

**STUDI PERBANDINGAN RUGI-RUGI PADA MOTOR
INDUKSI YANG DICATU DENGAN INVERTER
SUMBER TEGANGAN DAN INVERTER
SUMBER ARUS**

S K R I P S I

*Disusun dan diajukan untuk memenuhi
Persyaratan memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Elektro*

Oleh :

Irwansyah

Stambuk : 98.812.0043



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MEDAN AREA
M E D A N
2 0 0 3**

**STUDI PERBANDINGAN RUGI-RUGI PADA MOTOR
INDUKSI YANG DICATU DENGAN INVERTER
SUMBER TEGANGAN DAN INVERTER
SUMBER ARUS**

OLEH



Irwansyah
NIM : 98.812.0043

MENYETUJUI
KOMISI PEMBIMBING

PEMBIMBING I

Ir. MARLAN SWANDANA

PEMBIMBING II

Ir. YANCE SYARIF

MENGETAHUI:

KETUA JURUSAN

Ir. YANCE SYARIF

DEKAN

Drs. DADAN RAMDHAN, M.Eng.Sc

Tanggal Lulus :

ABSTRAK

Motor induksi dapat dicatu melalui inverter sumber tegangan (IST) dan inverter sumber arus (ISA). Rugi-rugi dalam motor induksi yang dicatau dari kedua sumber tersebut dapat dihitung, dan suatu perbandingan efisiensi dapat dibuat ketika suplai dari sumber-sumber tersebut diberikan.

Rangkaian ekuivalen yang meliputi efek harmonisa ruang dan koreksi efek dalam batang rotor digunakan untuk perhitungan rugi-rugi tembaga utama dan rugi-rugi tembaga tersebar. Rugi-rugi besi tersebar yang disebabkan oleh gaya gerak magnetik (MMF) dan harmonisa permeansi (daya antar magnetik), rugi bocor ujung (end leakage) dan rugi bocor tak simetris (skew leakage) juga diperhitungkan.

Dengan memasukkan semua unsur rugi-rugi utama dan tersebar ke dalam perhitungan, akan terlihat perbedaan dan perbandingan rugi-rugi dan efisiensi pada motor induksi dari kedua pencatuan tersebut.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala berkat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul : **“STUDI PERBANDINGAN RUGI-RUGI PADA MOTOR INDUKSI YANG DICATU DENGAN INVERTER SUMBER TEGANGAN DAN INVERTER SUMBER ARUS”**.

Tugas akhir adalah merupakan tugas yang wajib dilaksanakan oleh setiap mahasiswa dalam menyelesaikan studinya guna mendapatkan gelar Sarjana Teknik Elektro pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Dengan selesainya Tugas Akhir ini, izinkanlah penulis untuk mengucapkan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Drs. Dadan Ramdhan, M.Eng.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area
2. Ibu Ir. Yance Syarif, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Medan Area sekaligus sebagai Pembimbing II Tugas Akhir penulis.
3. Bapak Ir. Marlan Swandana, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir dari penulis.
4. Orang tua, Kakak dan Adik-adik penulis yang telah memberikan bantuan moril dan materil selama masa studi penulis.

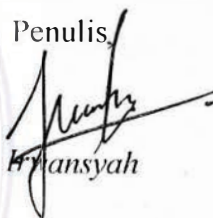
6. Rekan-rekan penulis yang telah memberi masukan dan bantuan kepada penulis hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Atas semuanya itu, penulis hanya mampu mendoakan semoga Tuhan akan membalas segala kebaikan yang telah diberikan.

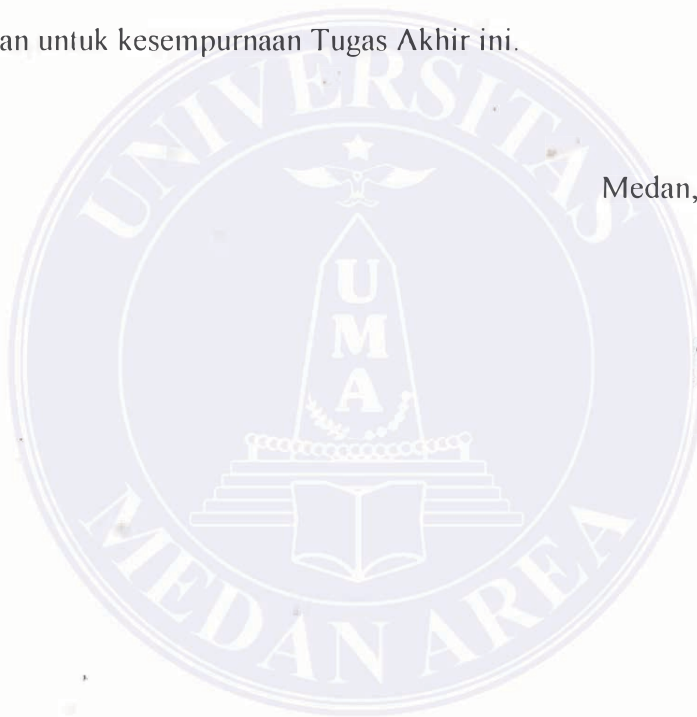
Akhir kata mudah-mudahan tulisan yang masih jauh dari sempurna ini dapat bermanfaat bagi yang memerlukannya serta kritik dan saran yang konstruktif, penulis selalu harapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Medan, Mei 2003

