UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Smooth Position PID Control for Electric Trains between Stations
Kenzhi, Ir. Adha Imam Cahyadi, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM. dan Prof. Dr. Eng. Ir. F. Danang Wijaya, S.T., M.T., IPM.
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 ix
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR SINGKATAN xi
INTISARI xii
ABSTRACT xiii
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 3
1.6 Sistematika Penulisan 3
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori 4
2.1 Tinjauan Pustaka 4
2.1.1 Perkembangan Metode Kendali pada Sistem ATO 4
2.1.2 Pengembangan Kendali berbasis PID pada ATO 5
2.1.3 Pemodelan Longitudinal Kereta dalam Penelitian Kendali 7
2.1.4 Posisi Penelitian berdasarkan Tinjauan Pustaka 7
2.2 Dasar Teori 8
2.2.1 Dinamika Longitudinal Kereta Api Listrik 8
2.2.2 Gaya Resistansi Longitudinal 9
2.2.3 Gaya antarkereta dan Model *Coupler* 10
2.2.4 Batas Fisik Gaya Traksi dan Pengereman 11
2.2.5 Pembangkitan Profil Kecepatan Referensi 11
2.2.6 Kendali PID untuk Pelacakan Kecepatan 12
2.2.7 Mekanisme Tambahan pada PID: *Rate Limiter* dan *Lag Actuator* . 13
2.2.8 Kriteria Stabilitas Routh–Hurwitz 15
2.2.9 Metode Root Locus untuk Analisis Kecenderungan Pole Sistem ... 16
2.3 Dasar Analisis Performa Simulasi 17
2.3.1 Tracking Error Kecepatan 17
2.3.2 Parking Accuracy 19

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Smooth Position PID Control for Electric Trains between Stations
Kenzhi, Ir. Adha Imam Cahyadi, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM. dan Prof. Dr. Eng. Ir. F. Danang Wijaya, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3.3 Riding Comfort 20
BAB III Desain Controller 22
3.1 Sistem Kendali ATO 22
3.2 Arsitektur Kendali pada Penelitian 22
3.2.1 Struktur Kendali Keseluruhan 22
3.2.2 Pembangkitan Profil Kecepatan Referensi 23
3.2.3 Alur Sinyal Kendali pada Simulasi 24
3.3 Perancangan PID *Force-Based* 25
3.3.1 Definisi Error dan Hukum Kendali PID 25
3.3.2 Filter Derivatif 25
3.3.3 Pembatas Fisik Gaya Traksi dan Pengereman 26
3.3.4 Proteksi Integral melalui *Anti-windup* 27
3.4 Analisis Model Linier Lokal dan Kestabilan 28
3.4.1 Model Ekuivalen dan Linearisasi *Plant* 28
3.4.2 Fungsi Alih PID dan Fungsi Alih Tertutup 29
3.4.3 Kriteria Kestabilan Routh–Hurwitz 29
3.4.4 Root Locus sebagai Analisis Pendukung 30
3.5 Perancangan Mekanisme Tambahan pada Pengendali 31
3.5.1 *Rate Limiter* sebagai Pembatas *Jerk* 31
3.5.2 *Lag Actuator* untuk Merepresentasikan Dinamika Pembentukan Gaya 32
3.5.3 Urutan Implementasi Pengendali dalam Simulasi 33
BAB IV Implementasi Pada Python 34
4.1 Desain Jalur dan Referensi Sistem 34
4.2 Desain Plant Dinamika Longitudinal Kereta 35
4.3 Implementasi Pengendali PID pada Python 36
4.4 Desain Diagram Pengamatan dan Pengambilan Data 37
4.5 Simulasi Numerik 38
4.6 Visualisasi Hasil Implementasi 39
BAB V Hasil dan Pembahasan 43
5.1 Konfigurasi Simulasi dan Skenario Pengujian 43
5.1.1 Parameter Tetap Simulasi 43
5.1.2 Parameter yang Divariasikan 44
5.1.3 Skenario *Baseline* 44
5.1.4 Indikator Evaluasi Performa 44
5.2 Pengaruh Parameter Pembentuk Profil Kecepatan Referensi 45
5.2.1 Pengaruh v_{cruise} terhadap Bentuk Referensi dan Waktu Tempuh ... 45
5.2.2 Pengaruh $a_{lat,max}$ terhadap Pembatasan Kecepatan di Tikungan ... 48
5.2.3 Pengaruh $a_{service}$ terhadap Profil Pengereman dan Akurasi Berhenti 53

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Smooth Position PID Control for Electric Trains between Stations
Kenzhi, Ir. Adha Imam Cahyadi, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM. dan Prof. Dr. Eng. Ir. F. Danang Wijaya, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.2.4 Performa PID Control 59
5.2.4.1 Percobaan Nilai PID Tidak Stabil 61
5.2.4.2 Modifikasi Nilai PID 63
5.3 Spesifikasi Model Kereta dan Jalur 64
BAB VI Kesimpulan dan Saran 67
6.1 Kesimpulan 67
6.2 Saran 68
DAFTAR PUSTAKA 69