



**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL ARUS EKSITASI PADA
ALTERNATOR DENGAN METODE PID BERBASIS ESP32 WROOM**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi

Disusun Oleh :

Aditya Sigit

40040321650040

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA
OTOMASI**

DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2025

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL ARUS EKSITASI PADA
ALTERNATOR DENGAN METODE PID BERBASIS ESP32 WROOM**

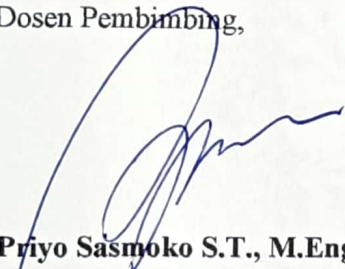
Diajukan Oleh :

Aditya Sigit

4004032650040

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA BAIK OLEH

Dosen Pembimbing,



Priyo Sasmoko S.T., M.Eng

NIP. 197009161998021001

Semarang, 21 Oktober 2025

Mengetahui

Ketua

Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Priyo Sasmoko S.T., M.Eng

NIP. 197009161998021001

Semarang, 21 Oktober 2025

HALAMAN PENGESAHAN
RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL ARUS EKSITASI PADA
ALTERNATOR DENGAN METODE PID BERBASIS ESP32 WROOM

Diajukan Oleh:

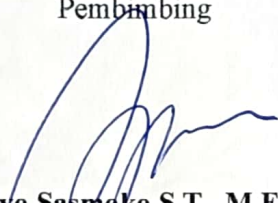
Aditya Sigit

40040321650040

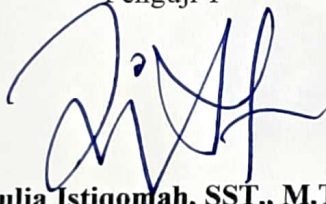
Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji Pada
Rabu, 22 Oktober 2025

Tim Penguji

Pembimbing


Priyo Sasmoko S.T., M.Eng
NIP. 197009161998021001

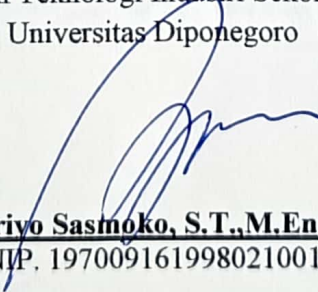
Penguji 1


Aulia Istiqomah, SST., M.T.
NIP. 199306122024062002

Penguji 2


Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.
NIP. 199505292024061001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa
Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro


Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng
NIP. 197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Aditya Sigit
NIM : 40040321650040
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Kontrol Arus Eksitasi Pada Alternator Dengan Metode PID Berbasis ESP32 WROOM

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ini ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan Peraturan Perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 22 Oktober 2025

Penulis

Aditya Sigit
40040321650040

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, ridho dan hidayahnya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Kontrol Arus Eksitasi Pada Alternator Dengan Metode PID Berbasis Esp32 Wroom”. Tersusunnya laporan ini tentu tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Prof Dr. Ir. Budiyono, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi
2. Bapak Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi dan selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas waktu, kesempatan dan bimbingan yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir
3. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan semangat, dukungan, do'a, dan support lainnya kepada penulis.
4. Rekan-rekan Mavros Kavalaris 2021, yang telah menjadi teman diskusi dan penyemangat dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
5. Teman - teman kontrakan Pati, yang telah membantu berkontribusi dan menjadi teman diskusi penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Semarang, 22 Oktober 2025

Penulis

Aditya Sigit

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Tugas Akhir	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 Alternator.....	7
2.1.1 Frekuensi pada Alternator	9
2.1.2 GGL Induksi pada Alternator.....	9
2.2 Sistem Eksitasi	10
2.3 Automatic Voltage Regulator (AVR).....	12
2.4 Kontrol PID	14
2.4.1 Metode Ziegler Nichlos.....	15
2.4.2 Kontrol Proporsional (P)	17
2.4.3 Kontrol Integral (I).....	17
2.4.4 Kontrol Derivatif (D)	18
2.4.5 Persamaan Kotrol PID Ideal.....	18
2.5 ESP32 DevKitC V4.....	19
2.6 PZEM-004T 100A.....	21

