

Simulasi Desain Motor Sinkron Dengan Modifikasi Geometri Magnet Permanen dan Celah Udara pada Frekuensi Tinggi

Fahri Iqbal Gifhari

NRP : 1222047

e-mail : fahriqbal@gmail.com

ABSTRAK

Motor listrik merupakan sebuah komponen yang sering digunakan di bidang industri maupun dalam kegiatan sehari-hari. Banyak cara pengendalian kecepatan motor AC untuk dapat bekerja secara optimal. Umumnya pengendalian kecepatan motor menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*). PWM yang dapat bekerja pada frekuensi tinggi, kecepatan putaran yang dihasilkan maka akan lebih tinggi.

Rangkaian sistem pengendalian kecepatan motor dengan PWM dapat digunakan sebagai pengatur kecepatan motor secara *universal*. Semakin besar frekuensi yang diberikan, maka semakin cepat motor berputar. Tetapi, pada saat inverter menggunakan *switching circuit* untuk mengontrol PWM, terjadi sebuah *noise* yang dapat menyebabkan interferensi elektromagnetik (EMI) di frekuensi tinggi pada sistem tersebut. Interferensi tersebut dapat menyebabkan sinyal *Common mode* yang muncul pada rangkaian, sehingga mempengaruhi dari kecepatan motor yang dihasilkan.

Oleh karena itu dilakukan modifikasi geometri magnet permanen yang dapat berupa pemilihan bahan magnet ferrite, bentuk dari magnet permanen, pengaturan luas penampang, dan celah udara pada magnet permanen.

Dari hasil uji coba pada simulasi menggunakan matlab didapatkan nilai kecepatan motor yang lebih besar dibandingkan dilakukan modifikasi geometri magnet permanen. Hal ini dikarenakan keterbatasan frekuensi dan noise pada PWM.

Kata kunci: motor AC sinkron, PWM (*Pulse Width Modulation*), Frekuensi Tinggi, Geometri magnet permanen, Bahan Magnet Ferrite

Synchronous Motor Design and Simulation with Modification of Permanent Magnet Geometry with Air Gap at High Frequency

Fahri Iqbal Gifhari

NRP : 1222047

e-mail : fahriqbal@gmail.com

ABSTRACT

Motor is a component that is often used in industry and in daily activities. Many ways to control speed of the AC motor. For instance, to control speed motor can be used PWM (Pulse Width Modulation) metode. Using PWM at high frequencies, the rotation speed will be faster.

The motor speed control system circuit with PWM can be used as a regulator of motor speed universal. Using high frequency at the system, it can be affected the motor rotation. However, when the inverter uses a switching circuit to control PWM, there is a noise that cause of high frequency, due to electromagnetic (EMI) interference in the system. The interference comes from common mode signal that appears in the circuit.

Therefore, modification of geometry permanent magnet can be provide as using ferrite magnet material, type of permanent magnet, size of magnet, and air gap in permanent magnet.

From the results from simulation using matlab, the value of the motor speed is faster using modification of the permanent magnet geometry than without it. This is because of noise from the PWM circuit and limit frequency of PWM.

Keywords: *synchronous motor , PWM (Pulse Width modulation), High Frequency, Geometry of permanent magnet, ferrite magnet material.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN TUGAS AKHIR

