



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL DAN
MONITORING ALAT DISTILASI METANOL-AIR BERBASIS
PLC**

SUB JUDUL:

**SISTEM PENGENDALIAN SUHU TANGKI *BOILER*
MENGUNAKAN METODE *PROPORTIONAL-INTEGRAL*
DENGAN *ANTI-WINDUP* PADA ALAT DISTILASI METANOL-
AIR BERBASIS PLC**

SKRIPSI

**MUHAMMAD RABBANI HASWI
2203431024**

**PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL
INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL DAN
MONITORING ALAT DISTILASI METANOL-AIR BERBASIS
PLC**

SUB JUDUL:

**SISTEM PENGENDALIAN SUHU TANGKI *BOILER*
MENGUNAKAN METODE *PROPORTIONAL-INTEGRAL*
DENGAN *ANTI-WINDUP* PADA ALAT DISTILASI METANOL-
AIR BERBASIS PLC**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan**

**MUHAMMAD RABBANI HASWI
2203431024**

**PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL
INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Rabbani Haswi

NIM : 2203431024

Tanda Tangan : 

Tanggal : 11 Juni 2026

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Muhammad Rabbani Haswi
NIM : 2203431024
Program Studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri
Judul Tugas Akhir : Sistem Pengendalian Suhu Tangki *Boiler* Menggunakan Metode *Proportional-Integral* Dengan *Anti-Windup* Pada Alat Distilasi Metanol-Air Berbasis PLC

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada 23 Juni 2026, dan dinyatakan **LULUS**

Pembimbing : Rika Novita Wardhani, S.T.,M.T.
NIP. 197011142008122001

()

Depok, 3 Juli 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro



D. Muhe Dwiyanti, S.T., M.T

NIP. 197803312003222002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “Sistem Pengendalian Suhu Tangki *Boiler* Menggunakan Metode *Proportional-Integral* Dengan *Anti-Windup* Pada Alat Distilasi Metanol-Air Berbasis PLC” ini dapat rampung dengan baik. Penyusunan skripsi ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam meraih gelar Sarjana Terapan di Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan laporan ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan moral maupun material dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang tulus kepada:

1. Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro;
2. Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng. selaku Kepala Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri;
3. Rika Novita Wardhani, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, serta pikiran untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi;
4. Isnaini Budi Raharjo selaku rekan satu tim yang saling mendukung dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
6. Teman-teman Teknik Elektro 2022, dan para rekan kontrakan IKI yang saling mendukung dan berjuang dalam menyelesaikan perkuliahan dan skripsi selama masa kuliah.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sistem Pengendalian Suhu Tangki Boiler Menggunakan Metode Proportional-Integral Dengan Anti-Windup Pada Alat Distilasi Metanol-Air Berbasis PLC

Abstrak

Metanol merupakan senyawa alkohol sederhana dengan titik didih normal $64,7^{\circ}\text{C}$ pada tekanan atmosfer. Karakteristik fisik ini menjadi landasan metode distilasi fraksinasi, memanfaatkan perbedaan titik didih yang signifikan dengan air (100°C) berdasarkan prinsip kesetimbangan uap-cair (Vapor-Liquid Equilibrium). Namun, fluktuasi suhu pada boiler dapat menurunkan efisiensi pemisahan dan kemurnian produk. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan merealisasikan sistem kontrol serta monitoring suhu pada alat distilasi metanol-air berbasis Programmable Logic Controller (PLC). Sistem dikendalikan menggunakan metode Proportional-Integral (PI) yang diintegrasikan dengan kompensasi anti-windup untuk mencegah saturasi aktuator. Parameter kontrol ditala menggunakan metode SIMC, menghasilkan nilai $K_c = 0,0553$, $T_i = 172,5$, dan $T_t = 172,5$. Pengujian dilakukan menggunakan 5 liter campuran metanol dan air dengan rasio volume 1:1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode PI anti-windup memberikan respons sistem yang lebih stabil dan cepat dibandingkan kontrol PI konvensional. Karakteristik respons yang diperoleh meliputi rise time 12 menit 51 detik, settling time 23 menit 32 detik, delay time 10 menit 25 detik, peak time 49 menit 25 detik, dan overshoot sebesar 2,73%. Sistem kontrol akan mati secara otomatis setelah beroperasi selama 25 menit pasca-setpoint dengan hasil produksi sebanyak 1 liter metanol. Selain itu, sistem ini dilengkapi fitur keselamatan berupa float switch, proteksi suhu berlebih 90°C , dan valve otomatis pada burner, serta terintegrasi dengan SCADA dan HMI untuk pemantauan real-time.

Kata Kunci: anti-windup, distilasi, kontrol suhu, metanol, metode SIMC, PLC

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Boiler Tank Temperature Control System Using Proportional-Integral Method With Anti-Windup In PLC Based Methanol-Water Distillation Equipment

Abstract

Methanol is a simple alcohol compound with a normal boiling point of 64.7°C at atmospheric pressure. This physical characteristic forms the basis of the fractional distillation method, utilizing the significant boiling point difference with water (100°C) based on the Vapor-Liquid Equilibrium principle. However, temperature fluctuations in the boiler can decrease separation efficiency and product purity. Therefore, this study aims to design and realize a temperature control and monitoring system for a methanol-water distillation apparatus based on a Programmable Logic Controller (PLC). The system is controlled using the Proportional-Integral (PI) method integrated with anti-windup compensation to prevent actuator saturation. Control parameters are tuned using the SIMC method, yielding values of $K_c = 0.0553$, $T_i = 172.5$, and $T_t = 172.5$. Testing was conducted using 5 liters of a methanol-water mixture with a 1:1 volume ratio. The test results indicate that the PI anti-windup method provides a more stable and faster system response compared to conventional PI control. The obtained response characteristics include a rise time of 12 minutes 51 seconds, a settling time of 23 minutes 32 seconds, a delay time of 10 minutes 25 seconds, a peak time of 49 minutes 25 seconds, and an overshoot of 2.73%. The control system automatically shuts down after operating for 25 minutes post-setpoint, producing 1 liter of methanol. Additionally, the system features safety provisions such as a float switch, 90°C over-temperature protection, and an automatic burner valve, while being integrated with SCADA and HMI for real-time monitoring.

Keywords: *anti-windup, distillation, methanol, PLC, SIMC method, temperature control*

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
<i>Abstrak</i>	vi
<i>Abstract</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1 Rumusan Masalah.....	4
1.2 Batasan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Luaran	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Metanol	13
2.3 Dinamika Proses	15
2.3.1 Dinamika Proses Distilasi	16
2.4 Sistem Instrumentasi Proses Distilasi	18
2.4.1 Sistem Pengukuran.....	18
2.4.2 Sistem Pengendalian	20



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.5	Perancangan Sistem Pengendalian	21
2.5.1	Respons Transien Sistem	22
2.5.2	<i>Process Reaction Curve (PRC)</i>	23
2.5.3	<i>First Order Plus Dead Time (FOPDT)</i>	24
2.5.4	<i>Reset Wind-Up</i>	25
2.5.5	<i>Metode Skogestad Internal Model Control (SIMC) PID</i>	26
2.5.6	<i>Anti Reset Wind-Up Back Calculation</i>	27
2.6	<i>Controller</i>	29
2.6.1	<i>Programmable Logic Controller (PLC)</i>	29
2.6.2	<i>GX Works 2 PLC Software</i>	30
2.6.3	<i>Haiwell Cloud SCADA</i>	30
2.7	<i>Final Control Element</i>	31
2.7.1	<i>Motor Stepper</i>	31
2.7.2	<i>Digital Signal Processing (DSP) Module</i>	32
2.8	<i>Burner</i>	35
2.9	<i>LPG (Liquefied Petroleum Gas)</i>	35
2.10	<i>Solenoid Valve</i>	35
2.11	<i>Float Switch</i>	36
2.12	<i>Motor DC</i>	37
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI.....		40
3.1	Perancangan Sistem	40
3.1.1	Deskripsi Alat.....	41
3.1.2	Cara Kerja Alat.....	44
3.1.3	Spesifikasi Alat	46
3.1.4	Komponen yang Digunakan.....	47
3.1.5	Diagram Blok	51



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.6	Perancangan Mekanis Alat.....	57
3.2	Realisasi Alat.....	61
3.2.1	Realisasi Pembuatan Alat.....	61
3.2.2	<i>Flowchart</i> Subsistem.....	64
3.2.3	Skematik Rangkaian.....	65
3.2.4	<i>Scaling</i> Sensor dan Aktuator	66
BAB IV PEMBAHASAN.....		70
4.1	Pengujian Akurasi <i>Temperature Transmitter</i> RTD PT-100	70
4.1.1	Deskripsi Pengujian Akurasi <i>Temperature Transmitter</i> RTD PT-100 70	
4.1.2	Daftar Alat dan Bahan Pengujian Akurasi <i>Temperature Transmitter</i> RTD PT-100	70
4.1.3	Prosedur Pengujian Akurasi <i>Temperature Transmitter</i> RTD PT-100 71	
4.1.4	Analisa Hasil Pengujian Akurasi <i>Temperature Transmitter</i> RTD PT- 100 71	
4.2	Pengujian Penskalaan Motor <i>Stepper</i>	73
4.2.1	Deskripsi Pengujian Penskalaan Motor <i>Stepper</i>	74
4.2.2	Daftar Alat dan Bahan Pengujian Penskalaan Motor <i>Stepper</i>	74
4.2.3	Prosedur Pengujian Penskalaan Motor <i>Stepper</i>	74
4.2.4	Analisa Hasil Pengujian Penskalaan Motor <i>Stepper</i>	75
4.3	Pengujian <i>Open Loop</i> Sistem Distilasi Metanol-Air.....	76
4.3.1	Deskripsi Pengujian <i>Open Loop</i> Sistem Distilasi Metanol-Air	76
4.3.2	Daftar Alat dan Bahan Pengujian <i>Open Loop</i> Sistem Distilasi Metanol-Air.....	77
4.3.3	Prosedur Pengujian <i>Open Loop</i> Sistem Distilasi Metanol-Air	77



