Perancangan Pengendali Motor DC Full-bridge Berbasis Magnetic Rotary Encoder dan Protokol CAN BUS
Untuk Kendaraan Listrik Utilitas Kawasan Terbatas
Prima Nafisman, Ir. Eka Firmansyah, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
HALAMAN PERSEMBAHAN iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xvi
INTISARI xvii
ABSTRACT xviii
BAB I Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Ruang Lingkup dan Batasan 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori 5
2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.1.1 Topologi *Full-Bridge* dan Manajemen Termal Pengendali Motor DC 5
2.1.2 Teknologi Sensor Posisi Magnetik Presisi Tinggi 5
2.1.3 Strategi Kendali Kaskade dan Implementasi Tertanam 6
2.1.4 Protokol Komunikasi, Arsitektur SbW, dan Standar Keselamatan Fungsional 7
2.1.5 Ringkasan Studi Terdahulu 7
2.2 Landasan Teori 10
2.2.1 Topologi Penggerak Motor DC *Full-Bridge* 10
2.2.1.1 Prinsip Kerja dan Analisis Siklus Energi 10
2.2.1.2 Pemodelan Matematis Terpadu dan Model Rata-rata 13
2.2.1.3 Representasi *State Space* 14
2.2.2 Sensor Posisi *Rotary Magnetic Encoder* 15
2.2.2.1 Prinsip Kerja Efek Hall dan Pengukuran Sudut 15
2.2.3 Sistem Kendali PI Kaskade 17
2.2.3.1 Konsep dan Arsitektur Kontrol Kaskade 17
2.2.3.2 Formulasi Matematis 18

Perancangan Pengendali Motor DC Full-bridge Berbasis Magnetic Rotary Encoder dan Protokol CAN BUS
Untuk Kendaraan Listrik Utilitas Kawasan Terbatas
Prima Nafisman, Ir. Eka Firmansyah, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.4 Profil CANopen CiA 402 dan Keselamatan Fungsional 19
BAB III Metode Penelitian..... 22
3.1 Alat dan Bahan Tugas Akhir 22
3.1.1 Alat Tugas Akhir 22
3.1.2 Bahan Tugas Akhir..... 22
3.2 Metode yang Digunakan..... 23
3.3 Alur Tugas Akhir 23
3.4 Keterbatasan Penelitian 24
3.5 Gambaran Umum Sistem 24
3.6 Perancangan Sistem Elektronis..... 26
3.6.1 Perancangan Papan Traktif (*Tractive Board*) 26
3.6.1.1 Pemilihan Frekuensi Penyaklaran..... 26
3.6.1.2 Pemilihan MOSFET HY4008..... 29
3.6.1.3 Konfigurasi Paralel MOSFET dan Manajemen Termal Tanpa *Heatsink* 31
3.6.1.4 Desain Penggerak Gerbang Terisolasi 32
3.6.1.5 Perhitungan Kapasitor *Bulk* 32
3.6.1.6 Proteksi Arus dengan Sekring Otomotif BF1 20 A 33
3.6.1.7 Manajemen Catu Daya Bantu (LM2596HVS) 34
3.6.1.8 Analisis Lebar Jalur dan Kapasitas *Via* PCB (Standar IPC-2221) 35
3.6.2 Perancangan Papan Kendali (*Control Board*)..... 37
3.6.2.1 Unit Pemroses Utama STM32F103CBT6..... 37
3.6.2.2 Antarmuka Komunikasi CANBus 37
3.6.2.3 Proteksi dan Integritas Sinyal CAN..... 38
3.6.2.4 Manajemen Daya Logika (Regulasi LDO) 38
3.6.3 Perancangan Sistem *Precharge* Hibrida (Analog-Digital) 38
3.6.3.1 Rantai Pengondisian Sinyal (*Signal Conditioning Chain*) 39
3.6.3.2 Mekanisme *Precharge* Analog (Redundansi Perangkat Keras) 39
3.6.3.3 Pemilihan Resistor *Precharge* dan Analisis Termal..... 40
3.7 Perancangan Sensor *Rotary Magnetic Encoder* 41
3.7.1 Desain Mekanikal Dudukan Sensor..... 41
3.8 Perancangan Sistem Kendali 42
3.8.1 Model Dinamis Aktuator 43
3.8.2 Jenis Pengendali Tiap Lingkar 44
3.8.3 Perancangan Pengendali Arus 45
3.8.4 Perancangan Pengendali Kecepatan..... 46
3.8.5 Perancangan Pengendali Posisi dan *Trajectory Generator*..... 47

