



© 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



IMPLEMENTASI KENDALI PROPORSIONAL SUHU CHILLER TERMOELEKTRIK PADA MINIATUR HVAC MENGGUNAKAN INTEGRASI ESP32 DAN PLC

SKRIPSI

Ahmad Robi Fatahilah

2203411034

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

PROGRAM STUDI TEKNIK OTOMASI LISTRIK 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



IMPLEMENTASI KENDALI PROPORSIONAL SUHU CHILLER TERMOELEKTRIK PADA MINIATUR HVAC MENGGUNAKAN INTEGRASI ESP32 DAN PLC

SKRIPSI

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Ahmad Robi Fatahilah

2203411034

PROGRAM STUDI TEKNIK OTOMASI LISTRIK INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ahmad Robi Fatahilah
NIM : 2203411034

Tanda Tangan : 

Tanggal : 29 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 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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan oleh :
Nama : Ahmad Robi Fatahilah
NIM : 2203411034
Program Studi : Teknik Otomasi Listrik Industri
Judul Tugas Akhir : Implementasi Kendali Proporsional Suhu Chiller Termoelektrik Pada Miniatur HVAC Menggunakan Integrasi ESP32 dan PLC

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada
Senin, 29 Juni 2026 dan dinyatakan LULUS.

Pembimbing I : Arum Kusuma Wardhany, S.T., M.T.
(NIP. 199107132020122013)

Pembimbing II : Hatib Setiana, S.T., M.T.
(NIP. 199204212022031007)

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 15 Juli 2026

Disahkan oleh
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyanti, S. T., M. T.
(NIP. 197803312003122002)



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

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Penulisan Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Terapan Politeknik. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang tidak pernah lelah memberikan dukungan moral, doa yang tiada henti, serta fasilitas agar penulis dapat fokus dan lancar dalam menyelesaikan pendidikan.
2. Ibu Arum Kusuma Wardhany, S.T., M.T., dan Bapak Hatib Setiana, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah sabar meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk terus memberikan arahan serta evaluasi kepada penulis dalam penyusunan Skripsi ini.
3. Segenap jajaran dosen, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan serta bantuan pelayanan selama masa perkuliahan.
4. Sahabat-sahabat dan rekan-rekan seperjuangan TOLI22B yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan mewarnai masa-masa perkuliahan.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 29 Juni 2026

Ahmad Robi Fatahilah



Implementasi Kendali Proporsional Suhu Chiller Termoelektrik Pada Miniatur HVAC Menggunakan Integrasi ESP32 dan PLC

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji miniatur chiller termoelektrik HVAC terintegrasi menggunakan kendali proporsional (P-Control) berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Schneider TM221CE16R dan mikrokontroler ESP32. Sistem mengadopsi arsitektur jaringan Modbus TCP/IP dengan ESP32 sebagai Master dan PLC sebagai Slave untuk transmisi data operasional secara real-time. Pengujian berfokus pada evaluasi latensi jaringan dan penentuan nilai penguatan proporsional (K_p) optimal dari empat variasi, yaitu $K_p = 5, 10, 15$, dan 20 , terhadap respons aktuasi elemen Peltier yang dikendalikan melalui Buck-Boost Converter dan Digital-to-Analog Converter (DAC) MCP4725. Hasil pengujian menunjukkan komunikasi Modbus beroperasi dengan tingkat kesesuaian 100%, tanpa kehilangan paket data, dan latensi rata-rata berkisar antara 10–14 milidetik. Keterbatasan perangkat keras berupa pemutusan daya otomatis (cut-off 0,00 V) teridentifikasi pada rentang instruksi DAC 3000–3247 akibat karakteristik ambang batas sinyal referensi minimum pada sirkuit internal modul Buck-Boost Converter. Berdasarkan analisis rentang kendali efektif dan sensitivitas DAC, $K_p = 10$ terbukti paling optimal dengan sensitivitas 410 langkah/ $^{\circ}\text{C}$. $K_p = 5$ (205 langkah/ $^{\circ}\text{C}$) menghasilkan respons aktuasi terlalu kecil sehingga sistem kurang responsif meskipun memiliki rentang kendali terlebar sebesar 5,48 $^{\circ}\text{C}$. Sebaliknya, $K_p = 15$ (614 langkah/ $^{\circ}\text{C}$) dan $K_p = 20$ (819 langkah/ $^{\circ}\text{C}$) terlalu agresif sehingga menyebabkan penurunan tegangan secara mendadak. $K_p = 10$ memberikan keseimbangan optimal dengan laju penurunan tegangan yang mulus dan rentang error memadai sebesar 2,12 $^{\circ}\text{C}$ sebelum cut-off, sehingga sistem beroperasi proporsional, stabil, dan terhindar dari risiko thermal stress.

Kata Kunci: Chiller Termoelektrik; ESP32; Kendali Proporsional; Modbus TCP/IP; 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



Implementation of Proportional Temperature Control for Thermoelectric Chiller on a Miniature HVAC System Using ESP32 and PLC Integration

ABSTRACT

This study aims to design and test an integrated thermoelectric HVAC miniature chiller using Proportional Control (P-Control) based on the Schneider TM221CE16R Programmable Logic Controller (PLC) and an ESP32 microcontroller. The system adopts a Modbus TCP/IP network architecture with ESP32 as Master and PLC as Slave for real-time operational data transmission. Testing focused on network latency evaluation and determination of the optimal proportional gain (K_p) from four variations $K_p = 5, 10, 15$, and 20 for the actuation response of the Peltier element controlled via a Buck-Boost Converter and an MCP4725 Digital-to-Analog Converter (DAC). Results showed that Modbus communication operated at 100% conformity with zero packet loss and an average latency ranging from 10 to 14 milliseconds. A hardware limitation in the form of an automatic power cut-off (0.00 V) was identified within the DAC instruction range of $3,000$ to $3,247$, caused by the minimum reference signal threshold of the Buck-Boost Converter's internal comparator circuit. Based on effective control range and DAC sensitivity analysis, $K_p = 10$ proved most optimal at $410\text{ steps}/^\circ\text{C}$. $K_p = 5$ ($205\text{ steps}/^\circ\text{C}$) produced excessively small actuation changes, making the system insufficiently responsive despite having the widest control range of 5.48°C . Conversely, $K_p = 15$ ($614\text{ steps}/^\circ\text{C}$) and $K_p = 20$ ($819\text{ steps}/^\circ\text{C}$) were overly aggressive, causing sudden voltage drops that risk inducing thermal stress on the Peltier elements. $K_p = 10$ delivered the best balance with a smooth voltage reduction rate and an adequate error margin of 2.12°C before cut-off, enabling the system to operate proportionally, stably, and free from thermal stress risks.

Keywords: ESP32; Modbus TCP/IP; PLC; Proportional control; Thermoelectric chiller

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

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 ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Luaran	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Sistem HVAC	7
2.3 Chiller Termoelektrik	7
2.4 Sensor Suhu (DS18B20 dan DHT22)	9
2.5 Kendali Proporsional.....	10
2.6 Digital to Analog Converter (DAC) MCP4725	12
2.7 Buck-Boost Converter sebagai Aktuator Daya Analog.....	14
2.7.1 Prinsip Kerja Buck-Boost Converter	14
2.7.2 Regulasi Tegangan Linear sebagai Metode Aktuasi	15
2.7.3 Karakteristik Deadband dan Hardware Constraint	15
2.8 Mikrokontroler ESP32	16
2.9 Programmable Logic Controller (PLC)	17
2.10 Protokol Komunikasi Modbus TCP/IP	17
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI.....	19
3.1 Rancangan Alat	19



© 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

3.1.1 Deskripsi Alat.....	19
3.1.2 Cara Kerja Alat.....	21
3.1.2.1 Mode Auto dan Manual AHU	21
3.1.2.2 Mode Auto Chiller.....	23
3.1.2.3 Mode Manual Chiller	25
3.1.3 Desain Alat.....	26
3.1.3.1 Desain Layout Base Plate.....	27
3.1.3.2 Desain Layout Pintu Panel.....	28
3.1.3.3 Desain Wiring Power Supply	29
3.1.3.4 Desain Schematic PLC.....	31
3.1.3.5 Desain Schematic DPM	32
3.1.3.6 Desain Schematic HMI	34
3.1.3.7 Desain Wiring ESP32.....	35
3.1.3.8 Desain Arsitektur Sistem.....	37
3.1.3.9 Diagram Blok.....	39
3.1.4 Spesifikasi Alat	41
3.2 Realisasi Alat.....	45
3.2.1 Pemetaan I/O dan Register PLC	46
3.2.2 Konfigurasi Komunikasi Modbus TCP/IP	48
3.2.3 Algoritma Kendali Proporsional	50
BAB IV PEMBAHASAN.....	52
4.1 Pengujian Fungsional Integrasi PLC TM221CE16R dan ESP32	52
4.1.1 Deskripsi Pengujian	52
4.1.2 Prosedur Pengujian	52
4.1.3 Data Hasil Pengujian.....	53
4.2 Pengujian Waktu Tunda (Latency) Komunikasi Modbus TCP/IP	55
4.2.1 Deskripsi Pengujian	55
4.2.2 Prosedur Pengujian	56
4.2.3 Data Hasil Pengujian.....	57
4.3 Pengujian Linearitas DAC dan Buck-Boost Converter	59
4.3.1 Deskripsi Pengujian	59
4.3.2 Prosedur Pengujian	59