2.7	Driver BTS7960	23
2.8	HMI Nextion NX4832F035	25
2.9	Adaptor Supply 5V 2A.....	28
2.10	SMPS 12V 5A	29
2.10.1	Komponen Utama SMPS	30
2.11	Transformator Non CT 5A	31
2.12	Motor Induksi 3 Fasa	34
2.13	Pulley dan V belt	35
2.14	Output Beban	37
2.15	Arduino IDE	39
2.16	Node-Red.....	40
2.17	MATLAB	41
2.18	Nextion Editor	42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		45
3.1	Blok Diagram	45
3.2	Gambar Perancangan Alat.....	47
3.3	Flowchart.....	50
3.4	Teknik Fabrikasi.....	52
3.4.1	Perancangan Mekanikal	53
3.4.2	Perancangan Elektrikal	55
3.4.3	Perancangan Respon Transien Ordo 1 dan Ordo 2	60
3.4.4	Perancangan Sistem IoT Node-Red dan Monitoring HMI Nextion	65
3.4.5	Pengujian Alat Sementara	69
3.5	Jadwal Perancangan.....	72
BAB IV ANALISA DAN PENGUJIAN		74
4.1	Hasil Pengujian Komponen.....	74
4.1.1	Pengujian SMPS 12V 5A Dengan Display LM2596.....	74
4.1.2	Pengujian PZEM-004T 100A	76
4.1.3	Pengujian BTS7960	79
4.1.4	Pengujian Nextion NX4832F035.....	81
4.1.5	Pengujian Alternator dan Trafo Non-CT 5A	82
4.2	Hasil Pengujian Sistem Tanpa Kontrol PID	86
4.2.1	Pengujian Sistem Tanpa Beban.....	86
4.2.2	Pengujian Sistem Menggunakan Beban.....	88

4.3	Hasil Pengujian Sistem Kontrol PID	90
4.3.1	Pengujian Dengan Parameter PID Zigler Nichols	91
4.3.2	Pengujian Penentuan Parameter PID Self Tuning	97
4.3.3	Pengujian Integrasi HMI Nextion dan IoT Node-Red	107
BAB V	PENUTUP.....	110
5.1	Kesimpulan.....	110
5.2	Saran.....	111
DAFTAR PUSTAKA.....		112
LAMPIRAN.....		119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alternator Mobil 12V	8
Gambar 2. 2 Detail Komponen Alternator[9].....	8
Gambar 2. 3 Model Konvensional AVR[14].....	13
Gambar 2. 4 Skematik Diagram Blok Mesin Sinkronus dengan Kontrol Eksitasi[14].....	13
Gambar 2. 5 ESP32 DevKitC V4 Wroom 32 Dan Skematik[24]	20
Gambar 2. 6 PZEM-004T Dan Blok Komponen PZEM-004T [27].....	22
Gambar 2. 7 Driver BTS7960 Dan Skematik Modul HW-89 [30]	24
Gambar 2. 8 LCD Nextion NX4832F035 [33].....	26
Gambar 2. 9 Adaptor Supply 5V 2A	28
Gambar 2. 10 SMPS 12V 5A	29
Gambar 2. 11 Transformator Non-CT 5A	32
Gambar 2. 12 Motor Induksi 3 Fasa [43]	34
Gambar 2. 13 V Belt.....	35
Gambar 2. 14 Pulley Diameter 3 Inch	36
Gambar 2. 15 Segitiga Daya [48]	38
Gambar 2. 16 Software Arduino IDE	39
Gambar 2. 17 Logo Node-Red	40
Gambar 2. 18 Software MATLAB 2013	42
Gambar 2. 19 Logo Nextion Editor	43
Gambar 3. 1 Blok Diagram Komponen.....	45
Gambar 3. 2 Desain 3D Perancangan Sistem Alat	48
Gambar 3. 3 Desain Drawing 2D Perancangan Alat	48
Gambar 3. 4 <i>Flowchart</i> Keseluruhan Proses	50
Gambar 3. 5 Flowchart Proses Mekanikal Prime Mover	54
Gambar 3. 6 Skematik Sistem Kontrol Eksitasi Keseluruhan	55
Gambar 3. 7 Flowchart Proses Elektrikal Secara Otomatis.....	57
Gambar 3. 8 Flowchart Proses Elektrikal Secara Manual	59
Gambar 3. 9 Fungsi Transfer Model Matlab Ordo 1	61
Gambar 3. 10 Grafik Fungsi Transfer Model Matlab Ordo 1	61