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pengendali Motor DC Full-bridge Berbasis Magnetic Rotary Encoder dan Protokol CAN BUS
Untuk Kendaraan Listrik Utilitas Kawasan Terbatas
Prima Nafisman, Ir. Eka Firmansyah, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.8.6 Proses Tuning yang Dirancang 48
3.8.7 Analisis Galat Keadaan Tunak 49
3.9 Perancangan *Firmware* 49
3.9.1 Konfigurasi Periferal dan *Clock Tree* 49
3.9.2 Akuisisi dan Pemrosesan Sinyal Sensor 50
3.9.3 Implementasi Kendali Kaskade pada *Firmware* 51
3.9.4 Perancangan Laju *Sampling* Tiap Lingkar Kendali 52
3.9.5 Mesin Keadaan CiA 402 dan Manajemen Keselamatan 53
3.9.6 Protokol Komunikasi 53
3.10 Skenario Pengujian 54
3.10.1 Pengujian Tanpa Beban (*No-Load Testing*) 55
3.10.2 Pengujian Kendali dengan Variasi Beban pada Kendaraan Statik 55
BAB IV Hasil dan Pembahasan 57
4.1 Pengujian Keluaran *Gate Driver* 57
4.1.1 Keputusan Konfigurasi MOSFET: 8 Buah menjadi 4 Buah 58
4.2 Pengujian Sensor *Rotary Magnetic Encoder* (AS5600) 59
4.3 Pengujian Sistem *Precharge* 59
4.4 Parameter Kontroler dan Batasan Kecepatan Mekanis 60
4.4.1 Batasan Kecepatan Mekanis Motor 60
4.4.2 Tabel Parameter Pengendali 61
4.4.3 Metode Penalaan per Kalang 61
4.5 Pengujian Respons *Unit Step* 62
4.5.1 Validasi Kalang Arus 62
4.5.2 Respons *Unit Step* Posisi 63
4.5.3 Tabel Metrik Respons *Unit Step* per Profil Beban 64
4.6 Validasi Parameter Kontroler terhadap Prediksi Simulasi 65
4.6.1 Kalang Arus: Validasi IMC 65
4.6.2 Sistem Posisi: Validasi PLECS 65
4.7 Pengujian Respons Posisi pada Variasi Beban 65
4.7.1 Konfigurasi Beban Pengujian 65
4.7.2 Respons Posisi *Unit Step* 66
4.7.3 Respons Posisi *Ramp* 1 Detik 67
4.7.4 Metrik Kinerja Kuantitatif 68
4.7.5 Identifikasi Sumber Keterbatasan Performa 70
4.8 Perlunya Generator Trajektori dalam Operasi Nyata 70
4.8.1 Perilaku Sistem Tanpa Generator Trajektori 70
4.8.2 Peran Generator Trajektori Trapesoid 71
4.8.3 Bukti Kuantitatif dari Data Ramp 71
4.8.4 Implikasi Desain 72

Perancangan Pengendali Motor DC Full-bridge Berbasis Magnetic Rotary Encoder dan Protokol CAN BUS
Untuk Kendaraan Listrik Utilitas Kawasan Terbatas
Prima Nafisman, Ir. Eka Firmansyah, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.9 Pengujian Ketahanan Termal (Durasi 2 Jam) 72
4.9.1 Profil Suhu Terukur 72
4.9.2 Margin Termal 73
4.10 Pengujian Protokol Keselamatan (CANopen CiA 402) 74
4.11 Pembahasan Umum 74
4.11.1 Kelebihan Sistem 74
4.11.2 Keterbatasan Performa 75
4.11.3 Rekonsiliasi Definisi Batas Arus 75
4.11.4 Studi Komparatif 76
BAB V Kesimpulan dan Saran 79
5.1 Kesimpulan 79
5.2 Saran 79
DAFTAR PUSTAKA 81
LAMPIRAN L-1
Lampiran A: Data Pengujian Lengkap L-1
A.1 Respons Unit Step L-1
A.2 Respons Ramp L-4
A.3 Analisis Arus Puncak dan Konsumsi Daya L-8
Lampiran B: Kode Firmware STM32 ..... L-10
B.1 motor_config.h L-11
B.2 can_protocol.h dan flash_storage.h L-15
B.3 main.c L-16
B.4 control_algo.c L-23
B.5 sensors.c L-36
B.6 safety_hw.c L-44
B.7 can_manager.c L-50
B.8 flash_storage.c L-55