Penulis,



Fransyah



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Pokok Pembahasan	2
I.3. Pembatasan Masalah	4
BAB II MOTOR INDUKSI	5
II.1. Umum	5
II.2. Konsep Dasar Motor Induksi	5
II.2.1. Konstruksi Motor Induksi	5
II.2.2. Medan Magnetik Berputar	8
II.2.3. Tegangan Induksi	13
II.2.4. Prinsip Kerja Motor Induksi	15
II.3. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi	18
II.3.1. Belitan Stator	18
II.3.2. Rangkaian Rotor	21

II.3.3. Rangkaian Ekuivalen Lengkap	23
II.3.4. Rangkaian Ekuivalen Rekomendasi IEEE	25
II.4. Karakteristik Kerja Motor Induksi	26
II.4.1. Torsi Pada Motor Induksi	26
II.4.2. Arus Stator	29
II.4.3. Faktor Daya Input	30
II.4.4. Aliran Daya dan Efisiensi	31
II.5. Pengaruh Perubahan Tegangan Suplai Terhadap Torsi dan Kecepatan	33
BAB III INVERTER SUMBER TEGANGAN DAN INVERTER SUMBER ARUS	35
III.1. Umum	35
III.2. Teori Semikonduktor	36
III.2.1. Semikonduktor Tipe-N	39
III.2.2. Semikonduktor Tipe-P	39
III.2.3. Pertemuan PN	40
III.3. Thyristor	42
III.3.1. Karakteristik Volt-Ampere	42
III.3.2. Analogi Dua-Transistor	44
III.3.3. Karakteristik Pensaklaran	45
III.4. Inverter	48
III.4.1. Inverter Sumber Tegangan (IST)	49

III.4.2. Inverter Sumber Arus (ISA)	56
III.5. Aplikasi Inverter Pada Pengendalian Motor Induksi	58
III.5.1. Pengendalian Frekwensi Saluran	59
III.5.2. Operasi Frekwensi Konstan	63
III.5.3. Pengendalian Loop-Tertutup	64
BAB IV PERBANDINGAN RUGI-RUGI PADA MOTOR INDUKSI YANG DICATU DENGAN INVERTER SUMBER TEGANGAN DAN INVERTER SUMBER ARUS	
IV.1. Pengantar	66
IV.2. Harmonisa Waktu dan Ruang	67
IV.2.1. Harmonisa Waktu	68
IV.2.2. Harmonisa Ruang	72
IV.3. Operasi Dengan Fluksi Celah Udara Konstan	75
IV.4. Rangkaian Ekuivalen Harmonisa Motor Induksi	76
IV.5. Persamaan-Persamaan Untuk Berbagai Rugi-Rugi	78
IV.5.1. Rugi-Rugi Tembaga (Chopper Loss).....	79
IV.5.2. Rugi-Rugi Tersebar (Stray Loss).....	79
IV.5.3. Rugi Inti (Core Loss)	84
IV.6. Perhitungan Rugi-Rugi Menggunakan Rangkaian Ekuivalen Harmonisa	84
BAB V KESIMPULAN	89
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Konverter hubungan-dc	3
Gambar 2.1. Stator motor induksi tiga fasa	6
Gambar 2.2. Rotor sangkar motor induksi tiga fasa	7
Gambar 2.3. Rotor belitan motor induksi tiga fasa	8
Gambar 2.4. Pulsasi gelombang MMF	9
Gambar 2.5. Analisa vektor medan magnetik berputar	11
Gambar 2.6. Distribusi rapat fluksi celah udara	13
Gambar 2.7. Rangkaian motor induksi model transformator	18
Gambar 2.8. Vektor diagram rangkaian motor induksi model transformator	19
Gambar 2.9. Perkembangan rangkaian ekiyalen motor induksi	20
Gambar 2.10. Rangkaian ekivalen pendekatan	24
Gambar 2.11. Vektor diagan rangkaian ekivalen motor induksi	25
Gambar 2.12. Rangkaian ekivalen rekomendasi-IEEE	25
Gambar 2.13. Karakteristik torsi-kecepatan pada tegangan yang berbeda	27
Gambar 2.14. Karakteristik torsi-kecepatan untuk berbagai harga R_2	28
Gambar 2.15. Arus stator sebagai fungsi kecepatan	30
Gambar 2.16. Faktor daya sebagai fungsi kecepatan	30
Gambar 2.17. Diagram aliran daya motor induksi	31
Gambar 2.18. Efisiensi sebagai fungsi kecepatan	33