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.4	Analisa Hasil Pengujian <i>Open Loop</i> Sistem Distilasi Metanol-Air	78
4.4	Pengujian Simulasi Hasil <i>Tuning</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	84
4.4.1	Deskripsi Pengujian Simulasi Hasil <i>Tuning</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	85
4.4.2	Daftar Alat dan Bahan Pengujian Simulasi Hasil <i>Tuning</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	85
4.4.3	Prosedur Pengujian Simulasi Hasil <i>Tuning</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	85
4.4.4	Analisa Hasil Pengujian Simulasi Hasil <i>Tuning</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	86
4.5	Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI pada Sistem Distilasi Metanol-Air	87
4.5.1	Deskripsi Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI pada Sistem Distilasi Metanol-Air	87
4.5.2	Daftar Alat dan Bahan Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI pada Sistem Distilasi Metanol-Air	87
4.5.3	Prosedur Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI pada Sistem Distilasi Metanol-Air	88
4.5.4	Analisa Hasil Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI pada Sistem Distilasi Metanol-Air	89
4.6	Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i> pada Sistem Distilasi Metanol-Air	96
4.6.1	Deskripsi Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i> pada Sistem Distilasi Metanol-Air	96
4.6.2	Daftar Alat dan Bahan Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i> pada Sistem Distilasi Metanol-Air	97
4.6.3	Prosedur Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i> pada Sistem Distilasi Metanol-Air	97



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.6.4	Analisa Hasil Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i> pada Sistem Distilasi Metanol-Air.....	98
4.7	Pengujian Perbandingan Hasil Distilasi Metanol-Air.....	105
4.7.1	Deskripsi Pengujian Perbandingan Hasil Distilasi Metanol-Air..	106
4.7.2	Daftar Alat dan Bahan Pengujian Hasil Distilasi Metanol-Air	106
4.7.3	Prosedur Pengujian Hasil Distilasi Metanol-Air.....	107
4.7.4	Analisa Hasil Pengujian Perbandingan Hasil Distilasi Metanol-Air	108
4.8	Analisa Karakteristik Alat dan Hasil Perbandingan Metode Kontrol ..	115
BAB V PENUTUP.....		119
5.1	Kesimpulan	119
5.2	Saran.....	120
DAFTAR PUSTAKA.....		121
LAMPIRAN.....		126

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian oleh (Wahid & Rikimata, 2021b)	7
Tabel 2. 2 Penelitian oleh (Fadilla Vikry Akbar, 2025).....	9
Tabel 2. 3 Penelitian oleh (Bahriawan et al., 2024b)	10
Tabel 2. 4 Penelitian oleh (Prihantoro, 2020)	11
Tabel 2. 5 Penelitian oleh (Tanaiyo et al., 2022b).....	12
Tabel 2. 6 Karakteristik Metanol Murni.....	14
Tabel 2. 7 Hubungan Kadar Alkohol dan Densitas	14
Tabel 2. 8 Spesifikasi Sensor <i>Temperature Transmitter</i> RTD PT-100	20
Tabel 2. 9 Rumus <i>Tuning</i> IMC-PI FOPDT	27
Tabel 2. 10 Klasifikasi Kategori Sistem.....	27
Tabel 2. 11 Spesifikasi Motor <i>Stepper</i>	32
Tabel 2. 12 Spesifikasi Elektrik <i>Driver</i> DM542	33
Tabel 2. 13 <i>Dynamic Current Setting Driver</i> DM542.....	34
Tabel 2. 14 <i>Pulse/Revolution Driver</i> DM542	34
Tabel 2. 15 Spesifikasi <i>Solenoid Valve</i> DF2-3-B	36
Tabel 2. 16 Spesifikasi Pompa 24 VDC	39
Tabel 2. 17 Spesifikasi Kipas DC	39
Tabel 3. 1 Spesifikasi Mekanis.....	47
Tabel 3. 2 Spesifikasi Komponen <i>Hardware</i>	48
Tabel 3. 3 Keterangan Gambar Alat Distilasi Metanol-Air.....	62
Tabel 3. 4 Keterangan Gambar Bagian Depan Panel Kontrol	62
Tabel 3. 5 Keterangan Gambar dalam Panel Kontrol	63
Tabel 4. 1 Daftar Peralatan Pengujian Akurasi <i>Temperature Transmitter</i> RTD PT-100.....	71
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Akurasi <i>Temperature Transmitter</i> RTD PT-100 ..	72
Tabel 4. 3 Daftar Peralatan Pengujian Penskalaan Motor <i>Stepper</i>	74
Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian Penskalaan Motor <i>Stepper</i>	75
Tabel 4. 5 Daftar Peralatan Pengujian <i>Open Loop</i> Sistem Distilasi Metanol-Air..	77
Tabel 4. 6 Data Hasil Pengujian <i>Open Loop</i> Sistem Distilasi Metanol-Air.....	78
Tabel 4. 7 Nilai Parameter <i>Tuning</i> PI.....	83
Tabel 4. 8 Nilai Parameter <i>Anti-Windup</i>	84
Tabel 4. 9 Daftar Peralatan Pengujian Simulasi Hasil <i>Tuning</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	85
Tabel 4. 10 Daftar Peralatan Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI pada Sistem Distilasi Metanol-Air	88
Tabel 4. 11 Karakteristik Respons Transien Pengujian Kontrol SIMC-PI Distilasi Metanol-Air.....	95
Tabel 4. 12 Daftar Peralatan Pengujian Kontrol <i>Closed Loop</i> SIMC-PI <i>Anti-Windup</i> pada Sistem Distilasi Metanol-Air	97
Tabel 4. 13 Karakteristik Respons Transien Pengujian Kontrol SIMC-PI <i>Anti-Windup</i> Distilasi Metanol-Air.....	104
Tabel 4. 14 Daftar Peralatan Pengujian Hasil Distilasi Metanol-Air	106
Tabel 4. 15 Densitas Hasil Distilasi Metanol-Air Kontrol SIMC-PI	109
Tabel 4. 16 Kadar Alkohol Hasil Distilasi Metanol-Air Kontrol SIMC-PI	110

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 17 Densitas Hasil Distilasi Metanol-Air Kontrol SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	111
Tabel 4. 18 Kadar Alkohol Hasil Distilasi Metanol-Air Kontrol SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	113
Tabel 4. 19 Perbandingan Tabel Hasil Distilasi Metanol-Air	114
Tabel 4. 20 Perbandingan Karakteristik Respons Transien Metode Kontrol	118





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Tulang Ikan Penelitian.....	13
Gambar 2. 2 Diagram Blok Sebuah Proses.....	15
Gambar 2. 3 Sistem Distilasi Sederhana	16
Gambar 2. 4 Sensor Suhu RTD PT-100	20
Gambar 2. 5 Sistem Kendali <i>Loop</i> Terbuka	21
Gambar 2. 6 Sistem Kendali <i>Loop</i> Tertutup.....	21
Gambar 2. 7 Karakteristik Respon Transien	22
Gambar 2. 8 (a) <i>Process Reaction Curve – Method I</i> ; (b) <i>Process Reaction Curve – Method II</i>	24
Gambar 2. 9 <i>Overshoot Reset Wind-Up</i>	26
Gambar 2. 10 Blok Diagram <i>Anti Reset Wind-Up Back Calculation</i>	28
Gambar 2. 11 PLC Easycon FX3U-16MT 16 <i>Channel With Analog I/O</i>	30
Gambar 2. 12 GX Works 2 PLC <i>Software</i>	30
Gambar 2. 13 <i>Software</i> Haiwell Cloud SCADA.....	31
Gambar 2. 14 Motor <i>Stepper</i>	32
Gambar 2. 15 <i>Digital Signal Processing Driver DM542</i>	33
Gambar 2. 16 (a) Koneksi sinyal <i>Open-Collector (common anode)</i> ; (b) Koneksi sinyal PNP (<i>common cathode</i>)	33
Gambar 2. 17 <i>Solenoid Valve</i> 24 VDC.....	36
Gambar 2. 18 <i>Float Switch</i>	37
Gambar 2. 19 Pompa DC 24 VDC.....	38
Gambar 2. 20 Kipas Aksial 24 VDC	39
Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan Alat.....	41
Gambar 3. 2 P&ID Sistem Kontrol <i>Single Loop</i> Suhu	44
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> Cara Kerja Alat	46
Gambar 3. 4 Diagram Blok Alat	52
Gambar 3. 5 Diagram Blok Subsistem.....	54
Gambar 3. 6 Diagram Blok <i>Feedback Control Closed Loop Anti-Windup Back Calculation</i>	55
Gambar 3. 7 Tampak Depan Alat.....	57
Gambar 3. 8 Tampak Belakang Alat	58
Gambar 3. 9 (a) Mekanisme Burner; (b) <i>Shaft Coupling Knob Burner</i>	59
Gambar 3. 10 Tangki <i>Boiler</i>	61
Gambar 3. 11 Foto Alat Distilasi Metanol-Air Tampak Samping.....	61
Gambar 3. 12 Komponen Bagian Depan Panel Kontrol.....	62
Gambar 3. 13 Komponen dalam Panel Kontrol.....	63
Gambar 3. 14 <i>Flowchart</i> Subsistem.....	64
Gambar 3. 15 Skema Rangkaian Alat	66
Gambar 3. 16 <i>Ladder Scaling Temperature Transmitter</i>	68
Gambar 3. 17 <i>Ladder Scaling</i> Pulsa Motor <i>Stepper</i>	69
Gambar 4. 1 Grafik Pengujian Sensor Suhu RTD PT-100 Terhadap Arus.....	73
Gambar 4. 2 Grafik Pengujian <i>Manipulated Value</i> Terhadap Pulsa Motor <i>Stepper</i>	76
Gambar 4. 3 Grafik Pengujian <i>Open Loop</i> Sistem Distilasi Metanol-Air	79

