UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Kendali Miniatur Kereta Api dengan Protokol Digital Command Control Berasis ESP32
Dannovant Cavally, Prof. Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc., IPM.; Ir. Addin Suwastono, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
HALAMAN PERSEMBAHAN iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR SINGKATAN xii
INTISARI xiii
ABSTRACT xiv
BAB I Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Batasan Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 2
1.6 Sistematika Penulisan 3
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori 4
2.1 Tinjauan Pustaka 4
2.2 Dasar Teori 5
2.2.1 Mikrokontroler ESP32-WROOM-32D 5
2.2.1.1 *General Purpose Input/Output* 5
2.2.1.2 Remote Control (RMT) 9
2.2.2 *Driver* Motor L298N 9
2.2.3 Regulator Tegangan LM2596 11
2.2.4 *Timer* 11
2.2.4.1 *Prescaler* 11
2.2.4.2 *Resolusi* 11
2.2.5 Wi-Fi 11
2.2.6 *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) 12
2.2.7 Dekoder 12
2.2.8 Enkoder 12
2.2.9 *Pulse Width Modulation* (PWM) 12
2.2.10 *Digital Command Control* 12
2.2.10.1 Frame Data 13
2.2.10.1.1 Preamble 14

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Kendali Miniatur Kereta Api dengan Protokol Digital Command Control Berasis ESP32
Dannovant Cavally, Prof. Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc., IPM.; Ir. Addin Suwastono, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.10.1.2 Address 14
2.2.10.1.3 Instruction 14
2.2.10.1.4 Error Detection 15
2.2.10.2 Frame Data Idle 16
2.2.11 *Interrupt* 16
2.2.12 Firmware 16
2.2.13 Bahasa Pemrograman C 17
2.2.13.1 Variabel 17
2.2.13.1.1 Integer 17
2.2.13.1.2 Boolean 17
2.2.13.2 Variabel *Volatile* 17
2.2.13.3 Array 17
2.2.13.4 Struct 18
2.2.14 Antarmuka Pengguna Berbasis Web 18
2.2.14.1 *HyperText Markup Language* (HTML) 18
2.2.14.2 *Cascading Style Sheets* (CSS) 18
2.2.14.3 JavaScipt 19
2.2.14.4 WebSocket 19
2.2.14.5 *JavaScript Object Nation* (JSON) 19
BAB III Metode Penelitian 20
3.1 Alat Tugas Akhir 20
3.2 Bahan Tugas Akhir 21
3.3 Gambaran Umum Sistem 22
3.3.1 Gambaran Umum Perangkat Keras 23
3.3.2 Gambaran Umum *Firmware* 24
3.3.3 Gambaran Umum Antarmuka Pengguna Berbasis Web 26
3.4 Alur Tugas Akhir 28
3.5 Ukuran Keberhasilan 29
BAB IV Implementasi Rancangan 30
4.1 Hasil Implementasi Perangkat Keras 30
4.1.1 Perancangan Spesifikasi Komponen 30
4.1.1.1 Sumber Daya Utama (J1) 31
4.1.1.2 Regulator Tegangan PS1 — LM2596 (24V ke 5V) 31
4.1.1.3 Regulator Tegangan PS2 — LM2596 (24V ke 16V) 31
4.1.1.4 Kapasitor Dekopel (C1, C2, C3) 32
4.1.1.5 Indikator Daya — LED1 dan R3 32
4.1.1.6 Mikrokontroler ESP32-WROOM-32D (U3) 32
4.1.1.7 Inverter CMOS 74HC04N (U2) dan Resistor R2 32
4.1.1.8 Driver Motor L298N dan Keluaran Rel 33

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Kendali Miniatur Kereta Api dengan Protokol Digital Command Control Berasis ESP32
Dannovant Cavally, Prof. Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc., IPM.; Ir. Addin Suwastono, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.1.2 Perancangan *Schematic* 33
4.1.3 Perancangan PCB dan Perakitan 33
4.2 Hasil Implementasi *Firmware* 36
4.2.1 Implementasi dan Penulisan Kode 36
4.2.1.1 Include Library dan Global 36
4.2.1.2 Struktur Data dan Status Global 40
4.2.1.3 Konstruksi Paket DCC 45
4.2.1.4 Mekanisme *Double-Buffer Swap* 52
4.2.1.5 Penjadwal Paket 54
4.2.1.6 Pengkodean *Buffer* RMT 57
4.2.1.7 ISR dan FreeRTOS DCCTask 60
4.2.1.8 Inisialisasi Sistem (setup()) 62
4.2.1.9 *Loop* Utama 71
4.3 Hasil Implementasi *Web-Based User Interface* (WebUI) 72
4.3.1 Perancangan Masukan Pengguna 72
4.3.1.1 *Handler* Utama dan Struktur HTML/CSS 72
4.3.1.2 Pembuatan Tombol 77
4.3.1.3 Inisialisasi Halaman dan Pengiriman Respons 78
4.3.2 Perancangan JavaScript 79
4.3.2.1 Inisialisasi Variabel dan Koneksi WebSocket 79
4.3.2.2 Pembaruan Tampilan Klien berdasarkan State Terbaru 81
4.3.2.3 Pengiriman data JSON ke ESP32 82
4.3.3 Perancangan WebSocket 83
4.3.3.1 Serialisasi *State* JSON 83
4.3.3.2 Pengiriman State ke Seluruh Klien 85
4.3.3.3 *Event Handler* 85
4.3.3.4 *Dispatcher* Pesan WebSocket 88
4.3.3.5 Penanganan Perintah WebSocket 89
4.3.3.6 Monitor Paket Diagnostik 94
BAB V Analisis Isyarat dan Frame 100
5.1 Pengendalian Lokomotif 100
5.1.1 Arah Gerak Lokomotif 100
5.1.2 Kecepatan Lokomotif 100
5.1.3 Fungsi Aksesori Lokomotif 100
5.1.4 Alamat Lokomotif 101
5.1.5 *Emergency Stop* 101
5.2 Kualitas dan Kepatuhan Isyarat 101
5.2.1 Durasi Bit 101
5.2.2 Kepatuhan Komposisi Paket 104

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Kendali Miniatur Kereta Api dengan Protokol Digital Command Control Berasis ESP32
Dannovant Cavally, Prof. Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc., IPM.; Ir. Addin Suwastono, S.T., M.Eng., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.2.2.1 Paket Kecepatan dan Arah 104
5.2.2.2 Paket Fungsi Aksesori 105
5.2.3 Analisis Hasil Implementasi dan Pengujian 106
BAB VI Kesimpulan dan Saran 107
6.1 Kesimpulan 107
6.2 Saran 107
DAFTAR PUSTAKA 108