

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERYATAAN PERSETUJUAN MENYERAHKAN HAK MILIK ATAS TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	viii xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah.....	I-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-3
1.4 Manfaat Penelitian.....	I-4
1.5 Batasan Penelitian	I-4
BAB II LANDASAN TEORI	II-1
2.1 Motor Servo Magnet Permanen	II-1
2.1.1 Konstruksi	II-2
2.1.2 Prinsip Kerja	II-5
2.1.3 Karakteristik.....	II-6
2.2 Model Dinamis PMSM	II-7
2.2.1 Dinamika Listrik	II-7

2.2.2	Dinamika Mekanis	II-12
2.3	Vektor Ruang (Space Vector)	II-13
2.4	Kontrol Digital PMSM	II-24
2.4.1	Teknik PWM	II-24
2.4.2	Space Vector Pulse Width Modulator (SVPWM)	II-25
2.5	Kontrol Vektor	II-39
2.5.1	Diagram Blok	II-40
2.5.2	Kontrol Servo Motor Sinkron PM	II-41
2.6	Field Oriented Control.....	II-1
2.6.1	Transformasi	II-5
2.6.2	Transformasi Clarke.....	II-5
2.6.3	Transformasi dari Koordinat α, β ke d-q.....	II-7
2.7	Pengenalan Matlab Simulink.....	II-8
2.8	Penelitian Terkait	II-9
BAB III	METODE PENELITIAN	III-1
3.1	Tahapan Penelitian	III-1
3.2	Pemodelan Sistem	III-4
3.3	Pengujian Alat	III-7
3.4	Waktu dan Tempat Penelitian	III-9
3.5	Matriks Kerja Penelitian.....	10
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1	Perancangan Dan Pemodelan Sistem Kontrol.....	IV-1
4.1.1	Transformasi Clarke.....	IV-1
4.1.2	Transformasi Park	IV-4
4.1.3	Kontrol Arus d-q (Inner Current Loop)	IV-6
4.1.5	Kontrol Kecepatan (Outer Speed Loop)	IV-9

4.1.6 Transformasi Invers Park.....	IV-11
4.2 Pemodelan Sistem (Simulink)	IV-13
4.2.1 Pemodelan Unit.....	IV-14
4.2.2 Pemodelan Sistem Field-Oriented Control	IV-31
4.3 Pengujian Motor (Simulink).....	IV-34
4.3.1 Respons Kecepatan Tanpa Beban.....	IV-36
4.3.2 Respons Arus Sumbu d-q (I_q dan I_d) Tanpa Beban	IV-38
4.3.3 Respons Torsi Tanpa Beban	IV-41
4.3.4 Respons Arus Tiga Fasa Tanpa Beban	IV-43
4.3.5 Respons Kecepatan Pada Saat Berbeban	IV-45
4.4 Implementasi Sistem FOC ke Hardware	IV-54
4.4.1 Konfigurasi Eksperimen dan Instrumentasi.....	IV-55
4.5 Analisis Karakteristik Torsi Dan Kecepatan	IV-78
4.5.1 Konsistensi Keseluruhan.....	IV-78
4.5.2 Perbandingan Kinerja Kecepatan.....	IV-79
4.5.3 Perbandingan Kinerja Torsi	IV-80
4.5.4 Perbandingan Kinerja Arus.....	IV-80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1 Kesimpulan.....	V-1
5.2 Saran.....	V-2
DAFTAR PUSTAKA	V-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konstruksi Motor Servo	II-3
Gambar 2. 2 Interior Permanen Magnet Synchronous Motor	II-4
Gambar 2. 3 (a) SPMSM, (b) IPMSM Sumber:(Jung et al., 2023)	II-5
Gambar 2. 4 Proyeksi vector ruang arus stator	II-15
Gambar 2. 5 Aplikasi Kerangka Acuan Umum	II-20
Gambar 2. 6 Inverter 3 Fasa	II-24
Gambar 2. 7 Modulasi Lebar Pulsa	II-25
Gambar 2. 8 Diagram Skema Tahap Daya	II-26
Gambar 2. 9 Vektor Ruang Dasar dari Teknik Modulasi Vektor Ruang	II-29
Gambar 2. 10 Proyeksi Vektor Tegangan Referensi di Sektor I	II-30
Gambar 2. 11 Detail Proyeksi Vektor Tegangan Referensi di Sektor I	II-30
Gambar 2. 12 Proyeksi Vektor Tegangan Referensi di Sektor II	II-33
Gambar 2. 13 Detail Proyeksi Vektor Tegangan Referensi di Sektor II	II-33
Gambar 2. 14 Tegangan Referensi U_{ref1} , u_{ref2} dan u_{ref3}	II-37
Gambar 2. 15 Komponen Direct- u_α dan Quadrature- u_β	II-37
Gambar 2. 16 Identifikasi Nomor Sektor	II-37
Gambar 2. 17 Diagram Blok Kontrol Vektor	II-40
Gambar 2. 18 Skema Kontrol Servo PMSM	II-41
Gambar 2. 19 Skema Kontrol Sistem Servo PMSM	II-1
Gambar 2. 20 Kerangka Acuan tiga fasa	II-2
Gambar 2. 21 Orientasi kerangka Acuan stasioner stator dan rotasi rotor	II-3
Gambar 2. 22 Transformasi maju	II-5
Gambar 2. 23 Transformasi Clarke	II-6