© 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

4.3.3 Data Hasil Pengujian.....	60
4.4 Pengujian Kendali Proporsional.....	64
4.4.1 Deskripsi Pengujian	64
4.4.2 Prosedur Pengujian	64
4.4.3 Data Hasil Pengujian.....	65
BAB V PENUTUP.....	68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	72
LAMPIRAN.....	73



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 GAMBAR

Gambar 2. 1 Thermoelectric Cooler.....	8
Gambar 2. 2 Sensor DS18B20	10
Gambar 2. 3 Sensor DHT22.....	10
Gambar 2. 4 MCP 4725.....	13
Gambar 2. 5 Buck-Boost Converter.....	14
Gambar 2. 6 Mikrokontroler ESP32	16
Gambar 2. 7 PLC TM221CE16R.....	17
Gambar 3. 1 Diagram Alur Proses Sistem Miniatur HVAC.....	20
Gambar 3. 2 Flowchart AHU mode auto dan manual	21
Gambar 3. 3 Flowchart Mode Auto Chiller	23
Gambar 3. 4 Mode Manual Chiller	25
Gambar 3. 5 Desain Tampak Atas	26
Gambar 3. 6 Desain Tampak Depan.....	26
Gambar 3. 7 Layout Base Plate.....	28
Gambar 3. 8 Layout Pintu Panel	29
Gambar 3. 9 Schematic diagram	30
Gambar 3. 10 Schematic PLC	31
Gambar 3. 11 Schematic DPM.....	33
Gambar 3. 12 Schematic HMI	34
Gambar 3. 13 Wiring ESP32.....	35
Gambar 3. 14 Arsitektur Sistem.....	37
Gambar 3. 15 Diagram Blok Sistem.....	39
Gambar 3. 16 Plant Miniatur HVAC.....	45
Gambar 3. 17 Konfigurasi Modbus TCP/IP pada PLC.....	48
Gambar 3. 18 Konfigurasi Modbus TCP/IP pada ESP32	49
Gambar 3. 19 Pemetaan Modbus pada Program ESP32	49
Gambar 3. 20 Operasi Kendali Proporsional pada PLC	51
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Latensi pada Setiap Skenario Uji.....	58
Gambar 4. 2 Grafik Garis Linearitas Terhadap Tegangan Output Buck-Boost	62
Gambar 4. 3 Grafik Respons Penurunan Tegangan terhadap Perubahan Suhu Setpoint	63



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 TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat.....	41
Tabel 3. 2 Alamat Input PLC.....	46
Tabel 3. 3 Alamat Output PLC.....	46
Tabel 3. 4 Alamat Memori Word PLC	47
Tabel 4. 1 Data Pengujian Fungsional Sistem.....	53
Tabel 4. 2 Pengujian Waktu Tunda (Latensi).....	57
Tabel 4. 3 Data Pengujian Linearitas DAC dan Buck-Boost Converter ($K_p = 5$)	60
Tabel 4. 4 Data Pengujian Linearitas DAC dan Buck-Boost Converter ($K_p = 10$) ...	61
Tabel 4. 5 Data Pengujian Linearitas DAC dan Buck-Boost Converter ($K_p = 15$) ...	61
Tabel 4. 6 Data Pengujian Linearitas DAC dan Buck-Boost Converter ($K_p = 20$) ...	61
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Perbandingan Variasi Nilai K_p pada Pengujian Kendali Proporsional	66

**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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Program ESP 32.....	73
Lampiran 2 Wiring Diagram Alat	81
Lampiran 3 Desain Miniatur HVAC	85
Lampiran 4 Program PLC	86
Lampiran 5 Proses Perakitan Alat	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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC) merupakan infrastruktur esensial yang berfungsi untuk meregulasi suhu, kelembapan, serta kualitas udara dalam suatu ruangan guna menciptakan kondisi termal yang ideal bagi operasional perangkat elektronik (Makarim *et al.*, 2025). Dalam praktiknya, sistem pendingin konvensional pada umumnya masih bergantung pada mekanisme kompresor yang memakan banyak ruang dimensi, kurang fleksibel untuk aplikasi berskala kecil, dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan akibat pemanfaatan refrigeran (Amma Muliya Romadoni and Cakra Wijaya, 2025). Sebagai solusi untuk mengatasi keterbatasan tersebut, teknologi termoelektrik diusulkan sebagai alternatif pengganti sistem kompresi uap konvensional karena mampu menyediakan mekanisme pendinginan *solid-state* yang ramah lingkungan, tidak bising, dan hemat energi tanpa memerlukan penggunaan fluida freon maupun kompresor mekanis penggerak (Mutaufiq *et al.*, 2024). Meskipun menawarkan rancangan fisik yang lebih kompak, kinerja penurunan suhu pada modul Peltier sangat sensitif terhadap regulasi tegangan dan arus listrik. Pendekatan kontrol yang masih konvensional seperti metode *On-Off* dapat menyebabkan sistem kesulitan mencapai titik stabil, sehingga memunculkan fluktuasi suhu yang tajam atau *overshoot* yang signifikan. Oleh sebab itu, diperlukan implementasi sistem kendali tingkat lanjut yang bekerja secara halus dan kontinu untuk meminimalisir *error steady state* serta mencegah pemborosan energi saat proses pendinginan (Vauzia, Fauzi and Feriyonika, 2022).

Pengembangan sistem HVAC di Laboratorium Teknik Otomasi Listrik Industri telah melalui beberapa tahap riset berkelanjutan. Tahap awal penelitian difokuskan pada perancangan infrastruktur dasar *plant* HVAC skala laboratorium yang dikendalikan menggunakan PLC dan sistem SCADA (Moralia, 2023). Riset tersebut kemudian dikembangkan dengan melakukan kajian teknis pada sistem pendinginan air menggunakan *thermoelectric cooler* yang berhasil mencapai nilai *Coefficient of Performance* (COP) sebesar 66,5% (Ridwan, 2025). Selain itu, pengoptimalan integrasi komunikasi antara PLC Schneider TM221 dan mikrokontroler ESP32



© 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

melalui protokol Modbus TCP/IP juga telah dilakukan untuk mengendalikan sistem *Air Handling Unit* (AHU) secara terintegrasi (Fadhil, 2025). Meskipun integrasi perangkat keras dan jalur komunikasi data telah terbentuk, mekanisme pengendalian pada elemen pendingin masih memerlukan pendekatan yang lebih presisi agar respon suhu sistem dapat bergerak secara linier dan stabil terhadap perubahan beban termal di dalam ruangan simulasi.