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 4 Grafik Respons Motor <i>Stepper</i> pada Pengujian <i>Open Loop</i> Sistem Distilasi Metanol-Air	80
Gambar 4. 5 Grafik Simulasi Fungsi Alih Suhu	82
Gambar 4. 6 Grafik Simulasi Respons Sistem Kontrol SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	86
Gambar 4. 7 Grafik Respons Sistem Kontrol PI Distilasi Metanol-Air Pengujian 1	89
Gambar 4. 8 Grafik Respons Aktuator Pengujian 1 Distilasi Metanol-Air Kontrol PI	90
Gambar 4. 9 Grafik Respons Sistem Kontrol PI Distilasi Metanol-Air Pengujian 2	91
Gambar 4. 10 Grafik Respons Aktuator Pengujian 2 Distilasi Metanol-Air Kontrol PI	92
Gambar 4. 11 Grafik Respons Sistem Kontrol PI Distilasi Metanol-Air Pengujian 3	93
Gambar 4. 12 Grafik Respons Aktuator Pengujian 3 Distilasi Metanol-Air Kontrol PI	94
Gambar 4. 13 Perbandingan Grafik Respons Sistem Kontrol SIMC-PI Distilasi Metanol-Air.....	96
Gambar 4. 14 Grafik Respons Sistem Kontrol PI <i>Anti-Windup</i> Distilasi Metanol-Air Pengujian 1	98
Gambar 4. 15 Grafik Respons Aktuator Pengujian 1 Distilasi Metanol-Air Kontrol PI <i>Anti-Windup</i>	100
Gambar 4. 16 Grafik Respons Sistem Kontrol PI <i>Anti-Windup</i> Distilasi Metanol-Air Pengujian 2	100
Gambar 4. 17 Grafik Respons Aktuator Pengujian 2 Distilasi Metanol-Air Kontrol PI <i>Anti-Windup</i>	102
Gambar 4. 18 Grafik Respons Sistem Kontrol PI <i>Anti-Windup</i> Distilasi Metanol-Air Pengujian 3	103
Gambar 4. 19 Grafik Respons Aktuator Pengujian 3 Distilasi Metanol-Air Kontrol PI <i>Anti-Windup</i>	104
Gambar 4. 20 Perbandingan Grafik Respons Sistem Kontrol SIMC-PI <i>Anti-Windup</i> Distilasi Metanol-Air	105
Gambar 4. 21 Massa Piknometer	108
Gambar 4. 22 Perbandingan Grafik Respons Sistem Kontrol Suhu Distilasi Metanol-Air.....	116
Gambar 4. 23 Perbandingan Grafik Respons Aktuator Distilasi Metanol-Air.....	117



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis.....	126
Lampiran 2 Dokumentasi Alat	127
Lampiran 3 Program <i>Ladder</i> PLC	128
Lampiran 4 Lanjutan 1 Program <i>Ladder</i> PLC	129
Lampiran 5 Lanjutan 2 Program <i>Ladder</i> PLC	130
Lampiran 6 Lanjutan 3 Program <i>Ladder</i> PLC	131
Lampiran 7 Lanjutan 4 Program <i>Ladder</i> PLC	132
Lampiran 8 Lanjutan 5 Program <i>Ladder</i> PLC	133
Lampiran 9 Lanjutan 6 Program <i>Ladder</i> PLC	134
Lampiran 10 Program Simulasi Respons Transien.....	135
Lampiran 11 Program Simulasi Kontrol SIMC-PI	136
Lampiran 12 Lanjutan Program Simulasi Kontrol SIMC-PI.....	137
Lampiran 13 Program Simulasi Kontrol SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	138
Lampiran 14 Lanjutan Program Simulasi Kontrol SIMC-PI <i>Anti-Windup</i>	139

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan pesat di berbagai sektor manufaktur mulai dari industri kimia, farmasi, hingga kosmetik secara langsung mendorong peningkatan permintaan terhadap bahan kimia dasar. Di antara berbagai komoditas kimia, metanol menempati posisi strategis sebagai senyawa yang memiliki utilitas luas. Perannya sangat krusial, baik sebagai pelarut universal, bahan baku perantara (*chemical intermediate*), maupun sebagai komponen kunci dalam formulasi produk bernilai tinggi seperti resin dan parfum. Mengingat vitalnya peran tersebut, jaminan terhadap ketersediaan metanol dengan spesifikasi mutu dan kemurnian yang terkontrol menjadi prasyarat mutlak dalam rantai pasok industri modern (Dalena et al., 2018).

Metanol merupakan senyawa alkohol paling sederhana yang memiliki karakteristik volatilitas tinggi dengan titik didih normal sebesar $64,7^{\circ}\text{C}$ pada tekanan atmosfer. Sifat fisik inilah yang menjadi landasan utama penerapan metode distilasi fraksinasi, di mana perbedaan titik didih yang signifikan antara metanol dan air (100°C) dimanfaatkan untuk memisahkan kedua komponen tersebut dari campuran cairnya. Berdasarkan prinsip kesetimbangan uap-cair (*Vapor-Liquid Equilibrium*), pemanasan terkontrol akan menyebabkan metanol menguap lebih cepat dibandingkan air. Oleh karena itu, stabilitas suhu operasional menjadi variabel yang sangat kritis. Fluktuasi suhu yang tidak terkontrol dapat mengganggu proses pengayaan uap metanol, yang berakibat pada penurunan kemurnian produk distilat secara keseluruhan (Shamsul et al., 2014).

Validasi kinerja sistem kontrol pada prototipe kolom distilasi menuntut penggunaan fluida kerja yang memiliki karakteristik termodinamika stabil dan terprediksi. Oleh karena itu, penelitian ini menetapkan penggunaan campuran biner metanol-air sebagai model sistem pengujian, menggantikan penggunaan bahan baku alami multikomponen. Pemilihan ini didasarkan pada urgensi untuk mengisolasi performa algoritma kontrol dari gangguan eksternal (*disturbance*) yang



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

disebabkan oleh variabilitas komposisi bahan alam. Campuran metanol-air diakui secara luas dalam literatur sebagai sistem uji standar (*standard test system*) karena memiliki data kesetimbangan uap-cair (*Vapor-Liquid Equilibrium* - VLE) yang telah baku. Hal ini memungkinkan verifikasi presisi alat dilakukan secara objektif dengan membandingkan respons suhu eksperimental terhadap kurva teoritis, sehingga deviasi yang terjadi dapat diasosiasikan sepenuhnya sebagai parameter kinerja sistem kontrol, bukan akibat anomali kimiawi bahan baku (Luyben, 2006).

Pada penelitian oleh Wahid & Rikimata (2021) mengimplementasikan kontrol Multi-loop PI terdesentralisasi berbasis model FOPDT pada kolom distilasi Metanol-Air (MIMO 2x2). Dengan konfigurasi *pairing* antara *Reflux Rate* terhadap komposisi puncak dan *Reboiler Duty* terhadap komposisi bawah, validasi IAE menunjukkan sistem efektif meredam gangguan serta menghasilkan respon stabil dengan *overshoot* minim dan *steady-state error* mendekati nol. Namun, perancangan sistem kendali tersebut memiliki kekurangan karena hanya dibuktikan secara teoritis melalui perangkat lunak simulasi. Di dalam kesimpulan jurnal tersebut, penulis secara eksplisit menyatakan perlunya eksplorasi lebih lanjut untuk mengimplementasikan metode kendali tersebut secara langsung ke dalam perangkat keras fisik berupa sistem *Programmable Logic Controller* (PLC). Lalu, penggunaan metode MIMO (*Multiple Input-Multiple Output*) mengharuskan pengendalian banyak variabel dan aktuator secara bersamaan. Hal ini memiliki tingkat kerumitan yang sangat tinggi jika diimplementasikan secara langsung pada rancang bangun alat fisik, terutama terkait interaksi antar instrumen dan biaya perangkat keras. Oleh karena itu, perancangan dan spesifikasi alat perlu disimplifikasi menggunakan metode agar mudah diterapkan ke Kontroler (Wahid & Rikimata, 2021b).

Kemudian penelitian oleh Fadillah Vikry Akbar (2025) mengembangkan sistem kendali *cascade* suhu dan tekanan *boiler* berbasis PLC menggunakan metode *tuning* SIMC-PI. Hasil pengujian menunjukkan superioritas sistem dibanding kontrol *single-loop*, dengan capaian stabilitas tinggi berupa *overshoot* minim 0,5% serta reduksi waktu produksi signifikan dari 3 jam menjadi 20 menit untuk menghasilkan bioetanol 70% pada suhu 90°C. Di dalam saran jurnal tersebut, penulis menyebut secara eksplisit penggunaan aktuator *motorized control valve* kurang merepresentasikan besar dan kecilnya nyala api, sehingga disarankan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mengganti aktuator *motorized control valve* dengan motor *stepper* yang mengatur putaran knob pada tungku pembakar (Fadilla Vikry Akbar, 2025)

Pada penelitian oleh Bahriawan dkk. (2024) merancang sistem kendali suhu distilasi bioetanol berbasis Arduino menggunakan metode On-Off Histeresis. Hasil pengujian menunjukkan keterbatasan performa berupa instabilitas suhu yang ditandai oleh osilasi kontinu dan *overshoot* hingga 81°C, serta respon lambat mencapai 17 menit, mengindikasikan bahwa metode tersebut kurang presisi untuk menjamin kualitas hasil distilasi. Meninjau kelemahan dari metode *On-Off* yang menghasilkan *overshoot* dan osilasi, serta kebutuhan akan perangkat kendali yang tangguh (*robust*), maka diperlukan optimalisasi dalam metode kontrol yang digunakan, guna memenuhi stabilitas kendali suhu distilasi yang lebih baik (Bahriawan et al., 2024b)

Lalu penelitian oleh Prihantoro, 2020 menerapkan kontrol *Fuzzy Logic* dengan pemanas listrik 1200 W yang mampu menghasilkan kadar alkohol 96%, namun terkendala respon sistem yang lambat dengan *settling time* 1,47 jam akibat tingginya inersia termal elemen pemanas. Oleh karena itu, kelemahan terkait lambatnya respons akibat inersia termal aktuator ini dapat diselesaikan melalui penerapan elemen pemanas menggunakan tungku pembakar yang terkendali agar dapat memenuhi kebutuhan energi alternatif yang semakin meningkat di tengah masyarakat saat ini (Prihantoro, 2020).