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI LAPORAN TUGAS AKHIR

KATA PENGANTAR

ABSTRAK i

ABSTRACT ii

DAFTAR ISI iii

DAFTAR GAMBAR vi

DAFTAR TABEL ix

BAB I PENDAHULUAN 1

I.1 Latar Belakang 1

I.2 Perumusan Masalah 2

I.3 Tujuan Tugas Akhir 2

I.4 Pembatasan Masalah 2

I.5 Sistematika Penulisan 3

BAB II TEORI DASAR 5

II.1 Motor AC - Sinkron 5

II.1.1 Prinsip kerja Motor Sinkron 6

II.1.2 Konstruksi Motor AC Sinkron 7

II.1.3 Rangkaian Ekuivalen Motor Sinkron 7

II.1.4 Rumusan matematis Motor AC Sinkron 8

II.1.5 Kelebihan dan Kekurangan Motor AC Sinkron 8

II.2 Faktor Daya 8

II.3 VFD (*Variable Frequency Drive*) 11

II.4 PWM (*Pulse Width Modulation*) 12

II.5 Perbedaan Fluks Radial dan Axial 14

II.6 Magnet Permanen.....	14
BAB III PERANCANGAN SISTEM	18
III.1 Diagram Blok.....	18
III.2 Diagram Alir Melakukan Percobaan.....	20
III.3 Desain pengaturan kecepatan motor menggunakan PWM	21
III.4 Desain Model pada Rotor Motor Sinkron.....	22
III.4.1 Desain Bentuk Magnet Permanen pada Motor	23
III.4.1.1 Desain Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Annular</i>	24
III.4.1.2 Desain Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Rectangular</i>	26
III.4.1.3 Desain Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Trapezoidal</i>	28
III.5 Pemodelan Celah Udara.....	30
III.6 Perancangan Bentuk Rangkaian Ekuivalen berdasarkan Geometri Magnet Permanen.....	31
III.6.1 Desain Bentuk Magnet Permanen pada Motor	31
III.6.2 Rangkaian Ekuivalen Inti Magnet Menggunakan Celah Udara.....	37
BAB IV DATA PENGAMATAN DAN ANALISIS	38
IV.1 Simulasi Motor Sinkron dengan PWM pada Frekuensi Tinggi.....	38
IV.2 Simulasi Pengendalian Kecepatan Motor Menggunakan PWM dengan geometri magnet.....	40
IV.2.1 Simulasi Kecepatan Motor Menggunakan Geometri Magnet Permanen berbentuk <i>Annular</i>	40
IV.2.2 Simulasi Kecepatan Motor Menggunakan Geometri Magnet Permanen berbentuk <i>Rectangular</i>	46
IV.2.3 Simulasi Kecepatan Motor Menggunakan Geometri Magnet Permanen berbentuk <i>Rectangular</i>	52
IV.3 Hasil Simulasi dengan Menggunakan Perhitungan Celah Udara	58
IV.3.1 Menggunakan Bentuk Magnet permanen <i>Annular</i>	58

IV.3.2 Menggunakan Bentuk Celah Magnet Permanen <i>Rectangular</i>	52
IV.3.3 Menggunakan Bentuk Celah Magnet Permanen <i>Trapezoidal</i>	52
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	63
V.1 Simpulan	63
V.2 Saran.....	63
REFERENSI	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Motor Sinkron	6
Gambar II.2 Kontruksi Motor Sinkron.....	7
Gambar II.3 Rangkaian Ekivalen Motor Sinkron.....	7
Gambar II.4 Diagram Phasor	9
Gambar II.5 Arus Sephasa Dengan Tegangan	10
Gambar II.6 Arus tertinggal dari tegangan sebesar sudut ϕ	10
Gambar II.7 Arus Mendahului Tegangan sebesar sudut ϕ	11
Gambar II.8 VFD (<i>Variable Frequency Drive</i>)	12
Gambar II.9 PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>) Signal.	13
Gambar II.10 Perbandingan Fluks Aksial dan Radial.....	14
Gambar II.11 Kurva demagnetisasi bahan magnet permanen	15
Gambar III.1 Blok Keseluruhan Sistem.	18
Gambar III.2 Blok Diagram Sistem Pengendalian Kecepatan Menggunakan PWM	19
Gambar III.3 Sistem Pengendalian Kecepatan Motor Menggunakan PWM pada Frekuensi Tinggi ^[3]	19
Gambar III.4 Diagram alir percobaan.	20
Gambar III.5 Rangkaian pengendalian kecepatan motor menggunakan PWM.	21
Gambar III.5 Perbandingan Desain Modifikasi Rotor dengan Bentuk Rotor pada Umumnya	22
Gambar III.7 Desain bentuk magnet permanen yang digunakan	23
Gambar III.8 Desain bentuk magnet permanen	24
Gambar III.9 Contoh Perpotongan pada Desain Magnet Permanen Berbentuk <i>Annular</i>	24
Gambar III.10 Contoh Perpotongan pada Desain Magnet Permanen Berbentuk <i>Rectangular</i>	26
Gambar III.11 Contoh Perpotongan pada Desain Magnet Permanen Berbentuk <i>Trapezoidal</i>	28
Gambar III.12 Rangkaian Ekivalen R pada Inti Magnet Permanen	31
Gambar III.13 Penyederhaan Rangkaian Ekivalen R pada Inti Magnet Permanen yang Pertama.....	32