Kebutuhan akan tingkat presisi yang lebih tinggi menuntut adanya transisi dari metode kendali *switching* menuju sistem kendali proporsional pada modul termoelektrik. Dalam berbagai aplikasi pendingin, kontrol daya sering kali dilakukan secara diskrit menggunakan metode *On-Off* atau sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). Namun, metode pensaklaran PWM terbukti secara teknis memiliki kelemahan bawaan. Pemberian sinyal arus yang terputus-putus (*intermittent*) memicu peningkatan suhu pemanasan internal (*self-heating*) pada modul Peltier, yang secara signifikan dapat menurunkan efisiensi kapasitas pendinginan atau *Coefficient of Performance* (KAHRAMAN and DEREBAŞI, 2022). Sebagai solusi untuk menanggulangi masalah tersebut, penelitian ini mengimplementasikan metode aktuasi tegangan analog murni (*continuous DC*). Sinyal kendali digital dari mikrokontroler ESP32 dikonversi terlebih dahulu menggunakan *Digital to Analog Converter* (DAC) MCP4725. Tegangan referensi analog dari DAC ini selanjutnya digunakan untuk meregulasi *Buck Converter*, sehingga modul Peltier menerima suplai arus searah yang linier, stabil, dan berkesinambungan. Pendekatan tegangan analog murni ini terbukti lebih superior karena secara empiris mampu mengeliminasi panas berlebih yang dihasilkan oleh siklus PWM, sehingga memastikan respon pendinginan berjalan optimal sekaligus menjaga keawetan elemen Peltier dalam jangka panjang.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada “Implementasi Kendali Proporsional Suhu HVAC Berbasis Termoelektrik Menggunakan Integrasi ESP32 dan PLC”. Dalam penelitian ini, PLC TM221CE16R difungsikan sebagai pusat komputasi kendali yang menjalankan algoritma proporsional dan menghasilkan nilai instruksi DAC, sementara ESP32 berperan sebagai eksekutor sinyal kendali sekaligus unit akuisisi data sensor suhu (DS18B20) yang menjembatani komunikasi antara perangkat keras lapangan dan PLC melalui protokol Modbus TCP/IP. Fokus utama skripsi ini adalah pada implementasi dan analisis algoritma kendali proporsional dalam



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

meregulasi suhu air pada subsistem chiller termoelektrik secara linear dan bertahap, serta penentuan nilai penguatan proporsional (K_p) yang paling sesuai berdasarkan karakteristik fisik sistem. Melalui integrasi antara keandalan komputasi PLC sebagai pusat pemrosesan algoritma dan fleksibilitas ESP32 sebagai eksekutor sinyal kendali, diharapkan tercipta sistem chiller termoelektrik skala laboratorium yang mampu meregulasi daya pendinginan secara proporsional dan andal.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem integrasi komunikasi data antara PLC TM221CE16R dan ESP32 menggunakan protokol Modbus TCP/IP untuk pengendalian suhu HVAC?
2. Bagaimana mengimplementasikan algoritma kendali proporsional pada PLC TM221CE16R yang kemudian dieksekusi oleh mikrokontroler ESP32 melalui modul DAC MCP4725 guna meregulasi tegangan analog pada modul chiller termoelektrik?
3. Bagaimana pengaruh variasi nilai penguatan proporsional (K_p) terhadap karakteristik kendali sistem?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang dan membangun integrasi komunikasi data berbasis protokol Modbus TCP/IP, di mana mikrokontroler ESP32 dikonfigurasi sebagai *Master (Client)* yang secara aktif mengakses parameter kendali dari PLC Schneider TM221 yang bertindak sebagai *Slave (Server)*.
2. Mengimplementasikan algoritma kendali proporsional pada PLC TM221CE16R sebagai pusat komputasi kendali, serta mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 sebagai eksekutor sinyal kendali menuju DAC MCP4725 untuk meregulasi tegangan analog pada modul chiller termoelektrik.
3. Menganalisis dan menentukan nilai K_p yang paling sesuai berdasarkan parameter rentang kendali efektif dan sensitivitas DAC dari hasil pengujian variasi $K_p = 5, 10, 15, \text{ dan } 20$.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

1.4 Luaran

1. Prototipe miniature sistem HVAC termoelektrik
2. Artikel ilmiah yang dipresentasikan dalam seminar nasional
3. Artikel ilmiah yang disubmit pada jurnal sinta 6



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

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah diuraikan pada Bab IV, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Integrasi komunikasi Modbus TCP/IP antara mikrokontroler ESP32 sebagai *Master* dan PLC TM221CE16R sebagai *Slave* telah berhasil direalisasikan dengan tingkat kesesuaian 100% pada 17 parameter uji. Sistem komunikasi ini mampu memetakan dan mentransmisikan data diskrit, integer 16-bit, hingga data *floating-point* 32-bit secara akurat tanpa mengalami deviasi nilai atau kehilangan presisi desimal.
2. Modul DAC MCP4725 dan *Buck-Boost Converter* terbukti mampu meregulasi tegangan keluaran secara linear dengan pola *inverse proportional* untuk mengendalikan daya Peltier. Namun, ditemukan batasan fisik perangkat keras (*hardware constraint*) berupa pemutusan daya otomatis (*cut-off*) yang secara konsisten terjadi pada kisaran nilai DAC 3000–3247. Fenomena ini disebabkan oleh sinyal referensi analog dari DAC yang turun di bawah ambang minimum operasional komparator internal modul Buck-Boost Converter, terlepas dari nilai tegangan output aktual pada saat *cut-off* terjadi.
3. Algoritma Kendali Proporsional (P-Control) berhasil memanipulasi daya pendinginan dengan $K_p = 10$ sebagai penguatan paling optimal. $K_p = 5$ (205 langkah/°C) bereaksi terlalu lambat sehingga memicu *cut-off* sangat awal (menyisakan selisih 5,48°C). Sebaliknya, $K_p = 15$ dan 20 bereaksi terlalu agresif; meski mampu mendekati target, tegangan anjlok secara drastis sehingga berisiko memicu *thermal stress* pada Peltier. Penguatan $K_p = 10$ (410 langkah/°C) memberikan keseimbangan terbaik dengan penurunan tegangan yang mulus dan menyisakan batas selisih suhu yang memadai (2,12°C).



5.2 Saran

Sebagai pengembangan dari sistem yang telah dibuat, terdapat beberapa hal yang disarankan untuk meningkatkan kinerja dan fleksibilitas sistem di masa mendatang, yaitu:

1. Disarankan untuk mengevaluasi dan mengganti komponen *Power Supply* atau modul *Buck-Boost Converter* dengan spesifikasi yang mampu menyalurkan tegangan penuh sebesar 12 V secara stabil. Suplai daya yang sesuai dengan tegangan nominal elemen Peltier akan mempercepat proses perpindahan kalor secara signifikan sehingga respons pendinginan menjadi jauh lebih optimal.
2. Parameter algoritma kendali di dalam PLC dapat dikembangkan menjadi sistem Kontrol Proporsional-Integral-Derivatif (PID) secara utuh. Selain itu, perangkat lunak dapat ditambahkan fitur pemotongan nilai (*clamping limit*) agar komputasi PLC secara otomatis mengunci nilai maksimal instruksi DAC pada batas aman sebelum menyentuh angka tegangan kritis yang dapat memicu *cut-off* pada perangkat keras.

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**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

DAFTAR PUSTAKA

- Amma Muliya Romadoni and Cakra Wijaya (2025) "Rancang Bangun Mini Cold Storage Kapasitas 5L Berbasis Energi Surya," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer*, 5(3), pp. 19–29. Available at: <https://doi.org/10.51903/juritek.v5i3.5456>.
- Fadhil, M.C. (2025) "RANCANG BANGUN SISTEM TATA UDARA AHU MENGGUNAKAN PLC HMI DAN KOMUNIKASI MODBUS TCP/IP."
- Indroasyoko, N. *et al.* (2026) "Implementasi Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Berbasis IoT (ESP32-Blynk) pada Indoor Wall Climbing," *Remik: Riset dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, 10(1), pp. 105–116.
- KAHRAMAN, İ. and DEREBAŞI, N. (2022) "COOLING PERFORMANCE OF THERMOELECTRIC COOLER MODULES: EXPERIMENTAL AND NUMERICAL METHODS."
- Khafiyyan, F. and Novianty, I. (2024) "Pembuatan Sistem Pengkabutan Otomatis dengan Kontrol Suhu Air dan Suhu Udara Berbasis IoT," pp. 46–56.
- Kusuma, E.D., Aziz, T.F. and Dewanto, W. (2024) "Implementasi Modbus TCP dalam Pengiriman Data Deteksi Objek ke PLC Schneider M221."
- Makarim, L.A. *et al.* (2025) "Rancang Bangun Miniatur Hvac Berbasis Pid Cascade Menggunakan Mikroprosesor," *Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 188–194.
- Moralia, A. (2023) "PERANCANGAN SISTEM KENDALI PADA PLANT HVAC BERBASIS SCADA."
- Mutaufiq, M. *et al.* (2024) "Smart Mini Water Chiller Ramah Lingkungan Berbasis Termoelektrik," *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, 7(1), pp. 43–52. Available at: <https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v7i1.1490>.
- NGUYEN, L.-M.-Q. *et al.* (2026) "INTELLIGENT FIRE PROTECTION SYSTEM FOR MINI APARTMENT BUILDINGS WITH REMOTE MONITORING AND CONTROL LE-MINH-QUAN," 7(1), pp. 23–34.
- Ogata, K. (2010) *Modern Control Engineering*. Fifth. Prentice Hall.
- Oktabiansyah, T. and Rifky (2023) "Pengaruh Tegangan Listrik dan Arus Listrik terhadap Kinerja Termoelektrik Sebagai Pendingin Termoelektrik," 2, pp. 9–19.
- Patel, H.R. (2024) "OPTIMIZING BUILDING OPERATIONS THROUGH PLC AND SCADA INTEGRATION Himanshu," (05), pp. 746–756.
- Prastiwi, A.S. *et al.* (2023) "Integrasi Sistem Komunikasi Modbus TCP/IP pada PLC Siemens S7-1200, ESP32, dan HMI," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 10(2), pp. 234–244. Available at: <https://doi.org/10.33795/elkolind.v10i2.3254>.



