATAN DENGAN ADAPTIF FUZZY -----	4
2.1 Motor Induksi Secara Umum-----	4
2.2 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa -----	5
2.3 Teori Kerangka Acuan -----	8
2.4 Model Motor Induksi Kerangka Acuan Sumbu alpha-beta-----	11
2.5 Model Motor Induksi Kerangka Acuan Sumbu dq-----	14
2.6 Sistem Kendali Adaptif Fuzzy -----	19
2.6.1 Himpunan Fuzzy Dan Crisp -----	19
2.6.2 Operator Fuzzy -----	22
2.7 Defuzzifikasi -----	23
2.7.1 Metode Centroid -----	23
2.8 Algoritma Adaptif fuzzy -----	24
2.9 Fungsi Keanggotaan Input -----	26
BAB 3 PERANCANGAN ADAPTIF FUZZY UNTUK SELF TUNING PI PADA -----	25
3.1 Diagram Blok RFOC -----	25
3.1.1 Pengendali Kecepatan -----	25
3.1.2 Pengendali Field Weakening -----	26
3.1.3 Pengendali Torsi -----	28
3.2 Self Tuning PI -----	29
3.2.1 Pendefinisian karakteristik model -----	30
3.2.2 Pembentukan Himpunan fuzzy dan aturan fuzzy -----	30
3.3 Perancangan adaptasi-----	43
3.4 Observer Model Reference Adaptif System-----	46
3.5 Pulse Width Modulation (PWM) -----	47
3.6 Diagram Blok Sistem-----	50

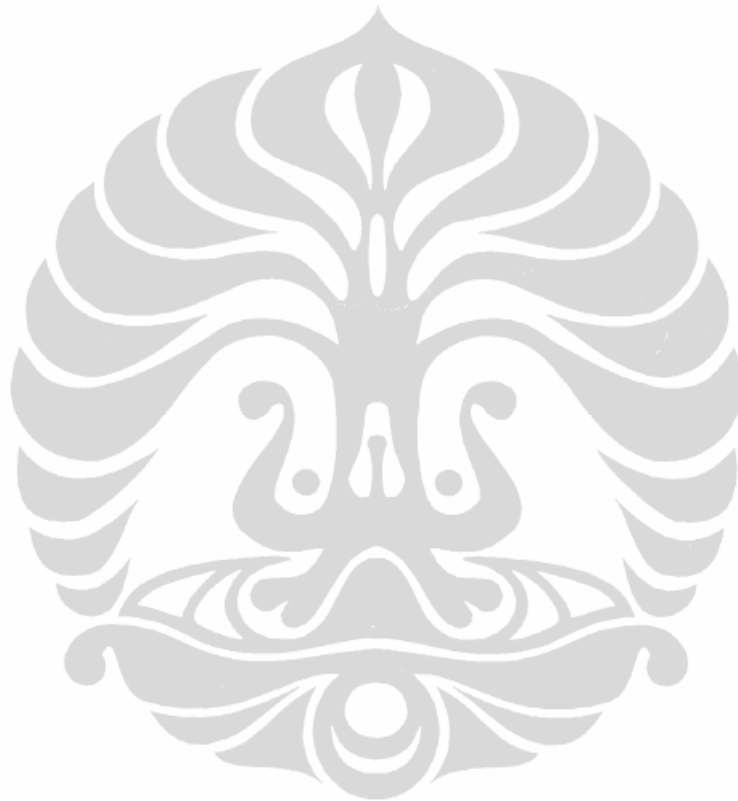
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA	56
4.1 Prosedur Simulasi	56
4.2 Simulasi self tuning PI untuk motor induksi tiga fasa	57
4.2.1 Status Perubahan Kecepatan dengan beban nol	59
4.2.2 Simulasi Perubahan Kecepatan dan Perubahan Beban	62
4.3 Simulasi observer MRAS pada pengendalian motor induksi tiga fasa -	66
4.3.1 Status Perubahan Kecepatan dengan beban nol.....	67
4.3.2 Simulasi Perubahan Kecepatan dan Perubahan Beban.	74
4.4 Perbandingan Simulasi Observer MRAS & full Order.	80
4.5 Simulasi Perubahan Parameter Momen Inersia.....	81
4.5.1 Motor 1 HP.	81
4.5.2 Motor 10 HP.....	82
4.5.3 Motor 50 HP.....	83
BAB 5 KESIMPULAN	84
DAFTAR ACUAN	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	87