Gambar III.14 Penyederhaan Rangkaian Ekivalen R pada Inti Magnet Permanen yang Kedua	32
Gambar III.15 Rangkaian Ekivalen C pada Inti Magnet Permanen	33
Gambar III.16 Penyederhaan Rangkaian Ekivalen C pada Inti Magnet Permanen yang Pertama.....	32
Gambar III.17 Penyederhaan Rangkaian Ekivalen C pada Inti Magnet Permanen yang Kedua	32
Gambar III.18 Rangkaian Ekivalen L pada Inti Magnet Permanen	35
Gambar III.19 Penyederhaan Rangkaian Ekivalen L pada Inti Magnet Permanen yang Pertama.....	35
Gambar III.20 Penyederhaan Rangkaian Ekivalen L pada Inti Magnet Permanen yang Kedua	36
Gambar III.21 Rangkaian Ekivalen Inti Magnet dengan Menggunakan Celah Udara	37
Gambar IV.1 Rangkaian Pengendalian Kecepatan Motor Sinkron dengan Menggunakan PWM. 38	
Gambar IV.2 Output pada Rangkaian Rectifier	39
Gambar IV.3 Hasil Simulasi Sinyal Pada PWM	39
Gambar IV.4 Hasil Simulasi dari Pengendalian Kecepatan Motor Menggunakan PWM tanpa Geometri Magnet Permanen	40
Gambar IV.5 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk Annular tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 5.000 \text{ Hz}$)	44
Gambar IV.6 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk Annular tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 10.000 \text{ Hz}$)	44
Gambar IV.7 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk Annular tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 15.000 \text{ Hz}$)	45
Gambar IV.8 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk Annular tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 20.000 \text{ Hz}$)	45
Gambar IV.9 Kurva Perbandingan nilai f_o terhadap Kecepatan Motor Bentuk Inti Magnet Annular	46
Gambar IV.10 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Rectangular</i> tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 5.000 \text{ Hz}$)	50
Gambar IV.11 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Rectangular</i> tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 10.000 \text{ Hz}$).....	50
Gambar IV.12 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Rectangular</i> tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 15.000 \text{ Hz}$).....	51

Gambar IV.13 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Rectangular</i> tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 20.000 \text{ Hz}$).....	51
Gambar IV.14 Kurva Perbandingan nilai f_o terhadap Kecepatan Motor Bentuk Inti Magnet <i>Rectangular</i>	52
Gambar IV.15 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Rectangular</i> tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 5.000 \text{ Hz}$)	55
Gambar IV.16 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Trapezoidal</i> tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 10.000 \text{ Hz}$).....	56
Gambar IV.17 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Trapezoidal</i> tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 15.000 \text{ Hz}$).....	56
Gambar IV.18 Hasil Simulasi Kecepatan Motor Berdasarkan Geometri Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Trapezoidal</i> tanpa menggunakan celah udara ($f_o = 20.000 \text{ Hz}$).....	57
Gambar IV.19 Kurva Perbandingan nilai f_o terhadap Kecepatan Motor Bentuk Inti Magnet <i>Trapezoidal</i>	58
Gambar IV.20 Hasil Simulasi bentuk <i>Annular</i> dari inti magnet permanen	59
Gambar IV.21 Hasil Simulasi bentuk <i>Rectangular</i> dari inti magnet permanen	60
Gambar IV.22 Hasil Simulasi bentuk <i>Trapezoidal</i> dari inti magnet permanen	62

DAFTAR TABEL

Tabel III.1 Luas Penampang dari Geometri Magnet Permanen Berbentuk Annular	25
Tabel III.2 Luas Penampang dari Geometri Magnet Permanen Berbentuk <i>Rectangular</i>	27
Tabel III.3 Luas Penampang dari Geometri Magnet Permanen Berbentuk <i>Trapezoidal</i>	29
Tabel III.4 Desain Celah udara yang digunakan	30
Tabel IV.1 Nilai Reluktan dan Permeance pada Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Annular</i>	41
Tabel IV.2 Nilai Induktansi dengan f_o 5.000 Hz sampai dengan 20.000 Hz Berbentuk <i>Annular</i> .	42
Tabel IV.3 Nilai Induktansi Total dengan f_o 5.000Hz sampai dengan 20.000 Hz	43
Tabel IV.4 Hasil Perbandingan Nilai f_o dengan Kecepatan Rotor Menggunakan Magnet Permanen Berbentuk <i>Annular</i>	47
Tabel IV.6 Nilai Induktansi dengan f_o 5.000 Hz sampai dengan 20.000 Hz Berbentuk <i>Rectangular</i>	48
Tabel IV.7 Nilai Induktansi Total dengan f_o 5.000Hz sampai dengan 20.000 Hz	49
Tabel IV.8 Hasil Perbandingan Nilai f_o dengan Kecepatan Rotor Menggunakan Magnet Permanen Berbentuk <i>Rectangular</i>	52
Tabel IV.9 Nilai Reluktan dan Permeance pada Inti Magnet Permanen Berbentuk <i>Trapezoidal</i> .	53
Tabel IV.10 Nilai Induktansi dengan f_o 5.000 Hz sampai dengan 20.000 Hz Berbentuk <i>Trapezoidal</i>	54
Tabel IV.11 Nilai Induktansi Total dengan f_o 5.000Hz sampai dengan 20.000 Hz.....	55
Tabel IV.12 Hasil Perbandingan Nilai f_o dengan Kecepatan Rotor Menggunakan Magnet Permanen Berbentuk <i>Trapezoidal</i>	57