Gambar 3.1.	Struktur atom silikon dan semikonduktor	38
Gambar 3.2.	Pembentukan pertemuan PN	40
Gambar 3.3.	Struktur lazim suatu thyristor	42
Gambar 3.4.	Karakteristik volt-ampere thyristor	43
Gambar 3.5.	Rangkaian ekivalen dua-transistor untuk thyristor	44
Gambar 3.6.	Karakteristik pensaklaran thyristor	46
Gambar 3.7.	Penyalaaan dan pemadaman thyristor	47
Gambar 3.8.	Proteksi thyristor untuk di/dt dan dv/dt	48
Gambar 3.9.	Konfigurasi inverter	49
Gambar 3.10.	IST setengah-jembatan	50
Gambar 3.11.	IST jembatan-penuh	51
Gambar 3.12.	Rangkaian komutasi McMurray	52
Gambar 3.13.	Inverter jembatan tiga-fasa	55
Gambar 3.14.	ISA tiga-fasa	57
Gambar 3.15.	ISA dengan pengaturan arus	58
Gambar 3.16.	Pengendalian kecepatan loop-terbuka suatu motor induksi	60
Gambar 3.17.	Variasi tegangan dengan perubahan frekwensi	60
Gambar 3.18.	Karakteristik T-n suatu motor induksi tegangan variabel	61
Gambar 3.19.	Sistem penggerak motor induksi dengan ISA	62
Gambar 3.20.	Operasi frekwensi slip (f_2) konstan	63
Gambar 3.21.	Sistem pengendalian kecepatan menggunakan pengaturan Frekwensi slip dan operasi V/f konstan	64

Gambar 3.22. Sistem pengendalian kecepatan dengan frekwensi slip konstan ...	65
Gambar 4.1. Gerakan MMF resultan	68
Gambar 4.2. Karakteristik T-n untuk arus harmonisa waktu yang berbeda	72
Gambar 4.3. Distribusi MMF dalam celah udara	73
Gambar 4.4. Torsi-torsi parasit disebabkan harmonisa ruang	74
Gambar 4.5. Rangkaian ekivalen konvensional motor induksi	75
Gambar 4.6. Rangkaian ekivalen harmonisa waktu yang mengandung efek Medan harmonisa ruang	77
Gambar 4.7. Diagram rangkaian ekivalen dari motor induksi berdasarkan besaran tegangan harmonisa ke- v , v_v	78
Gambar 4.8. Struktur geometri belitan ujung motor induksi	81
Gambar 4.9. Kurva efisiensi pada frekwensi suplai 50 Hz	86
Gambar 4.10. Kurva efisiensi pada frekwensi suplai 25 Hz	87
Gambar 4.11. Variasi rugi-rugi harmonisa dengan output daya	88

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Kecepatan sinkron untuk gelombang MMF harmonisa waktu yang berbeda pada suatu motor induksi 3ϕ , empat-kutub, 60 Hz	71
Tabel 4.2. Kecepatan sinkron untuk harmonisa ruang dari motor induksi 3ϕ , empat-kutub, 60 Hz	74
Tabel 4.3. Operasi motor induksi dari IST	85
Tabel 4.4. Operasi motor induksi dari ISA	85
Tabel 4.5. Perbandingan rugi-rugi pada motor induksi yang dicatu dengan IST dan ISA	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Banyak aplikasi industri membutuhkan penggerak-penggerak listrik berputar. Penggerak-penggerak ini biasanya dipergunakan untuk mengatur kecepatan dan sering membutuhkan suatu peralatan untuk mendapatkan pengendalian kecepatan yang halus dan beragam dan menjadikan motor bekerja pada suatu karakteristik torsi-kecepatan yang diinginkan.

Aplikasi kecepatan variabel dari sebuah penggerak menjadi lebih penting bilamana suatu rentang kecepatan yang lebar dibutuhkan. Juga, sangat penting memiliki pengendalian kecepatan yang tepat untuk penerapan pada pekerjaan khusus.