© 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rashid, M.H. (2014) *Power Electronics Handbook: Devices, Circuits, and Applications*. Third. Butterworth-Heinemann.

Ridwan, F.H. (2025) *PERANCANGAN SISTEM PENDINGINAN AIR MENGGUNAKAN THERMOELECTRIC COOLER*.

Setiawati, A.Y. and Haryanti, M. (2025) "Evaluasi Akurasi Sensor Suhu Digital untuk Aplikasi Pemantauan Suhu Ruangan Penyimpanan : Studi Indoor dan Outdoor," *Jurnal Teknologi Industri (JTI)*, 14(1), pp. 1–6.

Sumbaryadi, A. and Gustina, D. (2021) "PENSAKLARAN OTOMATIS COOLER PAD MENGGUNAKAN SENSOR SUHU LM 35 DENGAN MIKROKONTROLER ATMEGA8535," *Jurnal Teknologi Informasi*, 8(1), pp. 57–82.

Tomasoa, G.E., Gunardi, W.D. and Dharmawan, A. (2022) "Pengaturan Sistem Heating Ventilation and Air Conditioner (HVAC) untuk Pencegahan Kontaminasi SARS-CoV-2 dalam Ruangan Regulation of the HVAC System for the Prevention of SARS-Cov-2 Contamination in The Indoor Environment," *Jurnal Kedokteran MEDITEK*, 28(2), pp. 227–236.

Vauzia, F., Fauzi, M.N. and Feriyonika (2022) "Pengaplikasian Kendali Suhu Peltier dengan Menggunakan Kendali PID Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan*, 9(2), p. 1250. Available at: <http://journals.telkomuniversity.ac.id/jett/article/view/5336>.

Widjajanto, D. *et al.* (2025) "Design and Implementation of a Hybrid PLC-ESP32 Control System for a Peltier-Based Chiller," pp. 0–7. Available at: <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-926-1>.

**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



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Ahmad Robi Fatahilah

Lulus dari SDN Karet Kuningan 03 Pagi tahun 2016, SMPN 58 Jakarta tahun 2019, dan SMAN 26 Jakarta Selatan pada tahun 2022. Menempuh Pendidikan Diploma 4 Teknik Otomasi Listrik Industri di Politeknik Negeri Jakarta





LAMPIRAN

Lampiran 1 Program ESP 32

```

1  #include <WiFi.h>
2  #include <ModbusIP_ESP8266.h>
3  #include <DHT.h>
4  #include <ESP32Servo.h>
5  #include <OneWire.h>
6  #include <DallasTemperature.h>
7
8  // ===== KONFIGURASI JARINGAN =====
9  const char* ssid = "HVAC";
10 const char* password = "tugasakhir";
11 IPAddress plc_ip(192, 168, 1, 11);
12
13 // ===== DEFINISI PIN ESP32 =====
14 #define PIN_DS18B20 4 // Pin Data Sensor Suhu Heater
15 #define PIN_DHT 5 // Pin Data Sensor DHT22
16 #define PIN_SERVO2 12 // Pin Kontrol Servo Damper 2
17 #define PIN_SERVO1 13 // Pin Kontrol Servo Damper 1
18 #define PIN_FAN_SUPPLY 14 // Pin PWM Fan Supply
19
20 #define DHTTYPE DHT22
21
22 // ===== OBJEK =====
23 ModbusIP mb;
24 DHT dht(PIN_DHT, DHTTYPE);
25 OneWire oneWire(PIN_DS18B20);
26 DallasTemperature sensorHeater(&oneWire);
27 Servo servo1;
28 Servo servo2;
29
30 unsigned long timerJaringan = 0;
31
32 unsigned long timerJaringan = 0;
33
34 // ===== VARIABEL BACA DARI PLC (Read) =====
35 uint16_t targetDamper1 = 0; // %MW10
36 uint16_t targetDamper2 = 0; // %MW11
37
38 uint16_t onOffDamper1 = 0; // %MW20
39 uint16_t onOffDamper2 = 0; // %MW21
40 uint16_t onOffFan = 0; // %MW23 (Tombol ON/OFF Fan)
41
42 // ===== VARIABEL TULIS KE PLC (Write) =====
43 uint16_t actualDamper1 = 0; // %MW12
44 uint16_t actualDamper2 = 0; // %MW13
45
46 // ===== VARIABEL PENGUNCI LOGIKA (STATE MEMORY) =====
47 uint16_t lastOnOffFan = 99;
48
49 uint16_t lastOnOffDamper1 = 99;
50 uint16_t lastTargetDamper1 = 999;
51
52 uint16_t lastOnOffDamper2 = 99;
53 uint16_t lastTargetDamper2 = 999;
54
55 void setup() {
56   Serial.begin(115200);
57
58   // Inisialisasi Sensor
59   dht.begin();
60   sensorHeater.begin();
61
62   // Inisialisasi Servo (TANPA perintah reset ke 0 derajat)
63   servo1.attach(PIN_SERVO1);

```

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

```

60 // Inisialisasi Servo (TANPA perintah reset ke 0 derajat)
61 servo1.attach(PIN_SERVO1);
62 servo2.attach(PIN_SERVO2);
63
64 // Inisialisasi Fan Supply
65 pinMode(PIN_FAN_SUPPLY, OUTPUT);
66 analogWrite(PIN_FAN_SUPPLY, 0);
67
68 // Koneksi WiFi
69 Serial.print("\n[ESP1] Menghubungkan ke WiFi");
70 WiFi.begin(ssid, password);
71 while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
72   delay(500);
73   Serial.print(".");
74 }
75 Serial.println("\n✅ WiFi Terhubung!");
76
77 Serial.print("IP Address ESP: ");
78 Serial.println(WiFi.localIP());
79 // Memulai Modbus sebagai Client
80 mb.client();
81 }
82
83 void loop() {
84   mb.task(); // Wajib dipanggil terus-menerus
85
86   if (mb.isConnected(plc_ip)) {
87     // Eksekusi rutin pengiriman Modbus & Aktuator setiap 1 detik
88     if (millis() - timerJaringan > 1000) {
89       timerJaringan = millis();
90
91       static unsigned long timerDHT = 0;
92       static float tempDHT = 0.0;
93       static float humDHT = 0.0;
94
95       if (millis() - timerDHT >= 2000) { // Cek apakah sudah 2 detik berlalu
96         float t = dht.readTemperature();
97         float h = dht.readHumidity();
98
99         if (!isnan(t) && !isnan(h)) { // Kalau datanya normal (Bukan NaN), t
100           tempDHT = t;
101           humDHT = h;
102         }
103         timerDHT = millis();
104       }
105
106       // --- LOGIKA BACA DS18B20 (Heater) ---
107       sensorHeater.requestTemperatures();
108       float tempHeater = sensorHeater.getTempCByIndex(0);
109       if (tempHeater == DEVICE_DISCONNECTED_C) tempHeater = 0.0;
110
111       // ===== 2. SEDOT DATA (READ) DARI PLC =====
112       mb.readHreg(plc_ip, 10, &targetDamper1, 1);
113       mb.readHreg(plc_ip, 11, &targetDamper2, 1);
114
115       mb.readHreg(plc_ip, 20, &onOffDamper1, 1);
116       mb.readHreg(plc_ip, 21, &onOffDamper2, 1);
117       mb.readHreg(plc_ip, 23, &onOffFan, 1);
118
119       // ===== 3. LOGIKA AKTUATOR (DIKUNCI) =====
120
121
122

