

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGONTROLAN SUHU BERBASIS PID
PADA PROSES DAUR ULANG BOTOL PLASTIK MENJADI FILAMEN
3D PRINTING**

LAPORAN TUGAS AKHIR

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



Oleh:

Mahadika Xavier Nurhadi

40040320650081

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
2025**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGONTROLAN SUHU BERBASIS PID PADA
PROSES DAUR ULANG BOTOL PLASTIK MENJADI FILAMEN 3D *PRINTING***

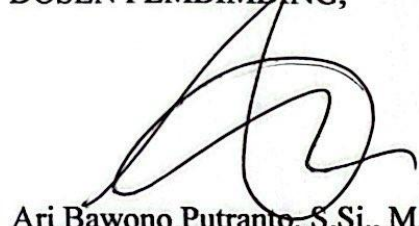
Diajukan oleh :

Mahadika Xavier Nurhadi

40040320650081

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

DOSEN PEMBIMBING,



Ari Bawono Putranto, S.Si., M.Si.

NIP. 198501252019031007

Mengetahui

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro

Selasa, 29 Juli 2025



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

NIP.197009161998021001

Selasa, 29 Juli 2025

HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM PENGONTROLAN SUHU BERBASIS PID PADA PROSES DAUR ULANG BOTOL PLASTIK MENJADI FILAMEN 3D PRINTING

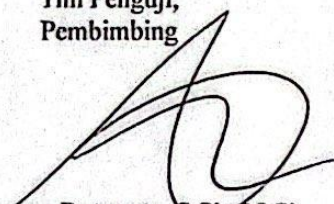
Diajukan oleh:

Mahadika Xavier Nurhadi 40040320650081

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji Pada

Selasa, 29 Juli 2025

Tim Penguji,
Pembimbing


Ari Bawono Putranto, S.Si., M.Si.
NIP. 198501252019031007

Penguji 1


Megarini Hersaputri, ST, MT.
NIP. 198902142020122012

Penguji 2


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

Mengetahui

Ketua Program Studi 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 : Mahadika Xavier Nurhadi

NIM : 40040320650081

Program Studi : S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi,
UNDIP

Judul Tugas Akhir : **RANCANG BANGUN SISTEM
PENGONTROLAN SUHU BERBASIS PID PADA
PROSES DAUR ULANG BOTOL PLASTIK
MENJADI FILAMEN 3D *PRINTING***

Dengan ini menyatakan bahwa dalm 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 ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk 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, 29 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,



Mahadika Xavier Nurhadi

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk,

1. Alm. Bapak Agus Nurhadi dan Ibu Wiwit Rita Rahayu juga saudara yang telah mendukung dalam segi moril dan materil serta doa-doa yang selalu memotivasi anaknya.
2. Bapak Ari Bawono Putranto selaku dosen pembimbing.
3. Saudari Aulia Yuniar Fadillah selaku rekan yang selalu mendukung dan membantu selama proses tugas akhir ini.
4. Rekan-rekan Multichat yang memberikan dukungan dan hiburan kepada penulis.

KATA PENGANTAR

Dengan rasa syukur, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada Allah SWT atas petunjuk-Nya, yang memungkinkan penulisan laporan Tugas Akhir **"Rancang Bangun Sistem Pengontrolan Suhu Berbasis PID pada Proses Daur Ulang Botol Plastik menjadi Filamen 3D *Printing*"** dapat terselesaikan. Laporan Tugas Akhir ini merupakan bagian dari pengajuan kelulusan di Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ari Bawono Putranto, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah penuh dedikasi memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berarti dalam proses penyusunan laporan dan pengembangan alat Tugas Akhir ini. Bimbingan beliau sangat membantu penulis dalam memahami berbagai aspek teknis maupun akademis yang diperlukan.
2. Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas bagi penulis untuk dapat menyelesaikan studi dan menyusun laporan ini dengan baik.
3. Alm. Bapak Agus Nurhadi dan Ibu Wiwit Rita Rahayu, selaku orang tua tercinta, serta saudara kandung Jovi Prasetyo Nurhadi dan Naila Alya Rahayu, dan Kakak Ipar Ridha Rasyida Arif yang telah memberikan dukungan moral, kasih sayang, doa yang tak pernah putus, serta semangat yang luar biasa selama proses perkuliahan hingga penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Tanpa dukungan mereka, penulis tidak akan mampu mencapai tahap ini.
4. Saudari Aulia Yuniar Fadillah, selaku rekan yang selalu menemani dengan diiringi memberikan semangat dan dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Saudara Bobby Julio Praditya, Nashrullah Afif Zuhma, Muhammad Irham Agil Kurniawan, Reinhold Samuel B. Pardede dan Arya Budi Pratama, selaku teman seperjuangan yang telah banyak membantu dalam memberikan masukan,

berbagi pengetahuan, serta memberikan semangat dan dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.