Pada penelitian oleh Tanaiyo dkk. (2022) berfokus pada rancang bangun mekanikal distilasi bioetanol Nira Aren yang terbukti fungsional secara *batch*, namun terkendala instabilitas suhu dan penurunan kualitas produk akibat ketergantungan pada metode kendali manual (*open-loop*). Meninjau keterbatasan fungsionalitas kendali manual (*open-loop*) pada rancang bangun sebelumnya, maka transisi menuju otomatisasi sistem kendali tertutup (*closed-loop control*) menjadi sebuah keharusan mutlak (Tanaiyo et al., 2022b).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan perancangan alat distilasi metanol-air yang tidak hanya berfokus pada proses pemisahan, tetapi juga dilengkapi dengan sistem kontrol dan monitoring. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada rancang bangun sistem kontrol dan monitoring alat distilasi metanol-air berbasis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PLC. Pada alat tersebut, variabel suhu di tangki *boiler* akan dikontrol menggunakan metode PI dengan *Anti-Windup* agar dapat menghasilkan metanol dengan nilai densitas sebesar 0,7918 g/mL dan kadar alkohol 45-85%. Pencapaian target ini diharapkan menjadi tolok ukur peningkatan efisiensi pemisahan metanol dibandingkan dengan capaian pada penelitian-penelitian terdahulu, berikut dengan menambahkan sistem monitoring berbasis HMI untuk pengoperasian alat yang lebih optimal. Bahan baku proses distilasi ini adalah rasio metanol-air sebesar 1:1, dan untuk melakukan pengukuran nilai distilasi metanol ini menggunakan piknometer, lalu untuk kadar alkohol menggunakan alat alkoholmeter.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang sebelumnya, maka dapat dirumuskan beberapa masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana cara merancang alat distilasi metanol-air untuk memisahkan metanol dan air dengan nilai densitas sebesar $\leq 0,7918$ g/mL dan kadar 45% - 85% alkohol dari tangki *boiler* pada Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Alat Distilasi Metanol-Air Berbasis PLC?
2. Bagaimana merancang sistem pengendalian suhu tangki *boiler* menggunakan metode PI *anti-windup* pada Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Alat Distilasi Metanol-Air Berbasis PLC?
3. Bagaimana mengintegrasikan pemrograman sistem pengendalian suhu tangki *boiler* menggunakan metode PI *anti-windup* pada Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Alat Distilasi Metanol-Air Berbasis PLC dengan *software* GX Works 2?

1.2 Batasan Masalah

Dalam penyusunan penelitian ini, ditetapkan batasan masalah guna memastikan pembahasan lebih terfokus dan terarah. Batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Hanya melakukan perhitungan sederhana terhadap perancangan mekanis dan proses yang terjadi pada tangki *boiler* distilasi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Pembahasan berfokus kepada pengontrolan suhu cairan bahan baku menggunakan metode PI *anti-windup* pada tangki *boiler* distilasi metanol-air.
3. Parameter yang dibaca pada alat ini adalah suhu pada tangki *boiler*.
4. Sistem berjalan berdasarkan waktu selama 25 menit setelah suhu mencapai *setpoint*.
5. Menggunakan sensor suhu RTD PT-100.
6. Sensor *float switch* hanya membaca batas bawah ketinggian cairan bahan baku sebagai sistem *safety* batas minimum ketinggian kerja alat.
7. Tangki kondensor hanya dikontrol secara on/off untuk menyalakan kipas dan pompa.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu merancang alat distilasi metanol-air untuk untuk memisahkan metanol dan air dengan nilai densitas sebesar $\leq 0,7918$ g/mL dan kadar 45% - 85% alkohol dari tangki *boiler* pada Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Alat Distilasi Metanol-Air Berbasis PLC.
2. Mampu merancang sistem pengendalian suhu tangki *boiler* menggunakan metode PI *anti-windup* pada Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Alat Distilasi Metanol-Air Berbasis PLC.
3. Mampu mengintegrasikan pemrograman sistem pengendalian suhu tangki *boiler* menggunakan metode PI *anti-windup* pada Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Alat Distilasi Metanol-Air Berbasis PLC dengan *software* GX Works 2.

1.4 Luaran

Luaran yang diharapkan dari pembuatan penelitian untuk tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Laporan Tugas Akhir
2. Publikasi jurnal

3. Purwarupa Model Sistem Kontrol dan Monitoring Alat Distilasi Metanol-Air Berbasis PLC



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan sebagai berikut.

- Alat distilasi metanol-air untuk memisahkan campuran dengan kadar awal 45%–85% dan densitas $\leq 0,7918$ g/mL berhasil dirancang menggunakan tangki *boiler* dengan pemanas utama berupa *burner* yang dikendalikan oleh motor *stepper* sebagai pengatur katup gas. Sistem ini terbukti efektif menjaga kualitas produk akhir, di mana pengujian dengan sistem kendali optimal mampu menghasilkan kadar alkohol mencapai 76,967% dengan densitas 0,770 g/mL pada kondisi suhu *boiler* yang stabil selama 25 menit atau 1500 detik.
- Sistem pengendalian suhu tangki *boiler* berhasil dirancang melalui pemodelan FOPDT (*First Order Plus Dead Time*) dan metode *tuning* SIMC-PI yang menghasilkan parameter $K_c = 0,0554$ dan $T_i = 172,5$. Modifikasi kompensasi *anti-windup* dengan parameter $K_b = 0,00579$ dan $T_t = 172,5$ terbukti efektif mengatasi saturasi *integral*. Pada *setpoint* 80°C, sistem menghasilkan respons transien dengan *delay time* 10 menit 23 detik atau 626 detik, *peak time* 49 menit 46 detik atau 2985,57 detik, dan *settling time* 23 menit 32 detik atau 1412 detik. Metode *anti-windup* ini mampu meredam *overshoot* menjadi 2,73% dan mempertahankan *steady-state error* sebesar 2,18, jauh lebih stabil dibandingkan SIMC - PI konvensional.
- Integrasi pemrograman kendali suhu SIMC-PI *anti-windup* berhasil diimplementasikan menggunakan *software* GX Works 2 pada platform Mitsubishi dengan bahasa *ladder diagram* dan *function block*. Fitur keselamatan proses seperti batas suhu maksimum dan *float switch* juga telah diintegrasikan ke dalam logika program. Sistem ini terhubung dengan antarmuka HMI dan SCADA Haiwell Cloud, sehingga proses pemantauan dan pengendalian dapat berjalan secara otomatis, responsif, dan *real-time*.



5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan berikut saran untuk pengembangan sistem pengendalian suhu pada tangki *boiler* distilasi metanol-air:

- Penggunaan aktuator motor *stepper* yang memiliki sensor posisi perlu diterapkan untuk mengetahui posisi aktual putaran motor *stepper* agar dapat mengatur besar kecilnya api *burner* lebih konsisten.
- Perlu adanya *fine tuning* pada metode kontrol untuk mendapat hasil yang lebih optimal.
- Perlunya pengendalian tekanan gas menuju *burner* untuk mendapat kendali aktuator untuk besar api pada *burner* yang lebih konsisten dan optimal.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





DAFTAR PUSTAKA

- Agung Fadhillah. (2025). *OPTIMASI KINERJA MESIN KENDARAAN BERBAHAN BAKAR GAS LPG DENGAN VARIASI TEKANAN KELUAR GAS DAN WAKTU PENGAPIAN* [Doctoral, UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA]. <http://repository.unj.ac.id/58297/>
- Anam, K., & Rodli, A. F. (2022). Automatic Water Level Control Tandon Air Berbasis Arduino Uno. *BIOS: Jurnal Teknologi Informasi Dan Rekayasa Komputer*, 3(1), 17–22. <https://doi.org/10.37148/bios.v3i1.38>
- Andreas Sidabutar, 1803431023. (2022). *Sistem Kontrol Kelembaban pada Kumbung Jamur Tiram Berbasis PID* [Other, Politeknik Negeri Jakarta]. <https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/7027/>
- Anissa Milenia Ramadhanty. (2021). *Sistem Pengaturan Level Tangki Terhadap Laju Aliran Air pada Sistem Pengolahan Air* [Other, Politeknik Negeri Jakarta]. <https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/527/>
- Apriyanto, H. (2015). Rancang Bangun Pintu Air Otomatis Menggunakan Water Level Float Switch Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi Dan Komputer)*, 4(1), 22–27. <https://doi.org/10.32736/sisfokom.v4i1.132>
- Arman, M., Prasetya, A., & Sihana. (2014). DESAIN SISTEM INSTRUMENTASI PROSES DISTILASI FRAKSINASI BATCH BERBASIS KENDALI SUHU. *ASEAN Journal of Systems Engineering (AJSE)*, 2(2).
- Åström, K. J., & Hägglund, T. (1995). *PID controllers: Theory, design, and tuning* (2. ed). Instrument Society of America.
- Bahriawan, F., Murtono, A., & Budi, E. S. (2024a). Sistem Kendali Suhu Pada Proses Destilasi Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang. *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 3(1), 16–22. <https://doi.org/10.33379/metrotech.v3i1.3567>
- Bahriawan, F., Murtono, A., & Budi, E. S. (2024b). Sistem Kendali Suhu Pada Proses Destilasi Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang. *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 3(1), 16–22. <https://doi.org/10.33379/metrotech.v3i1.3567>

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Bastomi, M., Faisal, M., & Asrul. (2023). Rancang Bangun Burner Peleburan Logam Tipe Gun Berbahan Bakar Liquified Petroleum Gas (LPG). *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 13, 87–91. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v13i2.5286>
- Cheng, J. J., & Timilsina, G. R. (2011). Status and barriers of advanced biofuel technologies: A review. *Renewable Energy*, 36(12), 3541–3549. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.04.031>
- Dalena, F., Senatore, A., Basile, M., Knani, S., Basile, A., & Iulianelli, A. (2018). Advances in Methanol Production and Utilization, with Particular Emphasis toward Hydrogen Generation via Membrane Reactor Technology. *Membranes*, 8(4), 98. <https://doi.org/10.3390/membranes8040098>
- Dinny Rahmayanti, 2002321023. (2024). *ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA HEAT EXCHANGER BERTIPE SHELL AND TUBE PADA NAPHTHA HYDROTREATING UNIT DI PT. X* [D4, Politeknik Negeri Jakarta]. <https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/22377/>
- Eviolina, P. V., Kristyawan, Y., & Prihartono, E. (2025). Sistem Deteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis Arduino di Universitas Dr. Soetomo Surabaya. *Router : Jurnal Teknik Informatika Dan Terapan*, 3(2), 184–196. <https://doi.org/10.62951/router.v3i2.620>
- Fadilla Vikry Akbar, 2103431021. (2025). *Sistem Pengendalian Suhu dan Tekanan Tangki Boiler Menggunakan Metode Cascade Control Pada Alat Destilasi Bioetanol Berbasis PLC* [D4, Politeknik Negeri Jakarta]. <https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/28271/>
- Fitriah, F., & Sari, D. A. (2023). Optimization of distillation column reflux ratio for distillate purity and process energy requirements. *International Journal of Basic and Applied Science*, 12(2), 72–81. <https://doi.org/10.35335/ijobas.v12i2.260>
- Frank D. Petruzella. (2023). *ISE Programmable Logic Controllers [6 ed.] 1265150494, 9781265150495*. (6th ed.). McGraw Hill LLC.
- Grimholt, C., & Skogestad, S. (2018). Optimal PI and PID control of first-order plus delay processes and evaluation of the original and improved SIMC