Gambar 2. 24 Menetapkan Sistem Koordinat d-q (Transformasi Park)	II-8
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian.....	III-1
Gambar 3. 2 Flowchart Pemodelan Sistem.....	III-4
Gambar 3. 3 Flowchart Pengujian Alat.....	III-7
Gambar 4. 1 Diagram Blok Transformasi Clarke.....	IV-2
Gambar 4. 2 Diagram Blok Transformasi Park	IV-5
Gambar 4. 3 Parameter Id Controller	IV-7
Gambar 4. 4 Parameter Iq Controller.....	IV-7
Gambar 4. 5 Parameter Speed Controller	IV-10
Gambar 4. 6 Diagram Transformasi Invers Park	IV-12
Gambar 4. 7 Diagram rangkaian ekivalen transformasi Clarke-Park	IV-16
Gambar 4. 8 Subsystem Electrical PMSM.....	IV-17
Gambar 4. 9 Subsystem Mekanik	IV-19
Gambar 4. 10 Subsystem Torsi	IV-22
Gambar 4. 11 Parameter SVPWM & IGBT Control	IV-28
Gambar 4. 12 Model SVPWM & IGBT Control	IV-30
Gambar 4. 13 Field Oriented Control	IV-32
Gambar 4. 14 Respons Kecepatan Setpoint 4000 RPM Tanpa Beban.....	IV-36
Gambar 4. 15 Respons Kecepatan Setpoint 3000 RPM Tanpa Beban.....	IV-36
Gambar 4. 16 Respons Kecepatan Setpoint 2000 RPM Tanpa Beban.....	IV-36
Gambar 4. 17 Respons Kecepatan Setpoint 1000 RPM Tanpa Beban.....	IV-36
Gambar 4. 18 Respons Arus Id-Iq Setpoint 1000 RPM Tanpa Beban.....	IV-38
Gambar 4. 19 Respons Arus Id-Iq Setpoint 2000 RPM Tanpa Beban.....	IV-38
Gambar 4. 20 Respons Arus Id-Iq Setpoint 4000 RPM Tanpa Beban.....	IV-38

Gambar 4. 21 Respons Arus Id-Iq Setpoint 3000 RPM Tanpa Beban.....	IV-38
Gambar 4. 22 Respons Torsi Setpoint 4000 RPM Tanpa Beban	IV-41
Gambar 4. 23 Respons Torsi Setpoint 3000 RPM Tanpa Beban	IV-41
Gambar 4. 24 Respons Torsi Setpoint 2000 RPM Tanpa Beban	IV-41
Gambar 4. 25 Respons Torsi Setpoint 1000 RPM Tanpa Beban	IV-41
Gambar 4. 26 Respons Arus Fasa Setpoint 4000 RPM Tanpa Beban	IV-43
Gambar 4. 27 Respons Arus Fasa Setpoint 3000 RPM Tanpa Beban	IV-43
Gambar 4. 28 Respons Arus Fasa Setpoint 2000 RPM Tanpa Beban	IV-43
Gambar 4. 29 Respons Arus Fasa Setpoint 1000 RPM Tanpa Beban	IV-43
Gambar 4. 30 Respons Kecepatan Pada Setpoint 2000 RPM Beban 0.1 Nm...	IV-45
Gambar 4. 31 Respons Kecepatan Pada Setpoint 2000 RPM Beban 0.2 Nm...	IV-45
Gambar 4. 32 Respons Kecepatan Pada Setpoint 2000 RPM Beban 0.3 Nm...	IV-45
Gambar 4. 33 Respons Torsi.....	IV-47
Gambar 4. 34 Respons Id	IV-49
Gambar 4. 35 Respons Iq Simulasi (Berbeban).....	IV-49
Gambar 4. 36 Respons Arus 3 Fasa Kecepatan 2000 RPM Beban 0.1 Nm.....	IV-51
Gambar 4. 37 Respons Arus 3 Fasa Kecepatan 2000 RPM Beban 0.2 Nm.....	IV-52
Gambar 4. 38 Respons Arus 3 Fasa Kecepatan 2000 RPM Beban 0.3 Nm.....	IV-52
Gambar 4. 39 Konverter Terkomutasi Mandiri	IV-57
Gambar 4. 40 SE2862-3S - Motor Servo dengan Eksitasi Permanen.....	IV-57
Gambar 4. 41 Incremental Encoder	IV-60
Gambar 4. 42 Transformator Tiga Fasa	IV-60
Gambar 4. 43 Power Multimeter.....	IV-62
Gambar 4. 44 Sistem Uji Mesin Servo.....	IV-64

Gambar 4. 45 Sistem Pengkabelan.....	IV-65
Gambar 4. 46 Pengujian Alat Setpoin 1000 RPM Tanpa Beban	IV-66
Gambar 4. 47 Pengujian Alat Setpoin 2000 RPM Tanpa Beban	IV-67
Gambar 4. 48 Pengujian Alat Setpoin 3000 RPM	IV-68
Gambar 4. 49 Pengujian Alat Setpoin 4000 RPM Tanpa Beban	IV-69
Gambar 4. 50 Pengujian Alat Setpoin 2000 RPM Beban 0.1 Nm	IV-72
Gambar 4. 51 Pengujian Alat Setpoin 2000 RPM Beban 0.2 Nm	IV-73
Gambar 4. 52 Pengujian Alat Setpoin 2000 RPM Beban 0.3 Nm	IV-74

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Matriks Kerja Penelitian	10
Tabel 4. 1 Spesifikasi Motor PMSM.....	IV-14
Tabel 4. 2 Karakteristik Respons Kecepatan Tanpa Beban	IV-37
Tabel 4. 3 Ringkasan Respons Torsi.....	IV-42
Tabel 4. 4 Ringkasan Karakteristik Transien Respons Kecepatan	IV-46
Tabel 4. 5 Ringkasan Respons Torsi.....	IV-48
Tabel 4. 6 Ringkasan Analisis Respons Arus	IV-51
Tabel 4. 7 Ringkasan Respons Arus Fasa	IV-53
Tabel 4. 8 Ringkasan Pengujian Alat Tanpa Beban.....	IV-71