6. Seluruh teman dan rekan Quatro, multichat, serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah turut andil dalam memberikan informasi, motivasi, hiburan, serta saran-saran yang membangun selama proses penyusunan lapiran ini berlangsung.

Dengan demikian, penulis memberikan apresiasi dan mengundang kritik serta saran dari berbagai pihak agar Tugas Akhir ini dapat diperbaiki di masa mendatang. Harapannya, dari hasil Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi bagi semua pembaca.

Semarang, 29 Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
INTISARI	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	12
1.1 Latar Belakang	12
1.2 Rumusan Masalah	14
1.3 Tujuan Tugas Akhir	14
1.4 Batasan Masalah.....	14
1.5 Manfaat Tugas Akhir	15
1.6 Sistematika Penulisan.....	15
BAB II DASAR TEORI.....	16
2.1 Sampah	16
2.2 Arduino Mega 2560 Pro	17
2.3 LCD 16x2	18
2.4 <i>Solid-State Relay</i> 25DD.....	19
2.6 Thermistor	20
2.7 <i>Hot-End</i>	21
2.8 <i>Stepdown</i> LM2596	22
2.9 Motor Stepper NEMA 17	22
2.10 Driver Motor A4988	24
2.11 Power Supply	25
2.12 Sensor Ultrasonik HC-SR04	26
2.13 Kontrol Proportional-Integral-Derivative (PID).....	27

2.14	Sistem Orde Satu dan Parameter Waktu.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Blok Diagram	31
3.2	Gambar 3D Alat.....	32
3.3	Spesifikasi dan Fitur	35
3.4	Teknik Fabrikasi	36
3.4.1	Flowchart Sistem.....	36
3.4.2	Perancangan <i>Hardware</i>	37
3.4.3	Diagram Elektrikal	38
3.4.4	Perancangan Kendali PID.....	41
3.4.5	Perhitungan dan Torsi Motor Stepper.....	42
BAB IV PENGUJIAN ALAT		45
4.1	Pengujian Komponen	45
4.1.1	Pengujian Catu Daya	45
4.1.2	Pengujian Modul Stepdown LM2596	46
4.1.3	Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	46
4.1.4	Pengujian Motor Stepper NEMA 17	47
4.1.5	Pengujian LCD 16x2	48
4.1.6	Pengujian SSR-25DD dengan PWM.....	49
4.1.7	Pengujian Sensor Suhu Thermistor NTC 100K	50
4.2	Pengujian Sistem Keseluruhan	52
4.2.1	Pengujian Respons Sistem dengan Kontrol ON-OFF	52
4.2.2	Analisis Respons Suhu Sistem Open-Loop terhadap Variasi Nilai PWM....	53
4.2.3	Pengujian Parameter PID Melalui Metode Ziegler-Nichols Orde Satu.....	60
4.2.4	Penyesuaian Parameter PID Melalui Trial and Error	61
4.2.5	Pengujian Pengaruh Beban (Botol) terhadap Kinerja Pengendali PID	62
4.2.6	Analisis Konstanta Waktu dan <i>Settling Time</i> pada Sistem PID	64
4.2.7	Perbandingan Respons PID dan Kualitas Filamen pada Variasi Setpoint Suhu	65
4.2.8	Konsumsi Daya Keseluruhan Alat.....	73
4.2.9	Pengujian Botol Plastik Menjadi Filamen	74
4.2.10	Pengujian Keseluruhan Alat dengan Metode <i>Black Box</i>	75
BAB V PENUTUP		78