```



© 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

```

124 // --- Logika Damper / Servo 1 ---
125 if (onOffDamper1 == 1) {
126     if (targetDamper1 <= 180) {
127         if (onOffDamper1 != lastOnOffDamper1 || targetDamper1 != lastTargetDamper1) {
128             servo1.write(targetDamper1);
129             actualDamper1 = targetDamper1;
130             lastOnOffDamper1 = onOffDamper1;
131             lastTargetDamper1 = targetDamper1;
132         }
133     }
134 } else {
135     if (onOffDamper1 != lastOnOffDamper1) {
136         lastOnOffDamper1 = onOffDamper1;
137     }
138 }
139
140 // --- Logika Damper / Servo 2 ---
141 if (onOffDamper2 == 1) {
142     if (targetDamper2 <= 180) {
143         if (onOffDamper2 != lastOnOffDamper2 || targetDamper2 != lastTargetDamper2) {
144             servo2.write(targetDamper2);
145             actualDamper2 = targetDamper2;
146             lastOnOffDamper2 = onOffDamper2;
147             lastTargetDamper2 = targetDamper2;
148         }
149     }
150 } else {
151     if (onOffDamper2 != lastOnOffDamper2) {
152         lastOnOffDamper2 = onOffDamper2;
153     }
154 }
155
156 if (onOffFan != lastOnOffFan) {
157     if (onOffFan == 1) {
158         analogWrite(PIN_FAN_SUPPLY, 250);
159     } else {
160         analogWrite(PIN_FAN_SUPPLY, 0);
161     }
162     lastOnOffFan = onOffFan;
163 }
164
165 mb.writeHreg(plc_ip, 12, &actualDamper1, 1);
166 mb.writeHreg(plc_ip, 13, &actualDamper2, 1);
167
168 union { float f; uint16_t w[2]; } dataFloat;
169
170 dataFloat.f = tempHeater; mb.writeHreg(plc_ip, 50, dataFloat.w, 2);
171 dataFloat.f = tempDHT;    mb.writeHreg(plc_ip, 52, dataFloat.w, 2);
172 dataFloat.f = humDHT;     mb.writeHreg(plc_ip, 58, dataFloat.w, 2);
173
174 // ===== DEBUG SERIAL MONITOR =====
175 Serial.printf("[ESP1] Heater:%.1fC | Ruang:%.1fC | Hum:%.1f%%\n", tempHeater, tempDHT, humDHT);
176 Serial.printf("    Fan Status:%d (PWM:%d) | S1:%d(%d) | S2:%d(%d)\n",
177               onOffFan, (onOffFan == 1 ? 250 : 0),
178               onOffDamper1, actualDamper1,
179               onOffDamper2, actualDamper2);
180 } else {
181     // Jika koneksi Modbus TCP terputus, hubungkan ulang otomatis
182     Serial.println("[ESP1] Terputus dari PLC! Mencoba reconnect...");
183     mb.connect(plc_ip);
184     delay(1000);
185 }
186 }

```



© 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

```

1  #include <WiFi.h>
2  #include <ModbusIP_ESP8266.h>
3  #include <ModbusMaster.h>
4  #include <Wire.h>
5  #include <Adafruit_MCP4725.h>
6  #include <OneWire.h>
7  #include <DallasTemperature.h>
8
9  // ===== KONFIGURASI JARINGAN =====
10 const char* ssid = "HVAC";
11 const char* password = "tugasakhir";
12 IPAddress plc_ip(192, 168, 1, 11);
13
14 // ===== DEFINISI PIN ESP32 =====
15 #define PIN_FLOW      4      // Pin Sensor Flow YF-S201
16 #define PIN_DS18B20    5      // Pin Sensor Suhu (Tanki 1 & 2)
17 #define PIN_KIPAS      32     // Pin PWM Kipas Heatsink
18 #define MAX485_RE_DE  33     // Pin Kontrol RS485 (DE/RE)
19
20 // Pin Default RS485 (Serial2 ESP32)
21 #define RXD2 16
22 #define TXD2 17
23
24 // Pin Default I2C (MCP4725)
25 #define I2C_SDA 21
26 #define I2C_SCL 22
  
```

**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

```

29 ModbusIP mb; // Modbus TCP (Komunikasi ke P
30 ModbusMaster pzem; // Modbus RTU (Komunikasi ke P
31 Adafruit_MCP4725 dac; // DAC untuk Buck Converter
32 OneWire oneWire(PIN_DS18B20);
33 DallasTemperature sensorAir(&oneWire);
34
35 // Variabel Global
36 unsigned long timerJaringan = 0;
37 volatile int jumlahPulsaFlow = 0; // Penghitung pulsa Flow
38
39 // Variabel Baca dari PLC (Read)
40 uint16_t targetDAC = 0; // %MW15
41 uint16_t onOffPeltier = 0; // %MW22
42
43 // ===== VARIABEL PENGUNCI LOGIKA (STATE MEMORY)
44 uint16_t lastTargetDAC = 9999;
45 uint16_t lastOnOffPeltier = 99;
46
47 // ===== FUNGSI INTERRUPT & RS485 =====
48 void IRAM_ATTR hitungFlow() {
49     jumlahPulsaFlow++;
50 }
51
52 void preTransmission() {
53     digitalWrite(MAX485_RE_DE, 1);
54 }
55
56 void postTransmission() {
57     digitalWrite(MAX485_RE_DE, 0);
58 }

```

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

60 void setup() {
61     Serial.begin(115200);
62
63     // Inisialisasi Kipas Aktuator (Kondisi Awal OFF)
64     pinMode(PIN_KIPAS, OUTPUT);
65     analogWrite(PIN_KIPAS, 0);
66
67     // Inisialisasi Flow Meter
68     pinMode(PIN_FLOW, INPUT_PULLUP);
69     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PIN_FLOW), hitungFlow, RISING);
70
71     // Inisialisasi Sensor Suhu
72     sensorAir.begin();
73
74     // Inisialisasi DAC MCP4725
75     Wire.begin(I2C_SDA, I2C_SCL);
76     dac.begin(0x60); // Alamat default I2C MCP4725
77     dac.setVoltage(4000, false); // SET AWAL KE 4000 SAAT BARU NYALA
78
79     // Inisialisasi RS485 untuk PZEM-017
80     pinMode(MAX485_RE_DE, OUTPUT);
81     digitalWrite(MAX485_RE_DE, 0);
82     Serial2.begin(9600, SERIAL_8N2, RXD2, TXD2);
83     pzem.begin(1, Serial2);
84     pzem.preTransmission(preTransmission);
85     pzem.postTransmission(postTransmission);
86
87     // Koneksi WiFi
88     Serial.print("\n[ESP2] Menghubungkan ke WiFi");
89     WiFi.begin(ssid, password);
90     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {

```

**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