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- rules. *Journal of Process Control*, 70, 36–46.
<https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2018.06.011>
- Gunterus, Frans. (1994). *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta : PT. Elex Media Komputindo.
- Hughes, A., & Drury, B. (2019). *Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications* (5th edition). Newness.
- Johan, K., & Murray, R. M. (2021). *An Introduction for Scientists and Engineers*.
- Kirk, F. W. (2020). *Instrumentation and Process Control*. Franklyn W.
<https://www.abebooks.com/9780826934420/Instrumentation-Process-Control-Kirk-Franklyn-0826934420/plp>
- Luyben, W. L. (2006). *Distillation Design and Control Using Aspen™ Simulation* (1st ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/0471785253>
- Markaroglu, H., Guzelkaya, M., Eksin, I., & Yesil, E. (2006). Tracking Time Adjustment In Back Calculation Anti-Windup Scheme. *ECMS 2006 Proceedings Edited by: W. Borutzky, A. Orsoni, R. Zobel*, 613–618.
<https://doi.org/10.7148/2006-0613>
- Prihantoro, B. (2020). Implementasi Kontrol Suhu pada Proses Penyulingan Pembuatan Bioetanol Berbahan Ecenggondok Menggunakan Fuzzy Logic. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 7(1).
<https://jurnal.polinema.ac.id/index.php/elkolind/article/view/4312>
- Prihantoro, B., Safitri, H. K., & Subali, T. (2021). Implementasi Kontrol Suhu pada Proses Penyulingan Pembuatan Bioetanol Berbahan Ecenggondok Menggunakan Fuzzy Logic. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 7(1), 10. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v7i1.174>
- Putra, A. A., Rifai, M., & Safitri, H. K. (2024). IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL PENGGERAK MOTOR STEPPER PADA PROSES MOLDING MICROPLASTIC BERBASIS PID MENGGUNAKAN PLC DAN ARDUINO. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1).
<https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3601>
- Setiawan, B., Purwanti, D. N., & Dewatama, D. (2023). Kontrol Resume pada Mesin 3D Printer 2Å—2Å—2 Meter berbasis MCU Bigtree. *ELKOMIKA*:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 11(2), 337. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i2.337>

Shamsul, N. S., Kamarudin, S. K., Rahman, N. A., & Kofli, N. T. (2014). An overview on the production of bio-methanol as potential renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 578–588. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.024>

Sinuraya, K. E., Sinaga, D. J., Wahyudi, D., & Simarmata, J. P. (2025). Analisis Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Penyearah Terkendali Berbasis Simulasi MATLAB/Simulink. *JOURNAL SAINS STUDENT RESEARCH*, 3(6), 857–863. <https://doi.org/10.61722/jssr.v3i6.6903>

Suharyati, Wardoyo, A. S., Jibril, R., & Afsari, A. A. (2025). Rancang bangun wiring dan program untuk sistem kendali pada motor stepper. *Jurnal Instrumentasi Dan Teknologi Informasi (JITI)*, 6(2), 140–150.

Syahrul. (2016). MOTOR STEPPER: TEKNOLOGI, METODA DAN RANGKAIAN KONTROL. *Majalah Ilmiah UNIKOM*, Volume. <http://jurnal.unikom.ac.id/jurnal/motor-stepper-teknologi.c>

Tanaiyo, D., Antu, E. S., & Akuba, S. (2022a). Rancang Bangun Alat Destilasi Bioetanol Berbahan Dasar Nira Aren. *JTPG (Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo)*, 7(1), 22–26. <https://doi.org/10.30869/jtpg.v7i1.905>

Tanaiyo, D., Antu, E. S., & Akuba, S. (2022b). Rancang Bangun Alat Destilasi Bioetanol Berbahan Dasar Nira Aren. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)*, 7(1), 22–26. <https://doi.org/10.30869/jtpg.v7i1.905>

Wahid, A., & Rikimata, M. (2021a). Methanol–Water Purification Control Using Multi-Loop PI Controllers Based on Linear Set Point and Disturbance Models. *ChemEngineering*, 5(4), 70. <https://doi.org/10.3390/chemengineering5040070>

Wahid, A., & Rikimata, M. (2021b). Methanol–Water Purification Control Using Multi-Loop PI Controllers Based on Linear Set Point and Disturbance Models. *ChemEngineering*, 5(4), 70. <https://doi.org/10.3390/chemengineering5040070>



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Yuda, Y. P. (2019). *ANALISA PENGARUH PID PADA PENGENDALI MRAC DENGAN PENAMBAHAN NILAI GAMMA PADA SISTEM PENDINGIN JAMUR MERANG UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR.*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis



Penulis bernama lengkap Muhammad Rabbani Haswi, anak keempat dari empat bersaudara. Lahir di Jakarta, 15 April 2003. Latar belakang pendidikan formal penulis adalah sekolah dasar di SDN Ujung Menteng 01 Pagi lulus pada tahun 2015. Melanjutkan ke sekolah menengah pertama di SMP Negeri 193 Jakarta lulus pada tahun 2018. Kemudian melanjutkan sekolah menengah di SMK Negeri 26 Jakarta lulus pada tahun 2022.

Lalu penulis melanjutkan studi ke jenjang perkuliahan Sarjana Terapan (S.Tr) di Politeknik Negeri Jakarta jurusan Teknik Elektro program studi Instrumentasi dan Kontrol Industri sejak tahun 2022. Penulis dapat dihubungi melalui Email: rabbanihaswi15@gmail.com

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Alat Distilasi Metanol-Air



Panel Kontrol



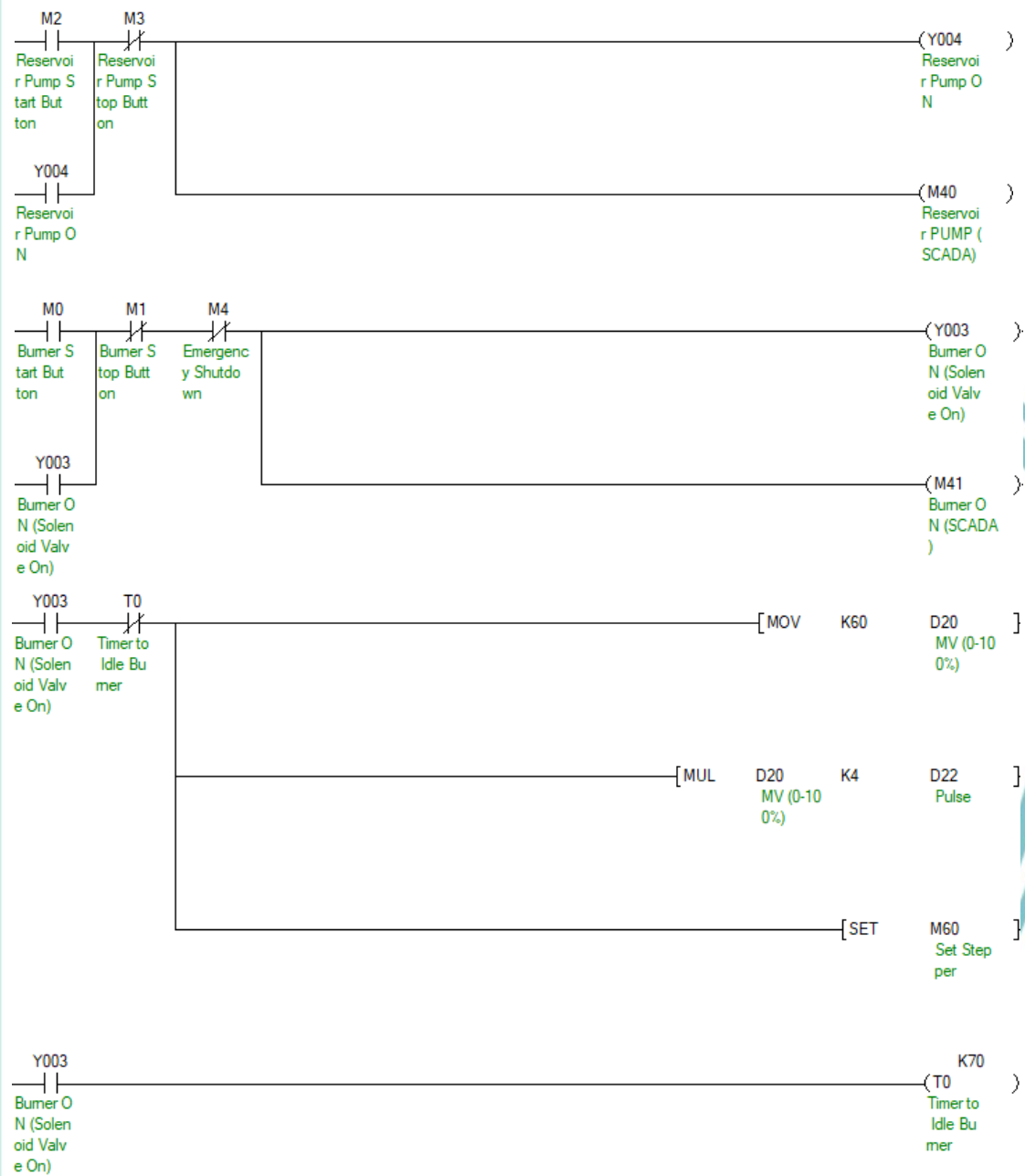
Lampiran 2 Dokumentasi Alat

Wiring Panel Kontrol



Lampiran 3 Program *Ladder* PLC

Program Ladder Sekuensial (1)