5.1	Kesimpulan.....	78
5.2	Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....		80
LAMPIRAN.....		82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Timbulan Sampah di Indonesia pada Tahun 2023	16
Gambar 2.2 Arduino Mega 2560 Pro	17
Gambar 2.3 LCD 16x2	19
Gambar 2.4 Solid-State Relay 25DD	19
Gambar 2.5 Relay 5V (a) Komponen, (b) Skematik Komponen	20
Gambar 2.6 Thermistor	21
Gambar 2.7 Hot end	21
Gambar 2.8 LM2596 Stepdown Module.....	22
Gambar 2.9 Motor Stepper NEMA 17.....	22
Gambar 2.10 Driver Motor A4988	24
Gambar 2.11 Power Supply 12V 8.3A	26
Gambar 2.12 Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	27
Gambar 3.1 Blok Diagram Alat.....	31
Gambar 3.2 Visualisasi 3D.....	33
Gambar 3.3 Visualisasi 3D Explode.....	33
Gambar 3.4 Dimensi 3D Model Alat.....	34
Gambar 3.5 Flowchart Sistem	36
Gambar 3.6 Visual Alat Filament	38
Gambar 3.7 Diagram Elektrikal.....	39
Gambar 3.8 PCB Komponen Elektrikal	40
Gambar 3.9 Blok Diagram PID	41
Gambar 4.1 Hasil Pengujian LCD 16x2	48
Gambar 4.2 Grafik Respons Suhu dengan Kontrol ON-OFF	52
Gambar 4.3 Grafik Respons Suhu Sistem <i>Open-Loop</i> pada PWM 10%.....	53
Gambar 4.4 Grafik Respons Suhu Sistem <i>Open-Loop</i> pada PWM 20%.....	54
Gambar 4.5 Grafik Respons Suhu Sistem <i>Open-Loop</i> pada PWM 30%.....	55
Gambar 4.6 Grafik Respons Suhu Sistem <i>Open-Loop</i> pada PWM 40%.....	55
Gambar 4.7 Grafik Respons Suhu Sistem <i>Open-Loop</i> pada PWM 50%.....	56
Gambar 4.8 Grafik Respons Suhu Sistem <i>Open-Loop</i> pada PWM 60%.....	57
Gambar 4.9 Grafik Respons Suhu Sistem <i>Open-Loop</i> pada PWM 70%.....	57
Gambar 4.10 Grafik Respons Suhu Sistem <i>Open-Loop</i> pada PWM 80%.....	58
Gambar 4.11 Grafik Respons Suhu Sistem <i>Open-Loop</i> pada PWM 90%.....	59
Gambar 4.12 Grafik Respons Suhu Sistem <i>Open-Loop</i> pada PWM 100%.....	59
Gambar 4.13 Grafik Kestabilan Suhu Metode Ziegler-Nichols Orde Satu	61
Gambar 4.14 Grafik Kestabilan Suhu Metode Trial and Error.....	62
Gambar 4.15 Grafik Pengaruh Beban (Botol) terhadap Kinerja Pengendali PID	63
Gambar 4.16 Grafik Respons Suhu Sistem PID Closed-Loop	64
Gambar 4.17 Grafik Kenaikan Suhu dengan Setpoint 210°C	66
Gambar 4.18 Hasil Filamen ketika Setpoint 210°C	67
Gambar 4.19 Grafik Kenaikan Suhu dengan Setpoint 220°C	67
Gambar 4.20 Hasil Filamen ketika Setpoint 220°C	68
Gambar 4.21 Grafik Kenaikan Suhu dengan Setpoint 230°C	68

Gambar 4.22 Hasil Filamen ketika Setpoint 230°C	69
Gambar 4.23 Grafik Kenaikan Suhu dengan Setpoint 240°C	69
Gambar 4.24 Hasil Filamen ketika Setpoint 240°C	70
Gambar 4.25 Grafik Kenaikan Suhu dengan Setpoint 250°C	70
Gambar 4.26 Hasil Filamen ketika Setpoint 250°C	71
Gambar 4.27 Grafik Kenaikan Suhu dengan Setpoint 260°C	71
Gambar 4.28 Hasil Filamen ketika Setpoint 260°C	72
Gambar 4.29 Grafik Kenaikan Suhu dengan Setpoint 270°C	72
Gambar 4.30 Hasil Filamen ketika Setpoint 270°C	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Mega 2560 Pro	18
Tabel 2.2 Spesifikasi Hot end.....	21
Tabel 2.3 Spesifikasi Motor Stepper NEMA 17	23
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04	27
Tabel 3.1 Pin Input Output Alat.....	39
Tabel 3.2 Spesifikasi Spool Penggulung Filamen	43
Tabel 4.1 Pengujian <i>Power Supply</i> menggunakan Multimeter.....	45
Tabel 4.2 Pengujian Modul Stepdown LM2596 menggunakan Multimeter	46
Tabel 4.3 Pengujian HC-SR04	47
Tabel 4.4 Pengujian Motor Stepper Nema 17.....	48
Tabel 4.5 Pengujian SSR-25DD dengan PWM.....	49
Tabel 4.6 Pengujian Sensor Suhu Thermistor NTC 100K.....	50
Tabel 4.7 Konsumsi Daya Keseluruhan Alat.....	73
Tabel 4.8 Pengujian Botol Plastik Menjadi Filamen	74
Tabel 4.9 Pengujian Keseluruhan Alat Dengan Metode Black Box	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Perbandingan dengan atau tanpa botol.....	82
Lampiran 2. Data Pengujian PID dengan Setpoint 210°C	117
Lampiran 3. Data Pengujian PID dengan Setpoint 220°C	134
Lampiran 4. Data Pengujian PID dengan Setpoint 230°C	143
Lampiran 5. Data Pengujian PID dengan Setpoint 240°C	152
Lampiran 6. Data Pengujian PID dengan Setpoint 250°C	161
Lampiran 7. Data Pengujian PID dengan Setpoint 260°C	172
Lampiran 8. Data Pengujian PID dengan Setpoint 270°C	182
Lampiran 9. Data Pengujian Respons Suhu Sistem Open-Loop dengan Variasi Nilai PWM (PWM 10% - 50%).....	205
Lampiran 10. Data Pengujian Respons Suhu Sistem Open-Loop dengan Variasi Nilai PWM (PWM 60% - 100%).....	230
Lampiran 11. Data Pengujian Respons Suhu dengan Kontrol ON-OFF	255
Lampiran 12. Code Program	261
Lampiran 13. Datasheet HC-SR04.....	271
Lampiran 14. Datasheet Arduino Mega 2560 Pro.....	273
Lampiran 15. Datasheet Driver Stepper A4988	278
Lampiran 16. Hasil Panjang Filamen	280
Lampiran 17. Dokumentasi Pengukuran Ketebalan Botol	281