Gambar 3. 11 Fungsi Transfer Model Matlab Ordo 2.....	62
Gambar 3. 12 Grafik Fungsi Transfer Model Matlab Ordo 2	62
Gambar 3. 13 Flowchart Tuning PID Metode Ziegler Nichlos.....	64
Gambar 3. 14 Desain Dashboard HMI Nextion Pada Bagian Page (Menu (a), Setting (b), SettingPWM (c), Main (d), Sensor (e) dan Grafik (f))	66
Gambar 3. 15 Desain Flow Bagian Monitoring, Logging data CSV, Tampilan Dashboard Flow Monitoring dan Tampilan Dashboard Logging Data CSV Pada Node-Red.....	68
Gambar 3. 16 Flowchart Proses Sistem Monitoring Menggunakan HMI Nextion dan Node-Red	68
Gambar 3. 17 Pengujian Alternator dengan <i>Accu</i>	70
Gambar 3. 18 Pengujian Alternator Tanpa Regulator	71
Gambar 4. 1 Pengukuran Tegangan (a) dan Pengukuran Arus (b) Output SMPS 12V 5A	76
Gambar 4. 2 Peugujian Sensor PZEM-004T Pada Tampilan HMI Nextion	78
Gambar 4. 3 Data Pada Input PZEM-004T Dan Data Pembacaan Pada Output Trafo dengan Multimeter.....	79
Gambar 4. 4 Pembacaan Arus Pada Output BTS7960 Tanpa Menggunakan Beban (a) dan Tegangan Output BTS7960 Tanpa Menggunakan Beban.....	81
Gambar 4. 5 Pengujian Dengan Penggunaan Button Untuk Mengganti Halaman Pada HMI Nextion.....	82
Gambar 4. 6 Pengujian Update Input Data Pada Grafik Waveform HMI Nextion	82
Gambar 4. 7 Data Pembacaan Tegangan Pada Output Alternator 1 Fasa Tanpa Input Beban dan Pembacaan Pada Output Tarfo Step Up.....	85
Gambar 4. 8 Pengujian Data Arus Pada Output Alternator Saat Diberi Beban 10Watt	86
Gambar 4. 9 Grafik Sistem Tanpa Kontrol dan Tanpa Beban.....	88
Gambar 4. 10 Grafik Sistem Tanpa Kontrol dan Dengan Beban	90
Gambar 4. 11 Grafik Tegangan Uji Coba Metode Osilasi	91

Gambar 4. 12 Data Nilai Kp Pada Pengujian Osilasi	92
Gambar 4. 13 Blok PID Pada Simulasi Simulink MATLAB.....	93
Gambar 4. 14 Hasil Grafik Pada Scope Simulasi Simulink	94
Gambar 4. 15 Data Grafik Sebelum (a) dan Sesudah (b) Diberi Step Load Pada Dashboard Node-Red	95
Gambar 4. 16 Grafik Node-Red Pengujian Tanpa Beban dan Menggunakan Beban PID Self Tuning 1	98
Gambar 4. 17 Grafik Node-Red Pengujian Tanpa Beban dan Menggunakan Beban PID Self Tuning 2	101
Gambar 4. 18 Grafik Node-Red Pengujian PID Self Tuning 3 Tanpa Beban...	104
Gambar 4. 19 Grafik Node-Red Pengujian PID Self Tuning 3 Menggunakan Beban	105
Gambar 4. 20 Pengujian Data Tampilan Pada UI Node-Red 1	108
Gambar 4. 21 Tampilan HMI Nextion Sebelum Diberi Beban (a), Diberi Beban (b) dan Hasil Grafik Waveform (c) Pada Pengujian Integrasi HMI	108