**Hak Cipta :**

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

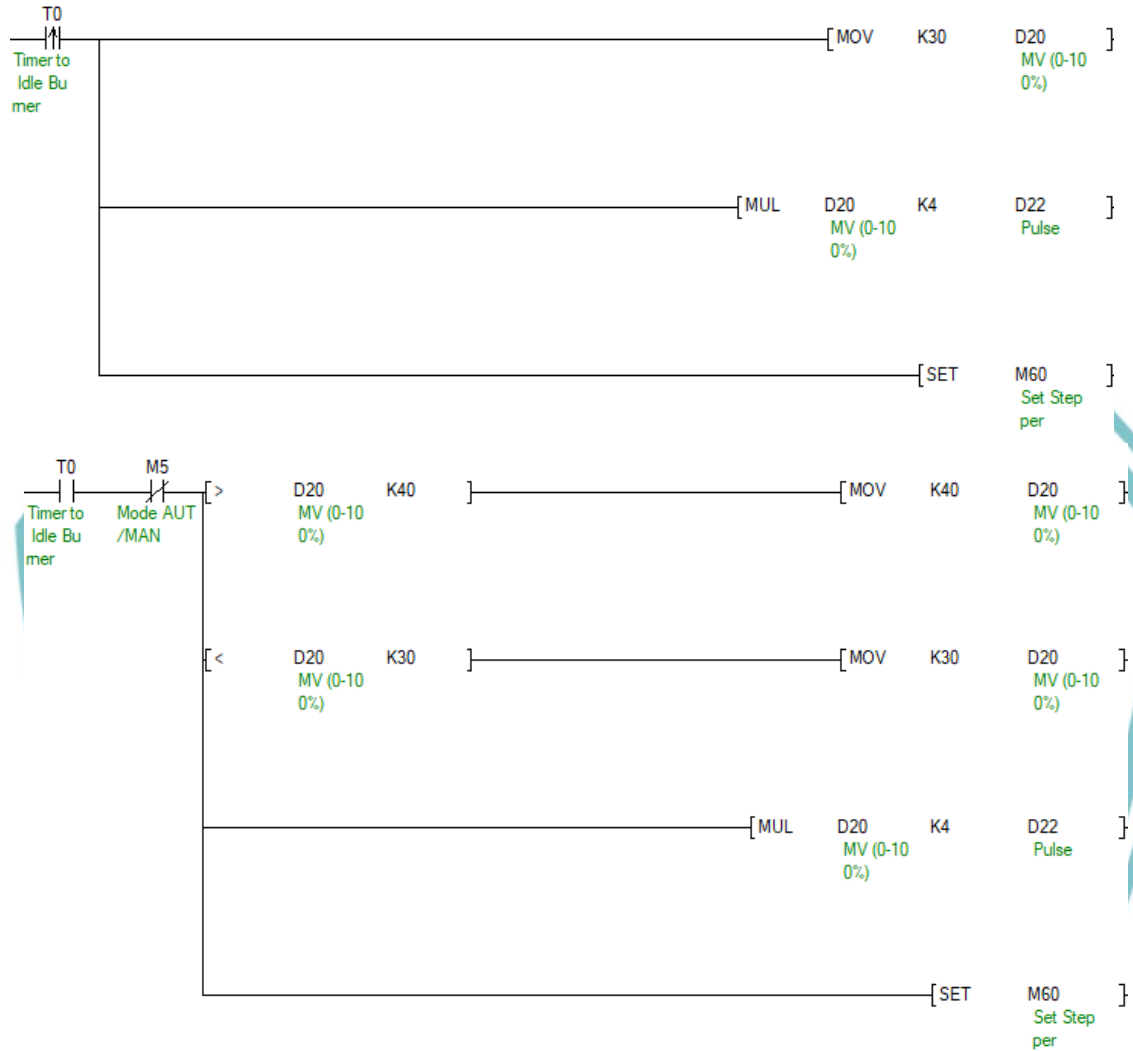
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Lampiran 4 Lanjutan 1 Program *Ladder* PLC

Program Ladder Sekuensial dan Penskalaan Motor *Stepper* (2)



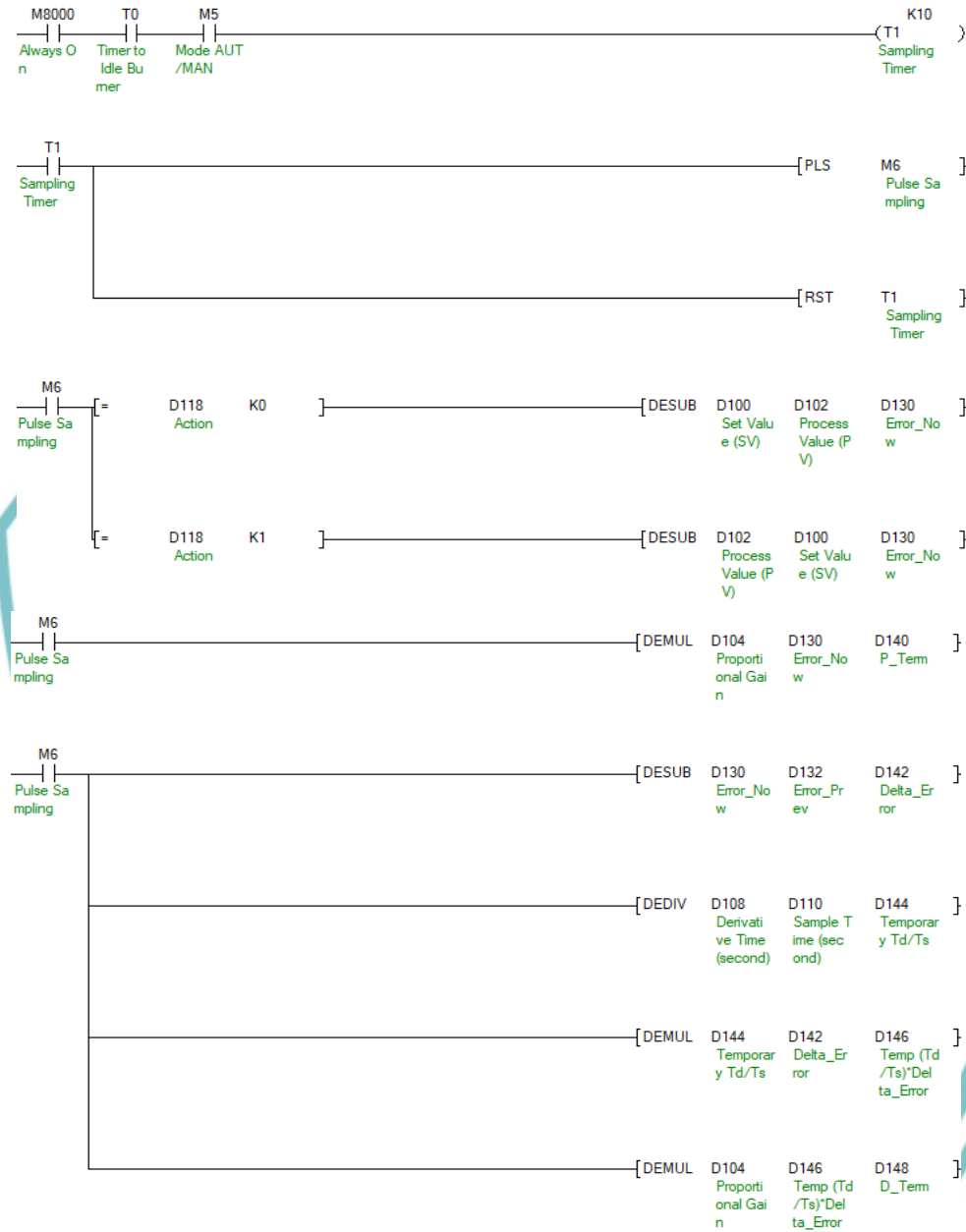
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 5 Lanjutan 2 Program *Ladder* PLC

Program Ladder Kontrol PID (1)



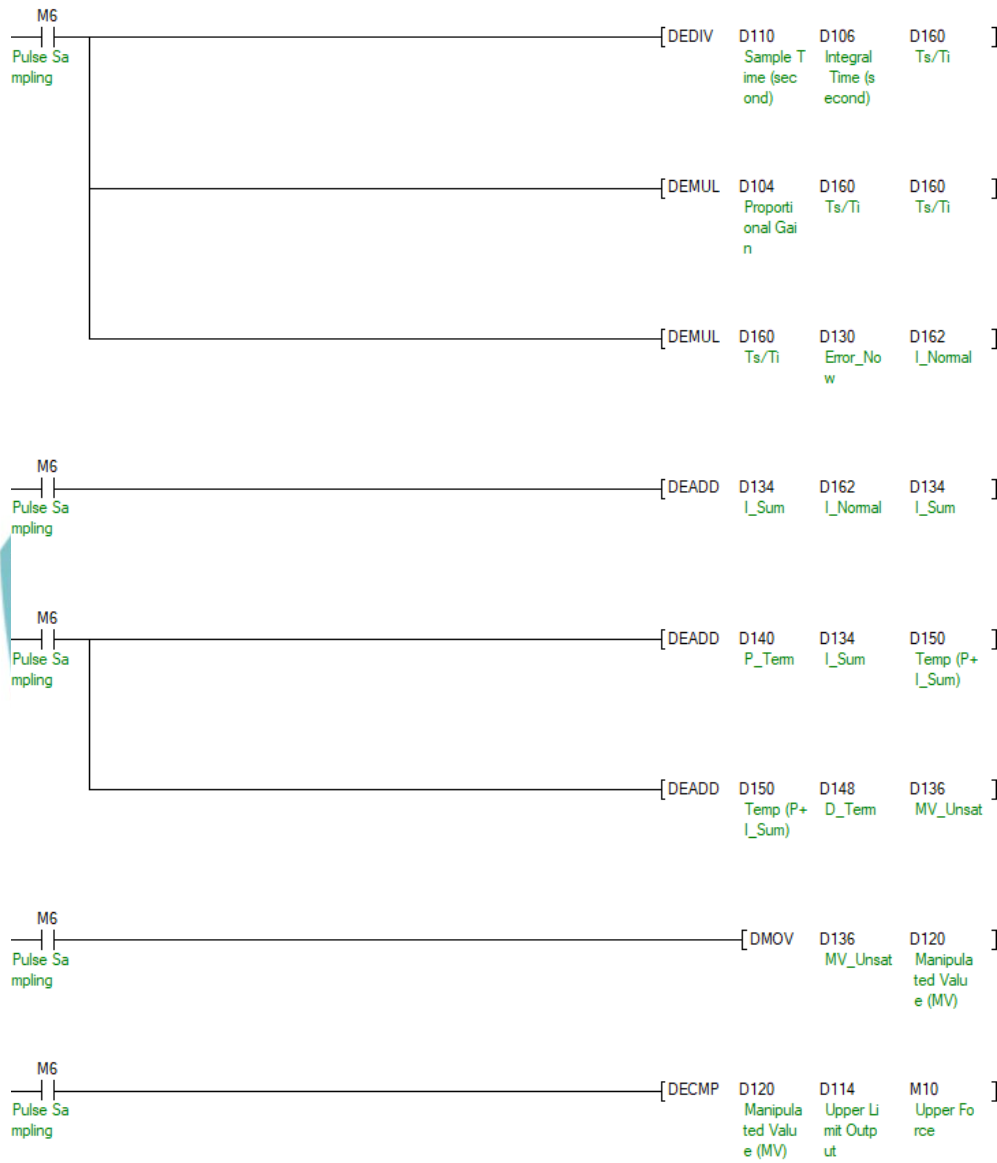
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 6 Lanjutan 3 Program *Ladder* PLC