```

88     Serial.print("\n[ESP2] Menghubungkan ke WiFi");
89     WiFi.begin(ssid, password);
90     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
91         delay(500);
92         Serial.print(".");
93     }
94     Serial.println("\n✅ WiFi Terhubung!");
95
96     // Memulai Modbus Client
97     mb.client();
98 }
99
100 void loop() {
101     mb.task(); // Wajib untuk menjaga Modbus stabil
102
103     if (mb.isConnected(plc_ip)) {
104         // Eksekusi setiap 1 detik
105         if (millis() - timerJaringan > 1000) {
106             timerJaringan = millis();
107
108             // ===== 1. BACA SENSOR LOKAL =====
109
110             // A. Baca Sensor Suhu DS18B20
111             sensorAir.requestTemperatures();
112             float suhuReservoir = sensorAir.getTempCByIndex(0);
113             float suhuChiller = sensorAir.getTempCByIndex(1);
114
115             if (suhuReservoir == DEVICE_DISCONNECTED_C) suhuReservoir = 0.0;
116             if (suhuChiller == DEVICE_DISCONNECTED_C) suhuChiller = 0.0;
117
118             int pulsaSaatIni;
119             noInterrupts();
120             pulsaSaatIni = jumlahPulsaFlow;
121             jumlahPulsaFlow = 0;
122             interrupts();
123
124             float flowRate = (pulsaSaatIni / 7.5);
125
126             // C. Baca PZEM-017 via RS485
127             float tegangan = 0.0, arus = 0.0, daya = 0.0;
128             uint8_t hasilPZEM = pzem.readInputRegisters(0x0000, 4);
129             if (hasilPZEM == pzem.ku8MBSuccess) {
130                 tegangan = pzem.getResponseBuffer(0) / 100.0f;
131                 arus = pzem.getResponseBuffer(1) / 100.0f;
132                 uint32_t dayaInt = (pzem.getResponseBuffer(3) << 16) | pzem.getResponseBuffer(2);
133                 daya = dayaInt / 10.0f;
134             } else {
135                 Serial.println("[!] Gagal membaca PZEM-017");
136             }
137
138             // ===== 2. SEDOT DATA (READ) DARI PLC =====
139             mb.readHreg(plc_ip, 15, &targetDAC, 1);
140             mb.readHreg(plc_ip, 22, &onOffPeltier, 1);
141
142             // ===== 3. LOGIKA KONTROL AKTUATOR =====
143
144             // --- Logika Kipas (DIKUNCI AGAR TIDAK BLIP) ---
145             if (onOffPeltier != lastOnOffPeltier) {
146                 if (onOffPeltier == 1) {
147                     analogWrite(PIN_KIPAS, 240);
148                 } else {
149                     analogWrite(PIN_KIPAS, 0);
150                 }
151             }
152         }
153     }
154 }

```



© 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

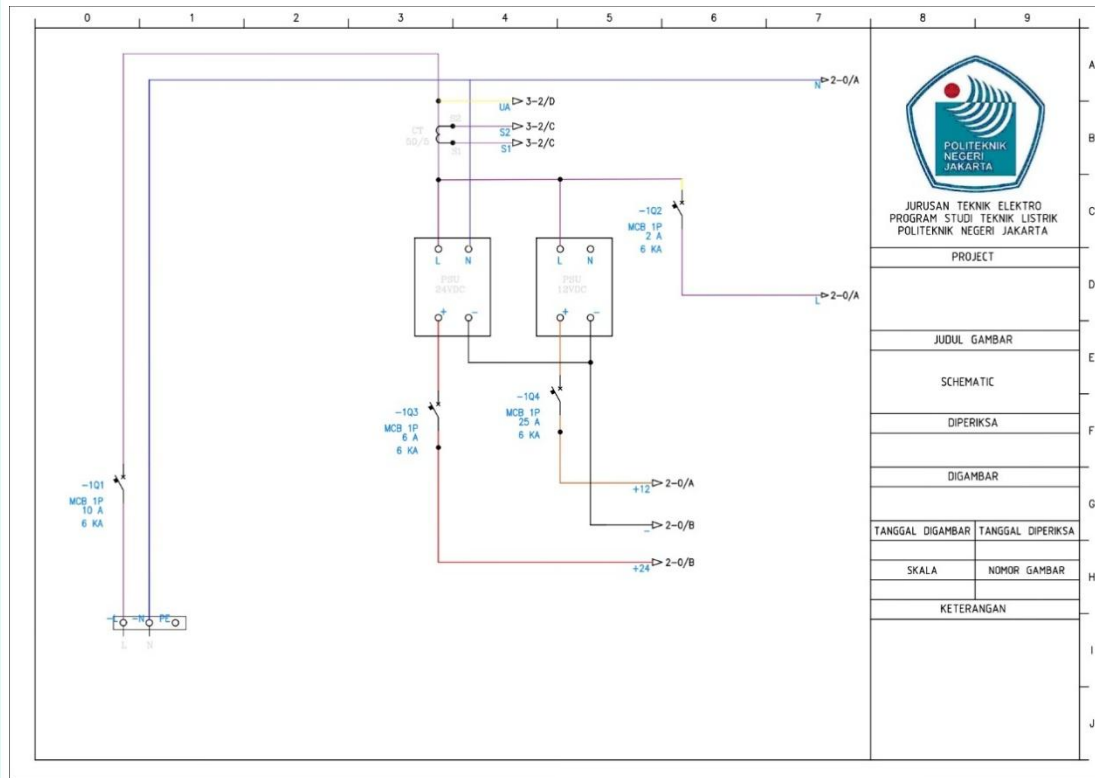
151     }
152     lastOnOffPeltier = onOffPeltier;
153 }
154
155 // --- Logika DAC (ATURAN KHUSUS) ---
156 uint16_t actualDACValue;
157
158 if (onOffPeltier == 1) {
159     actualDACValue = (targetDAC <= 4095) ? targetDAC : 4095; // Jika ON, ikut nilai PLC (maks 4095)
160 } else {
161     actualDACValue = 4000; // Jika OFF, paksa ke 4000
162 }
163
164 // Eksekusi kirim ke I2C hanya jika nilainya berubah (agar program ringan)
165 if (actualDACValue != lastTargetDAC) {
166     dac.setVoltage(actualDACValue, false);
167     lastTargetDAC = actualDACValue;
168 }
169
170 // ===== 4. TEMBAK DATA (WRITE) KE PLC =====
171 union { float f; uint16_t w[2]; } dataFloat;
172
173 dataFloat.f = suhuReservoir; mb.writeHreg(plc_ip, 54, dataFloat.w, 2);
174 dataFloat.f = suhuChiller;   mb.writeHreg(plc_ip, 56, dataFloat.w, 2);
175 dataFloat.f = flowRate;      mb.writeHreg(plc_ip, 60, dataFloat.w, 2);
176 dataFloat.f = tegangan;      mb.writeHreg(plc_ip, 62, dataFloat.w, 2);
177 dataFloat.f = arus;          mb.writeHreg(plc_ip, 64, dataFloat.w, 2);
178 dataFloat.f = daya;          mb.writeHreg(plc_ip, 66, dataFloat.w, 2);
179
180 // ===== DEBUG SERIAL MONITOR =====
181 Serial.printf("[ESP2] T1:%.1fC | T2:%.1fC | Flow:%.1f L/m \n", suhuReservoir, suhuChiller, flowRate);
182 Serial.printf("      PZEM -> V:%.1f | I:%.1f | W:%.1f \n", tegangan, arus, daya);
183
184 // Eksekusi kirim ke I2C hanya jika nilainya berubah (agar program ringan)
185 if (actualDACValue != lastTargetDAC) {
186     dac.setVoltage(actualDACValue, false);
187     lastTargetDAC = actualDACValue;
188 }
189
190 // ===== 4. TEMBAK DATA (WRITE) KE PLC =====
191 union { float f; uint16_t w[2]; } dataFloat;
192
193 dataFloat.f = suhuReservoir; mb.writeHreg(plc_ip, 54, dataFloat.w, 2);
194 dataFloat.f = suhuChiller;   mb.writeHreg(plc_ip, 56, dataFloat.w, 2);
195 dataFloat.f = flowRate;      mb.writeHreg(plc_ip, 60, dataFloat.w, 2);
196 dataFloat.f = tegangan;      mb.writeHreg(plc_ip, 62, dataFloat.w, 2);
197 dataFloat.f = arus;          mb.writeHreg(plc_ip, 64, dataFloat.w, 2);
198 dataFloat.f = daya;          mb.writeHreg(plc_ip, 66, dataFloat.w, 2);
199
200 // ===== DEBUG SERIAL MONITOR =====
201 Serial.printf("[ESP2] T1:%.1fC | T2:%.1fC | Flow:%.1f L/m \n", suhuReservoir, suhuChiller, flowRate);
202 Serial.printf("      PZEM -> V:%.1f | I:%.1f | W:%.1f \n", tegangan, arus, daya);
203 // Tampilan Serial disesuaikan agar menampilkan actualDACValue yang sebenarnya
204 Serial.printf("      Peltier:(%d) DAC:%d | Kipas:%d \n", onOffPeltier, actualDACValue, (onOffPeltier == 1 ? 240 : 0));
205 Serial.println("-----");
206 }
207 } else {
208     Serial.println("[ESP2] Terputus dari PLC! Mencoba reconnect...");
209     mb.connect(plc_ip);
210     delay(1000);
211 }
212 }

```



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2 Wiring Diagram Alat



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Hak Cipta :