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Arah gaya magnet sesuai dengan aturan tangan kanan -----	6
Gambar 2.2	Arus tiga fasa-----	6
Gambar 2.3	(a) Gaya gerak magnet pada saat t-----	7
	(b) Gaya gerak magnet pada saat t-----	7
	(c) Gaya gerak magnet pada saat t-----	7
	(d) Gaya gerak magnet pada saat t-----	7
Gambar 2.4	Transformasi tiga fasa ke dua fasa diam-----	9
Gambar 2.5	Transformasi dua fasa diam ke dua fasa berputar (rotating) -----	10
Gambar 2.6	Struktur Jaringan Adaptif Fuzzy-----	21
Gambar 2.7	Operasi Himpunan Crisp-----	22
Gambar 2.8	Proses Defuzzifikasi Metode Centroid-----	24
Gambar 2.9	Sistem inferensi fuzzy TSK dua masukan dengan dua aturan --	25
Gambar 2.10	Arsitektur jaringan syaraf feedforward -----	27
Gambar 3.1	Diagram blok RFOC dengan Kontrol Kecepatan-----	29
Gambar 3.2	Diagram blok pengendali kecepatan -----	29
Gambar 3.3	Blok diagram kendali Field Weakening-----	30
Gambar 3.4	Blok diagram kendali Torsi -----	32
Gambar 3.5	Blok diagram kendali Fluks -----	32
Gambar 3.6	Fuzzy Self Tuning PI untuk kontrol kecepatan -----	33
Gambar 3.7	Representasi variabel : $Error \Delta K_p$ -----	36
Gambar 3.8	Representasi variabel : $\Delta Error \Delta K_p$ -----	37
Gambar 3.9	Representasi variabel : ΔK_p -----	39
Gambar 3.10	Representasi variabel : $Error \Delta K_i$ -----	41
Gambar 3.11	Representasi variabel : $\Delta Error \Delta K_i$ -----	43
Gambar 3.12	Representasi variabel : ΔK_i -----	45
Gambar 3.13	Model reference adaptive kontrol untuk kontrol kecepatan -----	50
Gambar 3.14	Sinyal sinusoida dan sinyal carrier -----	52
Gambar 3.15	Diagram blok sistem-----	54
Gambar 4.1	Diagram MATLAB-Simulink adaptif fuzzy motor induksi tiga fasa tanpa observer MRAS-----	58
Gambar 4.2	Diagram MATLAB-Simulink tanpa adaptif fuzzy motor induksi tiga fasa tanpa observer MRAS -----	58
Gambar 4.3	Kecepatan motor 1 HP pada beban nol dengan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	59
Gambar 4.4	Kecepatan motor 1 HP pada beban nol tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	60
Gambar 4.5	Kecepatan motor 10 HP pada beban nol dengan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	60
Gambar 4.6	Kecepatan motor 10 HP pada beban nol tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	61
Gambar 4.7	Kecepatan motor 50 HP pada beban nol dengan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	61
Gambar 4.8	Kecepatan motor 50 HP pada beban nol tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	62

Gambar 4.9	Kecepatan motor 1 HP dengan beban menggunakan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	62
Gambar 4.10	Kecepatan motor 1 HP dengan beban tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	63
Gambar 4.11	Kecepatan motor 10 HP dengan beban menggunakan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	63
Gambar 4.12	Kecepatan motor 10 HP dengan beban tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	64
Gambar 4.13	Kecepatan motor 50 HP dengan beban menggunakan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	64
Gambar 4.14	Kecepatan motor 50 HP dengan beban tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS -----	65
Gambar 4.15	Diagram MATLAB-Simulink dengan observer MRAS -----	66
Gambar 4.16	Kecepatan motor 1 HP dengan observer MRAS-----	67
Gambar 4.17	Fluks sumbu d motor 1 HP dengan observer MRAS-----	68
Gambar 4.18	Fluks sumbu q motor 1 HP dengan observer MRAS-----	68
Gambar 4.19	Fluks sumbu q motor 1 HP dengan observer MRAS-----	69
Gambar 4.20	Kecepatan motor 10 HP dengan observer MRAS -----	69
Gambar 4.21	Fluks sumbu d motor 10 HP dengan observer MRAS -----	70
Gambar 4.22	Fluks sumbu q motor 10 HP dengan observer MRAS -----	70
Gambar 4.23	Torsi motor 10 HP dengan observer MRAS -----	71
Gambar 4.24	Kecepatan motor 50 HP dengan observer MRAS -----	71
Gambar 4.25	Fluks sumbu d motor 50 HP dengan observer MRAS -----	72
Gambar 4.26	Fluks sumbu q motor 50 HP dengan observer MRAS -----	72
Gambar 4.27	Torsi motor 50 HP dengan observer MRAS -----	73
Gambar 4.28	Kecepatan motor 1 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban -----	74
Gambar 4.29	Fluks sumbu d 1 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban -----	75
Gambar 4.30	Fluks sumbu q 1 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban -----	75
Gambar 4.31	Torsi motor 1 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban -----	76
Gambar 4.32	Kecepatan motor 10 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban -----	77
Gambar 4.33	Fluks sumbu d 10 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban -----	77
Gambar 4.34	Fluks sumbu q 10 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban -----	78
Gambar 4.35	Torsi 10 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban	78
Gambar 4.36	Kecepatan motor 10HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban -----	79
Gambar 4.37	Fluks sumbu d 50 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban -----	79
Gambar 4.38	Fluks sumbu q 50 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban -----	80