Program Ladder Kontrol PID (2)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

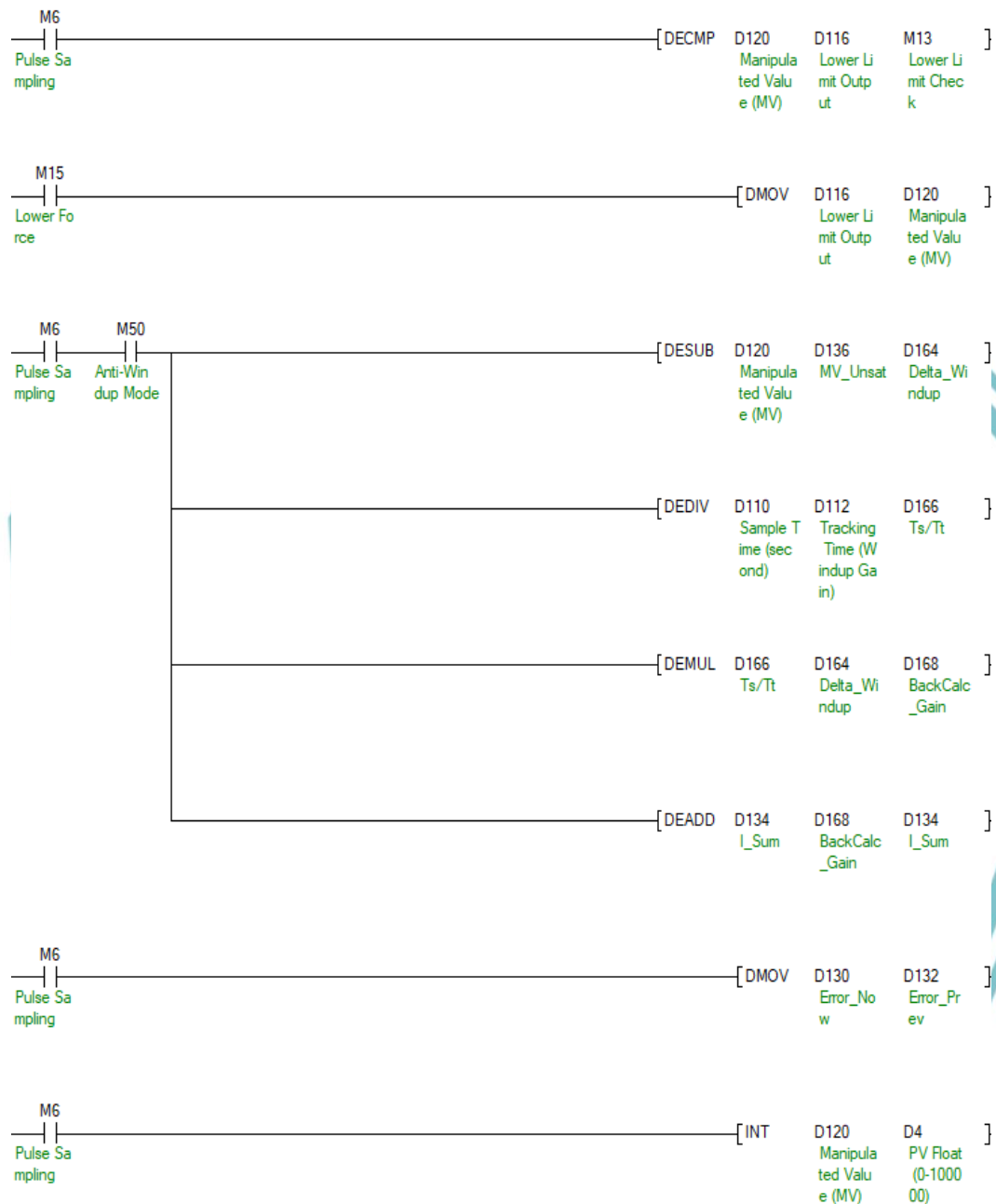


Lampiran 7 Lanjutan 4 Program *Ladder* PLC

Program Kontrol PID *Anti-Windup* (3)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



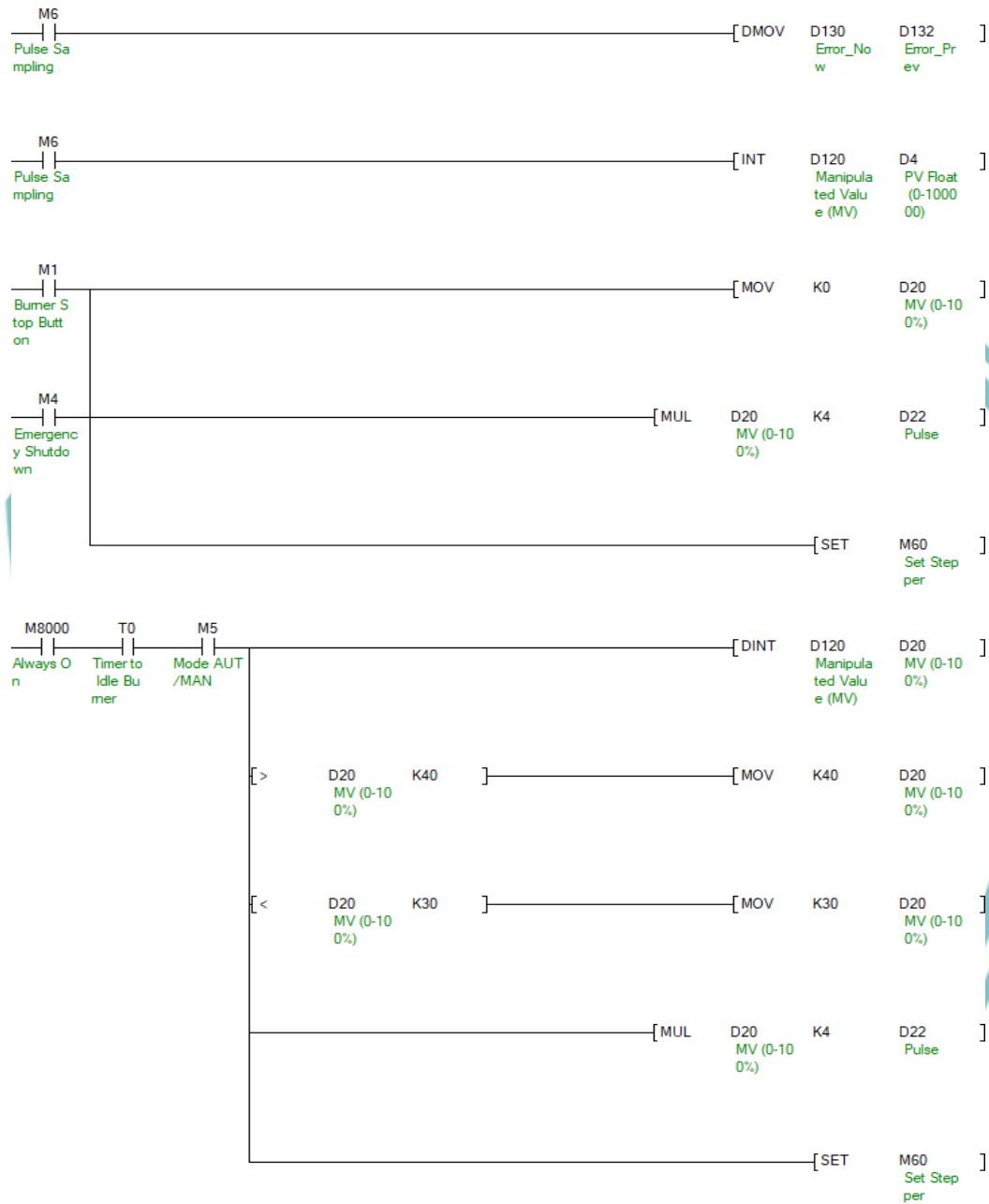


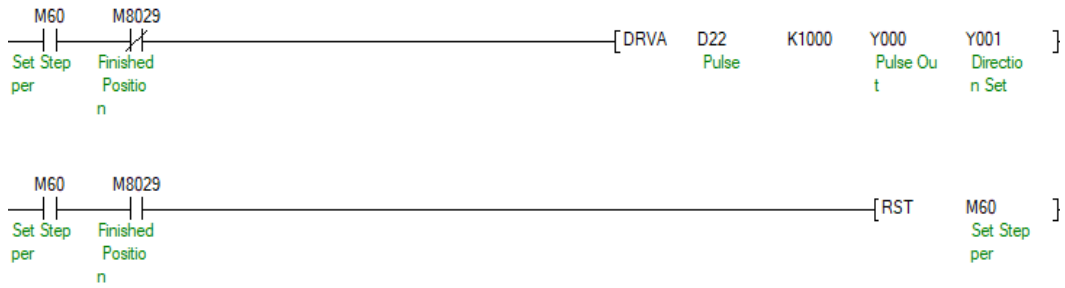
Lampiran 8 Lanjutan 5 Program *Ladder* PLC

Program Kontrol PID (4)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 9 Lanjutan 6 Program *Ladder* PLCProgram Kontrol Pulsa Motor *Stepper*

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Lampiran 10 Program Simulasi Respons Transien