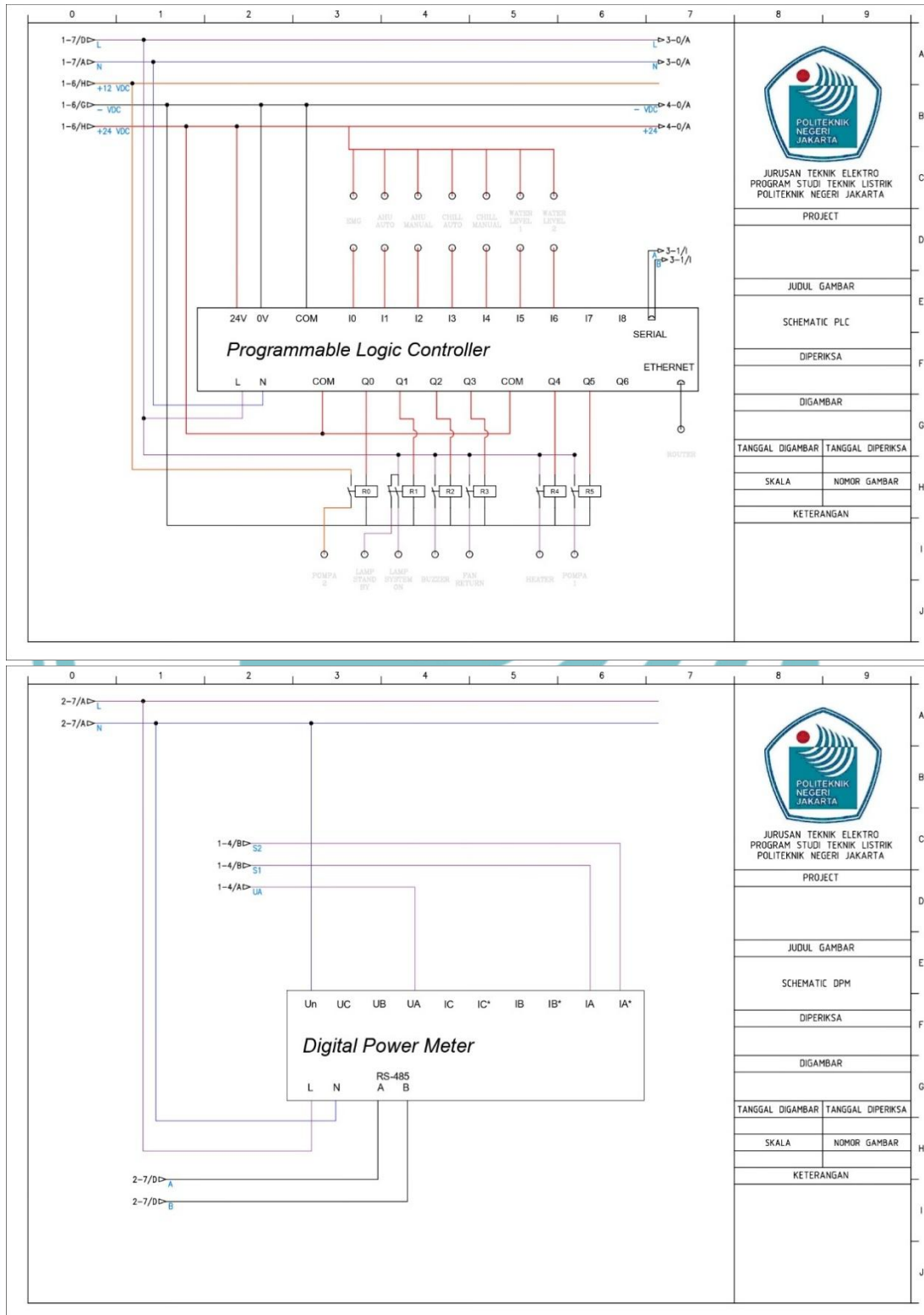
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



© 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

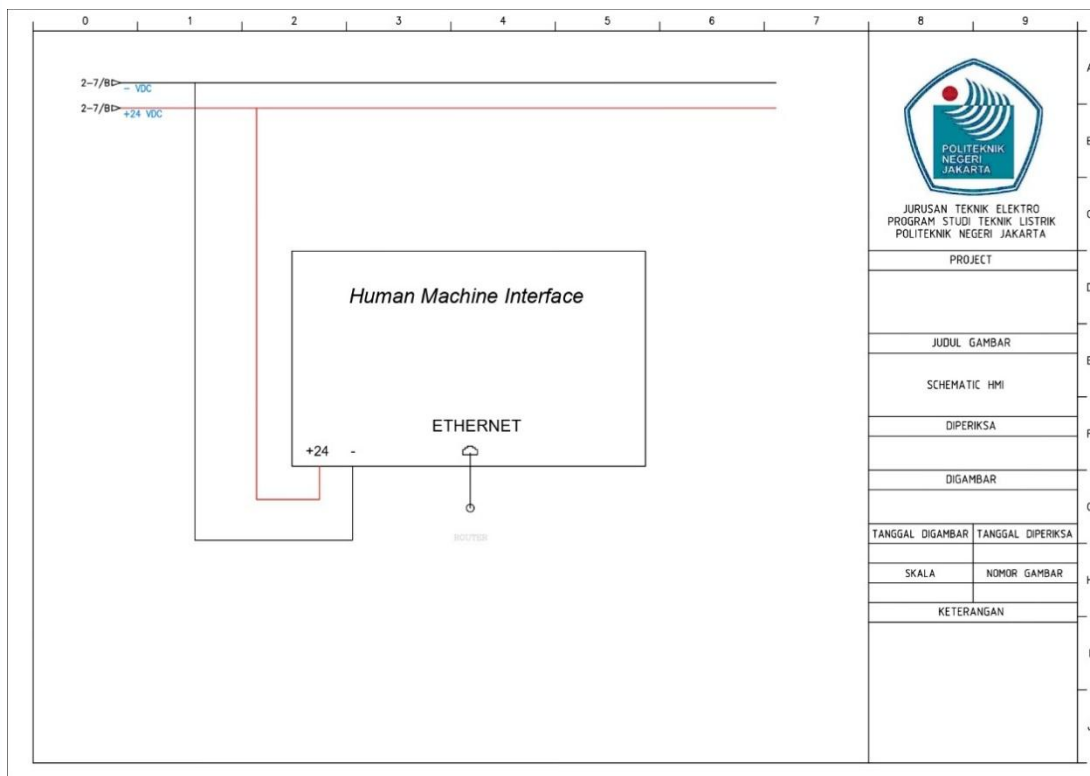




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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



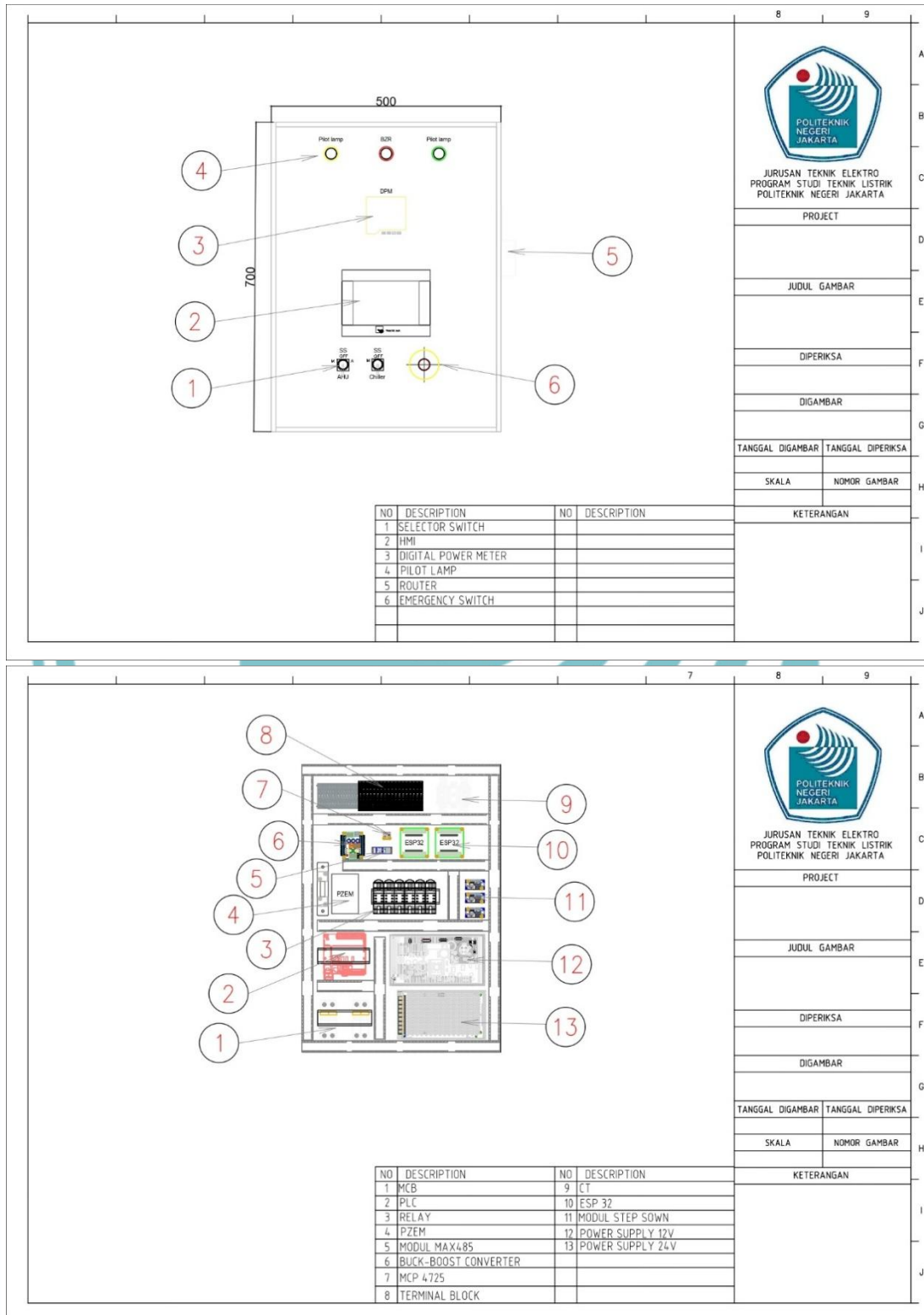
POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