Sebuah penggerak, disamping mempunyai ketepatan pengendalian kecepatan, harus menjamin kestabilan operasi pada rentang kecepatan yang lengkap dan juga tanggapan peralihan (*transient response*) yang baik. Sisi lain yang diinginkan dari sebuah penggerak berputar adalah kekontinuan, kehalusan dan tingkat pengendalian kecepatan yang sangat efisien dan ekonomis. Disamping itu, harus dapat diandalkan dengan perawatan yang minimal.

Suatu motor arus bolak-balik (*motor ac*) dapat dipergunakan sebagai motor penggerak. Motor-motor yang digunakan adalah motor induksi dan motor sinkron. Motor induksi cincin slip (disebut juga motor induksi belitan) dan sangkar bajing

(rotor sangkar) keduanya dipergunakan. Motor induksi sangkar bajing lebih menguntungkan daripada cincin slip, karena kuat dan memiliki konstruksi yang sederhana. Sebuah motor ac biasanya adalah mesin berkecepatan konstan dan akan timbul masalah bila diperlukan perubahan kecepatan dalam suatu lebar rentang tertentu yang diharapkan dapat berjalan lancar, mulus dan bertahap.

Pengendalian kecepatan motor induksi dapat dilakukan melalui peranti semi konduktor. Seiring dengan bertambahnya penggunaan kendali-kendali pengaturan frekwensi secara elektronik, motor induksi kelihatannya tetap menjadi pilihan utama, meskipun faktor rugi-rugi tetap merupakan masalah yang harus diantisipasi karena mempengaruhi efisiensi motor.

L2. Pokok Pembahasan

Kita mengetahui bahwa kecepatan sebuah motor ac dapat bervariasi jika frekwensi suplai dapat divariasikan. Pengendalian kecepatan dapat berlangsung dengan lancar dan rata jika suatu suplai frekwensi variabel yang kontinu tersedia. Mesin-mesin berputar sudah dipergunakan untuk menyediakan suatu suplai frekwensi variabel. Sama seperti sistem Ward-Leonard konvensional untuk motor arus searah (*motor dc*), satu set motor generator digunakan untuk menyediakan suplai frekwensi variabel. Sistem tersebut tidak menguntungkan ditinjau dari biaya awal yang tinggi, efisiensi yang buruk dan membutuhkan ruang yang luas.

Kehadiran thyristor dan konverter daya thyristor telah membuka jalan untuk konversi frekwensi statik. Kemampuan untuk mencapai suatu tegangan atau arus

DAFTAR PUSTAKA

1. PC Sen, "PRINCIPLES OF ELECTRIC MACHINES AND POWER ELECTRONICS", Jhon Wiley & Sons, Singapore, 1989.
2. JMD Murphy and FG Turnbull, "POWER ELECTRONICS OF AC MOTORS", Pergamon Press (UK), Oxford, 1988.
3. K. Venkatesan and James F Lindsay, "COMPARATIVE STUDY OF THE LOSSES IN VOLTAGE AND CURRENT SOURCE INVERTER FED INDUCTION MOTORS", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA – 18, No.3 pp 240 – 246, May/June 1982.
4. PL Alger, G Angst an EJ Davies, "STRAY LOSSES IN POLYPHASE INDUCTION MACHINES", AIEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-78, pt. III-A, pp.349-357, June 1959.
5. Eugene A Klingshirn and Howard E. Jordan, "POLYPHASE INDUCTION PERFORMANCE AND LOSSES ON NON SINUSOIDAL VOLTAGE SOURCES", AIEE Trans. Power App. Syst., pp.624-634, March 1968.
6. GC Jain, "THE EFFECT OF VOLTAGE WAVESHAPE ON THE PERFORMANCE OF A 3-PHASE INDUCTION MOTOR", AIEE Trans. Power App. Syst., pp. 561 – 566, June 1964.

7. Mg Say, "ALTERNATING CURRENT MACHINES", 4th ed., pitman london, 1976.
8. AE Fitzgerald, C Kingsley dan SD Umans, "MESIN-MESIN LISTRIK", Edisi ke-4, Terjemahan Djoko Achyanto, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986.
9. Zuhail, "TEKNIK TENAGA LISTRIK DAN ELEKTRONIKA DAYA", Gramedia, Jakarta.
10. Alexander S Langsdorf, "THEORY OF ALTERNATING CURRENT MACHINERY", 2nd ed. Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd. New Delhi, 1974.
11. Ciryil W Lander, "POWER ELECTRONICS", McGraw-Hill Book Company (UK) Ltd, London.
12. Vedam Subrahmanyam, "THYRISTOR CONTROL OF ELECTRIC DRIVES", Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd, New delhi, 1988.
13. William H Hayt, Jr. dan jack E Kemmerly, "RANGKAIAN LISTRIK", Edisi ke-3, Terjemahan pantur Silaban, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1982.