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Alternator 12V	8
Tabel 2. 2 Formula Metode PID Ziegler Nichlos Untuk Variabel Kp,Ti dan Td	16
Tabel 2.3 Tabel Sepesifikasi ESP32 WROOM.....	20
Tabel 2. 4 Tabel Komponen PZEM-004T 100A.....	23
Tabel 2. 5 Tabel Spesifikasi Driver BTS7960	25
Tabel 2. 6 Spesifikasi LCD Nextion NX4832F035	26
Tabel 2. 7 Spesifikasi Modul SUp lai Adaptor.....	29
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat dan Bahan Penelitian.....	49
Tabel 3. 2 Tabel Fungsi Komponen	52
Tabel 3. 3 Spesifikasi Alat Bagian Elektrikal	56
Tabel 3. 4 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	73
Tabel 4. 1 Data Pengujian Catu Daya SMPS 12V 5A Dengan Multimeter Tanpa Beban.....	75
Tabel 4. 2 Data Pengujian Catu Daya SMPS 12V 5A Dengan Multimeter dengan Beban.....	75
Tabel 4. 3 Data Pengujian Sensor PZEM-004T Tanpa Beban.....	77
Tabel 4. 4 Data Pengujian Sensor PZEM-004T Dengan Beban	77
Tabel 4. 5 Data Pengujian BTS7960 Tanpa Beban.....	79
Tabel 4. 6 Data Pengujian BTS7960 dengan Beban	80
Tabel 4. 7 Data Pengujian Alternator dan Trafo Non-CT 5A Tanpa Beban.....	83
Tabel 4. 8 Data Pengujian Alternator dan Trafo Non-CT 5A dengan Beban	83
Tabel 4. 9 Data Pengujian Tanpa Sistem Kontrol dan Tanpa Beban	87
Tabel 4. 10 Data Pengujian Tanpa Sistem Kontrol dan Dengan Beban.....	88
Tabel 4. 11 Data Tuning Formula Metode PID Ziegler Nichlos dari Data Pengujian.....	92
Tabel 4. 12 Data Pengujian Dengan PID Ziegler-Nichols Tanpa Beban	96
Tabel 4. 13 Data Pengujian PID Self Tuning 1 Bagian Tanpa Beban	99
Tabel 4. 14 Data Pengujian PID Self Tuning 2 Bagian Tanpa Beban	101
Tabel 4. 15 Data Pengujian PID Self Tuning 3 Menggunakan Beban 5watt.....	105
Tabel 4. 16 Pengujian Status Pada Node Dashboard Node-Red dan Tool Pada HMI Nextion	109

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Percobaan Sistem Dengan Wiring Jumper	119
Lampiran 2. Percobaan Sistem Elektrikal Proses.....	119
Lampiran 3. Pembuatan Rangka Meja Alat Dengan Besi Holow dan Siku.....	120
Lampiran 4. Pembuatan Skematik PCB Untuk Mini PCB Komponen dan Pin	120
Lampiran 5. Pembuatan Skematik Untuk Mini PCB Komponen dan Pin	120
Lampiran 6. Rangkaian Elektrikal Pada Panel Alat	121
Lampiran 7. Setup Tata Letak Panel Dengan Hardware Pembebanan.....	121
Lampiran 8. Rangkaian Elektrikal Modul Pembebanan Menggunakan Lampu Pijar	122
Lampiran 9. Pengujian Performa Komponen.....	122
Lampiran 10. Display HMI Nextion Tampilan Variabel Sensor Saat Pengujian	123
Lampiran 11. Display HMI Nextion Tampilan Grafik Sensor Saat Pengujian.	123
Lampiran 12. Datasheet PZEM-004T 100A	124
Lampiran 13. Datasheet PZEM-004T 100A dan <i>Wiring</i> Sensor.....	125
Lampiran 14. Datasheet Modul Driver BTS7960	126
Lampiran 15. Datasheet <i>Pin Layout</i> ESP32 DeVKitC V4.....	127
Lampiran 16. Datasheet <i>Pin Description</i> ESP32 DeVKitC V4	128
Lampiran 17. Datasheet HMI Nextion NX4832F0335 1	129
Lampiran 18. Datasheet HMI Nextion NX4832F0335 2	129
Lampiran 19. Kodingan Sistem Keseluruhan Pada Arduino IDE.....	130