INTISARI

RANCANG BANGUN SISTEM PENGONTROLAN SUHU BERBASIS PID PADA PROSES DAUR ULANG BOTOL PLASTIK MENJADI FILAMEN 3D PRINTING

Mahadika Xavier Nurhadi

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Peningkatan limbah botol plastik menjadi isu lingkungan yang signifikan. Salah satu solusi berkelanjutan adalah mendaur ulangnya menjadi filamen 3D printing bernilai guna tinggi. Penelitian ini merancang sistem daur ulang botol plastik berbasis pengendalian suhu otomatis menggunakan algoritma PID pada mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pro. Sensor suhu thermistor NTC 100K dan sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan sebagai input, sementara elemen pemanas dikendalikan melalui SSR-25DD menggunakan teknik PWM. Motor stepper NEMA 17 digunakan untuk menggulung hasil ekstrusi plastik menjadi filamen. Tuning PID dilakukan dengan metode Ziegler–Nichols dan fine tuning, menghasilkan nilai $K_p = 22$, $K_i = 2$, dan $K_d = 50$. Sistem menunjukkan performa stabil baik tanpa beban maupun saat proses pelelehan berlangsung. Suhu dapat dipertahankan pada setpoint 210°C dengan fluktuasi kecil ($208\text{--}212^{\circ}\text{C}$), termasuk saat terjadi gangguan termal. Sebagai sistem orde satu, analisis menunjukkan konstanta waktu 56 detik dan settling time 89 detik, menandakan respons sistem cepat dan stabil. Pengujian black-box pada 15 skenario operasional membuktikan bahwa fitur proteksi suhu, deteksi botol, dan penggulangan filamen berjalan sesuai desain. Sistem ini terbukti responsif, efisien, dan stabil, serta berpotensi menjadi solusi praktis untuk mengolah limbah plastik rumah tangga menjadi bahan baku bernilai tinggi.

Kata Kunci: *Daur ulang plastik, PID, Arduino Mega, Filamen 3D, Thermistor, SSR, NEMA 17.*

ABSTRACT

RANCANG BANGUN SISTEM PENGONTROLAN SUHU BERBASIS PID PADA PROSES DAUR ULANG BOTOL PLASTIK MENJADI FILAMEN 3D PRINTING

Mahadika Xavier Nurhadi

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

The increasing amount of plastic bottle waste has become a significant environmental issue. One sustainable solution is recycling it into high-value 3D printing filament. This research developed a plastic bottle recycling system with automatic temperature control based on a PID algorithm implemented on an Arduino Mega 2560 Pro microcontroller. An NTC 100K thermistor and an HC-SR04 ultrasonic sensor serve as inputs, while a SSR-25DD solid-state relay with PWM controls the heating element. A NEMA 17 stepper motor is used to wind the extruded plastic into filament. The PID parameters were tuned using the Ziegler–Nichols method with additional fine tuning, resulting in $K_p = 22$, $K_i = 2$, and $K_d = 50$. The system demonstrated stable performance under both no-load and melting conditions. The temperature was maintained at a 210°C setpoint with minimal fluctuation (208–212°C), even during thermal disturbances. Modeled as a first-order system, analysis showed a time constant of 56 seconds and a settling time of 89 seconds, indicating a fast and stable response. Black-box testing across 15 operational scenarios confirmed that temperature protection, bottle detection, and filament winding features operated as designed. The system has proven to be responsive, efficient, and stable, making it a practical solution for converting household plastic waste into valuable raw materials for additive manufacturing.

Keywords: *Plastic recycling, PID controller, Arduino Mega, 3D filament, Thermistor, SSR, NEMA 17.*