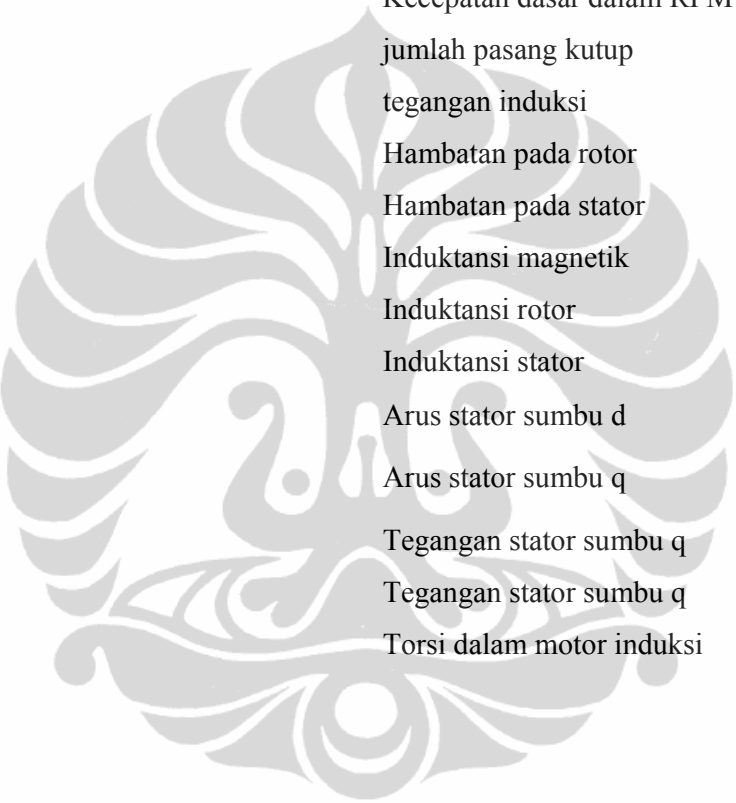
Gambar 4.39	Torsi 50 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban	80
Gambar 4.40	Perbandingan kecepatan motor dengan observer MRAS dan observer full order	81
Gambar 4.41	Kecepatan motor 1 HP dengan perubahan momen inersia	82
Gambar 4.42	Kecepatan motor 10 HP dengan perubahan momen inersia	83
Gambar 4.43	Kecepatan motor 50 HP dengan perubahan momen inersia	84



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1	Variabel karakteristik model PI ----- 30
Tabel 3.2	Himpunan Fuzzy untuk ΔK_p ----- 31
Tabel 3.3	Himpunan Fuzzy untuk ΔK_i ----- 36
Tabel 3.4	Fuzzy Inference rules untuk updating Proportional gain ΔK_p ---- 43
Tabel 3.5	Fuzzy Inference rules untuk updating Integral gain ΔK_i ----- 43
Tabel 3.6	Himpunan Fuzzy untuk ΔK_p dalam proses adaptasi----- 44
Tabel 3.7	Himpunan Fuzzy untuk ΔK_i dalam proses adaptasi----- 44
Tabel 3.8	Proses Adaptasi Inference rules untuk updating Proportional ΔK_p gain ----- 45
Tabel 3.9	Proses Adaptasi Inference rules untuk updating Integral ΔK_i gain ----- 46
Tabel 4.1	Parameter Motor 1 HP----- 50
Tabel 4.2	Parameter Motor 10 HP ----- 51
Tabel 4.3	Parameter Motor 50 HP ----- 51
Tabel 4.4	Respon Kecepatan motor pada Adaptif fuzzy----- 59

DAFTAR SINGKATAN



f	frekuensi
N_s	Kecepatan sinkron dalam RPM
N_b	Kecepatan dasar dalam RPM
p	jumlah pasang kutup
E_{ind}	tegangan induksi
R_r	Hambatan pada rotor
R_s	Hambatan pada stator
L_m	Induktansi magnetik
L_r	Induktansi rotor
L_s	Induktansi stator
i_{sd} i_{sd}	Arus stator sumbu d
i_{sq} i_{sq}	Arus stator sumbu q
v_{sd}	Tegangan stator sumbu q
v_{sq}	Tegangan stator sumbu q
T_e	Torsi dalam motor induksi

DAFTAR SIMBOL

ψ_{rd}	fluks rotor sumbu d (Wb)
$\psi_{s\alpha}$	flux rotor sumbu α
$\psi_{s\beta}$	flux rotor sumbu β
β	arah acuan sumbu
α	arah acuan sumbu
σ	koefisien leakage
ω_r	kecepatan motor (rad/s)
τ_r	(H/ Ω)
Σ	jumlah