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL ARUS EKSITASI PADA ALTERNATOR DENGAN METODE PID BERBASIS ESP32 WROOM

Aditya Sigit

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Stabilitas tegangan output dari generator sinkron (alternator) merupakan parameter krusial dalam keandalan sistem pembangkit listrik. Fluktuasi beban yang dinamis dan non-linier menyebabkan ketidakstabilan tegangan yang dapat merusak peralatan elektronik sensitif. *Automatic Voltage Regulator* (AVR) komersial biasanya mahal dan tidak fleksibel. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe AVR digital yang terbuka, modular, dan terjangkau berbasis mikrokontroler ESP32 WROOM. Sistem ini mengimplementasikan kontrol Proportional-Integral-Derivative (PID) untuk mengatur arus eksitasi alternator melalui driver daya BTS7960, dengan umpan balik diperoleh dari sensor PZEM-004T. Metode tuning Ziegler-Nichols digunakan sebagai dasar, yang kemudian disempurnakan melalui self-tuning untuk mendapatkan parameter PID yang optimal ($K_p=0.5$; $K_i=0.015$; $K_d=0.125$). Sistem juga terintegrasi dengan Internet of Things (IoT) menggunakan Node-RED dan antarmuka lokal menggunakan HMI Nextion untuk pemantauan data tegangan, arus, dan frekuensi secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil menjaga tegangan output stabil pada setpoint 220 VAC. Pada pengujian step load 5 Watt, sistem mampu memulihkan tegangan dari 197.6 V ke 219.9 V dalam waktu pemulihan sekitar 6 detik dengan overshoot minimal dan tanpa steady-state error. Prototipe ini membuktikan bahwa sistem AVR berbasis ESP32 dengan algoritma PID merupakan solusi yang efektif, handal, dan ekonomis untuk meregulasi tegangan alternator.

Kata Kunci: Arus Eksitasi, Alternator, Kontrol PID, ESP32, Automatic Voltage Regulator (AVR).

ABSTRACT

Design and Construction of an Alternator Excitation Current Control System Using PID Method Based on ESP32 WROOM

Aditya Sigit

Automation Engineering Technology, Vocational School, Diponegoro University

The stability of the output voltage of a synchronous generator (alternator) is a crucial parameter for the reliability of power generation systems. Dynamic and non-linear load fluctuations cause voltage instability that can damage sensitive electronic equipment. Commercial Automatic Voltage Regulators (AVRs) are expensive and not flexible. This research to design and build a prototype of an open, modular, and affordable digital AVR based on the ESP32 WROOM microcontroller. The system implements a Proportional-Integral-Derivative (PID) control to regulate the alternator's excitation current and volatage through the BTS7960 power driver, with feedback obtained from the PZEM-004T sensor. The Ziegler-Nichols tuning method was used as a basis, which was then refined through self-tuning to obtain optimal PID parameters ($K_p=0.5$; $K_i=0.015$; $K_d=0.125$). The system is also integrated with the Internet of Things (IoT) using Node-RED and a local interface using an HMI Nextion for real-time monitoring of voltage, current, and frequency data. Test results show that the system successfully maintained a stable output voltage at the setpoint of 220 VAC. In a 5 Watt step load test, the system was able to recover the voltage from 197.6 V to 219.9 V with a recovery time of approximately 6 seconds, minimal overshoot, and no steady-state error. This prototype proves that an ESP32-based AVR system with a PID algorithm is an effective, reliable, and economical solution for alternator voltage regulation.

Keywords: Excitation Current, Alternator, PID Control, ESP32, Automatic Voltage Regulator (AVR).