Program Simulasi Respons Transien Suhu

```
% Definisi Parameter FOPDT
K = 4.4875;
tau = 172.5;
theta = 347.5;
% Membuat variabel Laplace 's' dan Transfer Function
s = tf('s');
G = K / (tau*s + 1);
G.InputDelay = theta;
% Menentukan Batas Waktu (0 hingga 3000 detik)
t = 0:1:3000;
% Menghitung Respon Sistem (Output) berdasarkan vektor waktu 't'
[y, t] = step(G, t);
% Membuat Data Sinyal Step Input
u = ones(size(t));
% PERHITUNGAN PARAMETER
info = stepinfo(y, t);
% Menghitung Steady State Error
y_steady = y(end);
Ess = 1 - y_steady;
% Menghitung Delay Time (50% dari nilai steady state)
idx_delay = find(y >= 0.5 * y_steady, 1);
delay_time = t(idx_delay);
% Proses Plotting Grafik
figure;
plot(t, u, 'r--', 'LineWidth', 2); % Plot Step Input
hold on;
plot(t, y, 'b-', 'LineWidth', 2); % Plot Respon FOPDT
hold off;
% Mengatur Tampilan Grafik & Batas Axis
title('Transfer Function Suhu');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitudo');
xlim([0 3000]);
ylim([0 1.2]);
legend('Step', 'Gain Process Suhu', 'Location', 'northeast');
grid on;
% 8. MEMBUAT TEXT BOX PARAMETER
box_str = { ...
    sprintf('Rise Time      : %.2f s', info.RiseTime), ...
    sprintf('Delay Time     : %.2f s', delay_time), ...
    sprintf('Peak Time      : %.2f s', info.PeakTime), ...
    sprintf('Overshoot       : %.2f %%', info.Overshoot), ...
    sprintf('Settling Time    : %.2f s', info.SettlingTime), ...
    sprintf('Steady-State Err: %.4f', Ess) ...
};

text(0.60, 0.15, box_str, ...
    'Units', 'normalized', ...
    'FontName', 'Courier', ...
    'FontSize', 10, ...
    'Color', 'k', ...
    'BackgroundColor', 'w', ...
    'EdgeColor', [0.3 0.3 0.3], ...
    'LineWidth', 1, ...
    'Margin', 10);
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 11 Program Simulasi Kontrol SIMC-PI

Program Simulasi Kontrol SIMC-PI (1)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
% Definisi Parameter FOPDT
K = 4.4875;
tau = 172.5;
theta = 347.5;
% Parameter Tuning SIMC-PI
tau_c = theta;
Kc = (1 / K) * (tau / (tau_c + theta));
tau_i = min(tau, 4 * (tau_c + theta));
% Batas sinyal kontrol (Aktuator) - Dipertahankan untuk melihat efek Windup
U_max = 1.0;
U_min = 0.0;
% Menampilkan nilai parameter hasil tuning di Command Window
fprintf('Parameter Tuning SIMC:\n');
fprintf('Kc = %.4f\n', Kc);
fprintf('tau_i = %.2f\n', tau_i);
% Pengaturan Waktu Simulasi Diskrit
dt = 1; % Waktu sampling 1 detik
t = 0:dt:3500; % Simulasi hingga 3500 detik
N = length(t);
delay_samples = round(theta / dt); % Konversi waktu tunda ke sampel
% Inisialisasi Variabel Simulasi
SP = ones(1, N); % Setpoint (Step input = 1)
y = zeros(1, N); % Respons Sistem (Suhu)
e = zeros(1, N); % Error
u_unsat = zeros(1, N); % Sinyal kontrol sebelum saturasi
u_sat = zeros(1, N); % Sinyal kontrol setelah saturasi (Aktual)
% Parameter Diskrit Plant FOPDT (ZOH)
a = exp(-dt / tau);
b = K * (1 - a);
u_I = 0; % Nilai awal Integral
% LOOP SIMULASI KONTROL (Diskrit)
for k = 2:N
    % Menghitung Error
    e(k) = SP(k) - y(k-1);
    % Kontrol Proporsional
    u_P = Kc * e(k);
    % Perhitungan Integral Murni (TANPA Anti-Windup)
    u_I = u_I + (Kc * dt / tau_i) * e(k);
    % Output Kontrol PI (Belum tersaturasi)
    u_unsat(k) = u_P + u_I;
    % Pembatasan Sinyal Kontrol (Saturasi Aktuator)
    u_sat(k) = max(U_min, min(U_max, u_unsat(k)));
    % Simulasi Plant dengan Delay
    if k > delay_samples + 1
        u_delayed = u_sat(k - delay_samples - 1);
    else
        u_delayed = 0;
    end
    % Pembaruan Output Plant (Difference Equation FOPDT)
    y(k) = a * y(k-1) + b * u_delayed;
end
% PERHITUNGAN PARAMETER KINERJA (Closed-Loop)
info = stepinfo(y, t, SP(end));
y_steady = y(end);
ESS = SP(end) - y_steady;
% Menghitung Delay Time
idx_delay = find(y >= 0.5 * y_steady, 1);
if ~isempty(idx_delay)
    delay_time = t(idx_delay);
else
    delay_time = 0;
end
% Proses Plotting Grafik
figure('Name', 'SIMC-PI Tanpa Anti-Windup', 'Position', [100, 100, 800, 500]);
% Plot Respons Sistem FOPDT
plot(t, SP, 'r--', 'Linewidth', 2); hold on;
plot(t, y, 'b-', 'Linewidth', 2); hold off;
% Mengatur Tampilan Grafik
title('Closed-Loop Response: Suhu dengan SIMC-PI (Tanpa Anti-Windup)');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitudo');
xlim([0 3500]);
ylim([0 1.2]);
legend('Setpoint', 'Process Variable (y)', 'Location', 'northeast');
```

Lampiran 12 Lanjutan Program Simulasi Kontrol SIMC-PI

Program Simulasi Kontrol SIMC-PI (2)

```

grid on;
% MEMBUAT TEXT BOX PARAMETER
box_str = { ...
    sprintf('Rise Time      : %.2f s', info.RiseTime), ...
    sprintf('Delay Time    : %.2f s', delay_time), ...
    sprintf('Peak Time     : %.2f s', info.PeakTime), ...
    sprintf('Overshoot     : %.2f %%', info.Overshoot), ...
    sprintf('Settling Time  : %.2f s', info.SettlingTime), ...
    sprintf('Steady-State Err: %.4f', Ess), ...
};
% Posisi text box
text(0.58, 0.12, box_str, ...
    'Units', 'normalized', ...
    'FontName', 'Courier', ...
    'FontSize', 10, ...
    'Color', 'k', ...
    'BackgroundColor', 'w', ...
    'EdgeColor', [0.3 0.3 0.3], ...
    'LineWidth', 1, ...
    'Margin', 10);

```

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Lampiran 13 Program Simulasi Kontrol SIMC-PI *Anti-Windup*

Program Simulasi Kontrol SIMC-PI *Anti-Windup* (1)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
% Definisi Parameter FOPDT
K = 4.4875;
tau = 172.5;
theta = 347.5;
% Parameter Tuning SIMC-PI
tau_c = theta;
Kc = (1 / K) * (tau / (tau_c + theta));
tau_i = min(tau, 4 * (tau_c + theta));
% Parameter Anti-Windup (Back-calculation)
Tt = tau_i; % Tracking time constant
U_max = 1.0; % Batas maksimum sinyal kontrol (Aktuator)
U_min = 0.0; % Batas minimum sinyal kontrol
% Menampilkan nilai parameter hasil tuning di Command Window
fprintf('Parameter Tuning SIMC:\n');
fprintf('Kc = %.4f\n', Kc);
fprintf('tau_i = %.2f\n', tau_i);
% Pengaturan Waktu Simulasi Diskrit
dt = 1; % Waktu sampling 1 detik
t = 0:dt:3500; % Simulasi hingga 3500 detik
N = length(t);
delay_samples = round(theta / dt); % Konversi waktu tunda ke sampel
% Inisialisasi Variabel Simulasi
SP = ones(1, N); % Setpoint (Step input = 1)
y = zeros(1, N); % Respons Sistem (Suhu)
e = zeros(1, N); % Error
u_unsat = zeros(1, N); % Sinyal kontrol sebelum saturasi
u_sat = zeros(1, N); % Sinyal kontrol setelah saturasi (Aktual)
% Parameter Diskrit Plant FOPDT (ZOH)
a = exp(-dt / tau);
b = K * (1 - a);
u_I = 0; % Nilai awal Integral
% LOOP SIMULASI KONTROL (Diskrit)
for k = 2:N
    % Menghitung Error
    e(k) = SP(k) - y(k-1);
    % Kontrol Proporsional
    u_P = Kc * e(k);
    % Perhitungan Integral dengan Anti-Windup (Back-calculation)
    e_sat = u_sat(k-1) - u_unsat(k-1);
    u_I = u_I + (Kc * dt / tau_i) * e(k) + (dt / Tt) * e_sat;
    % Output Kontrol PI (Belum tersaturasi)
    u_unsat(k) = u_P + u_I;
    % Pembatasan Sinyal Kontrol (Saturasi Aktuator)
    u_sat(k) = max(U_min, min(U_max, u_unsat(k)));
    % Simulasi Plant dengan Delay
    if k > delay_samples + 1
        u_delayed = u_sat(k - delay_samples - 1);
    else
        u_delayed = 0;
    end
    % Pembaruan Output Plant (Difference Equation FOPDT)
    y(k) = a * y(k-1) + b * u_delayed;
end
% PERHITUNGAN PARAMETER KINERJA (Closed-Loop)
info = stepinfo(y, t, SP(end));
y_steady = y(end);
Ess = SP(end) - y_steady;
% Menghitung Delay Time (Waktu saat mencapai 50% dari steady state)
idx_delay = find(y >= 0.5 * y_steady, 1);
if ~isempty(idx_delay)
    delay_time = t(idx_delay);
else
    delay_time = 0; % Jika tidak pernah mencapai 50%
end
% Proses Plotting Grafik
figure('Name', 'SIMC-PI dengan Anti-Windup', 'Position', [100, 100, 800, 500]);
% Plot Respons Sistem FOPDT
plot(t, SP, 'r--', 'Linewidth', 2); hold on;
plot(t, y, 'b-', 'Linewidth', 2); hold off;
% Mengatur Tampilan Grafik
title('Closed-Loop Response: Suhu dengan SIMC-PI Anti-Windup Back Calculation');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitudo');
xlim([0 3500]);
```

Lampiran 14 Lanjutan Program Simulasi Kontrol SIMC-PI *Anti-Windup*Program Simulasi Kontrol SIMC-PI *Anti-Windup* (2)

```

ylim([0 1.2]);
legend('Setpoint', 'Process Variable (y)', 'Location', 'northeast');
grid on;
% MEMBUAT TEXT BOX PARAMETER
box_str = { ...
    sprintf('Rise Time      : %.2f s', info.RiseTime), ...
    sprintf('Delay Time    : %.2f s', delay_time), ...
    sprintf('Peak Time     : %.2f s', info.PeakTime), ...
    sprintf('Overshoot     : %.2f %', info.Overshoot), ...
    sprintf('Settling Time  : %.2f s', info.SettlingTime), ...
    sprintf('Steady-State Err: %.4f', Ess), ...
};
text(0.58, 0.12, box_str, ...
    'Units', 'normalized', ...
    'FontName', 'Courier', ...
    'FontSize', 10, ...
    'Color', 'k', ...
    'BackgroundColor', 'w', ...
    'EdgeColor', [0.3 0.3 0.3], ...
    'LineWidth', 1, ...
    'Margin', 10);

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