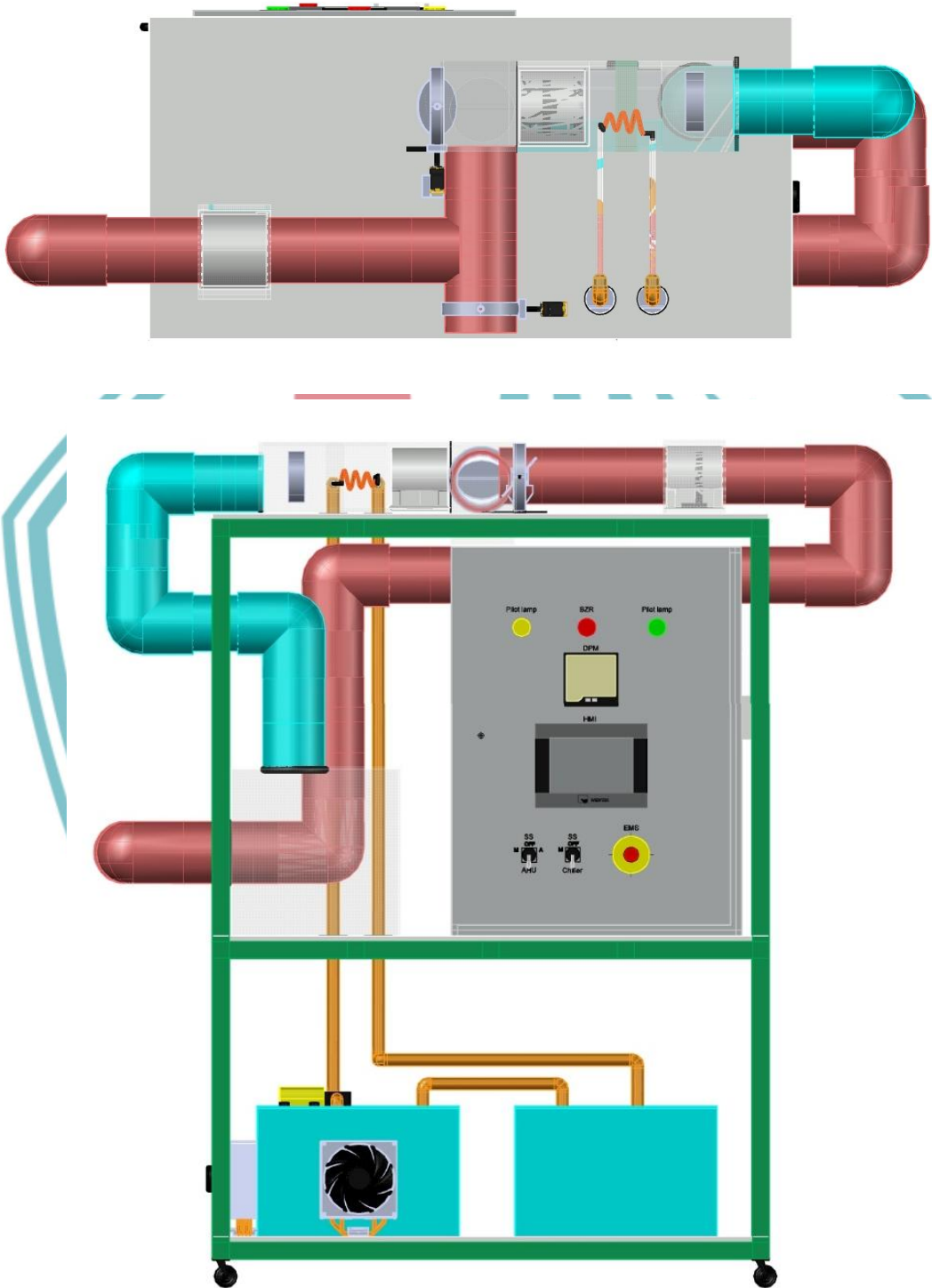
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 Desain Miniatur HVAC



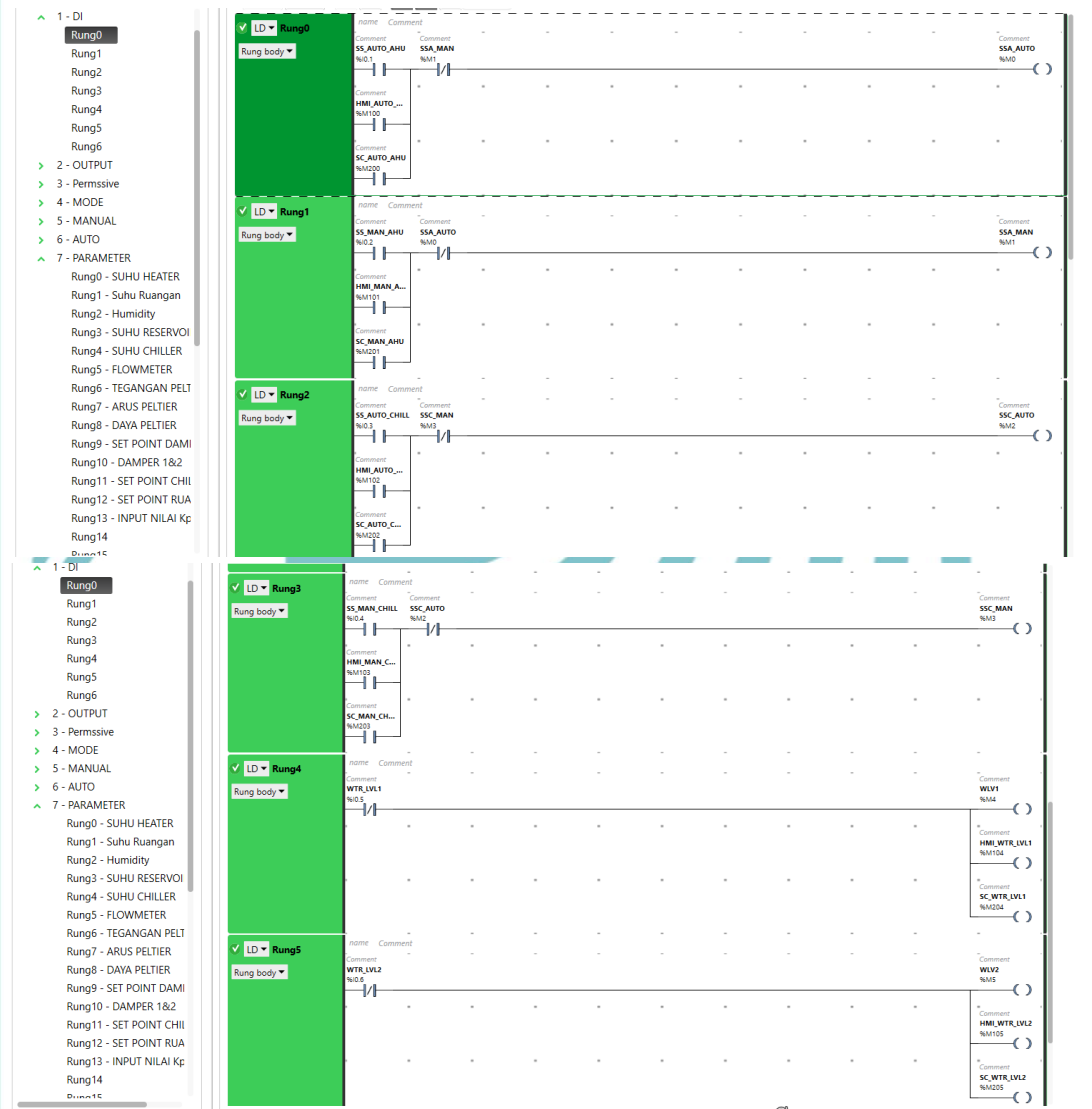
Hak Cipta :

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4 Program PLC



Hak Cipta :

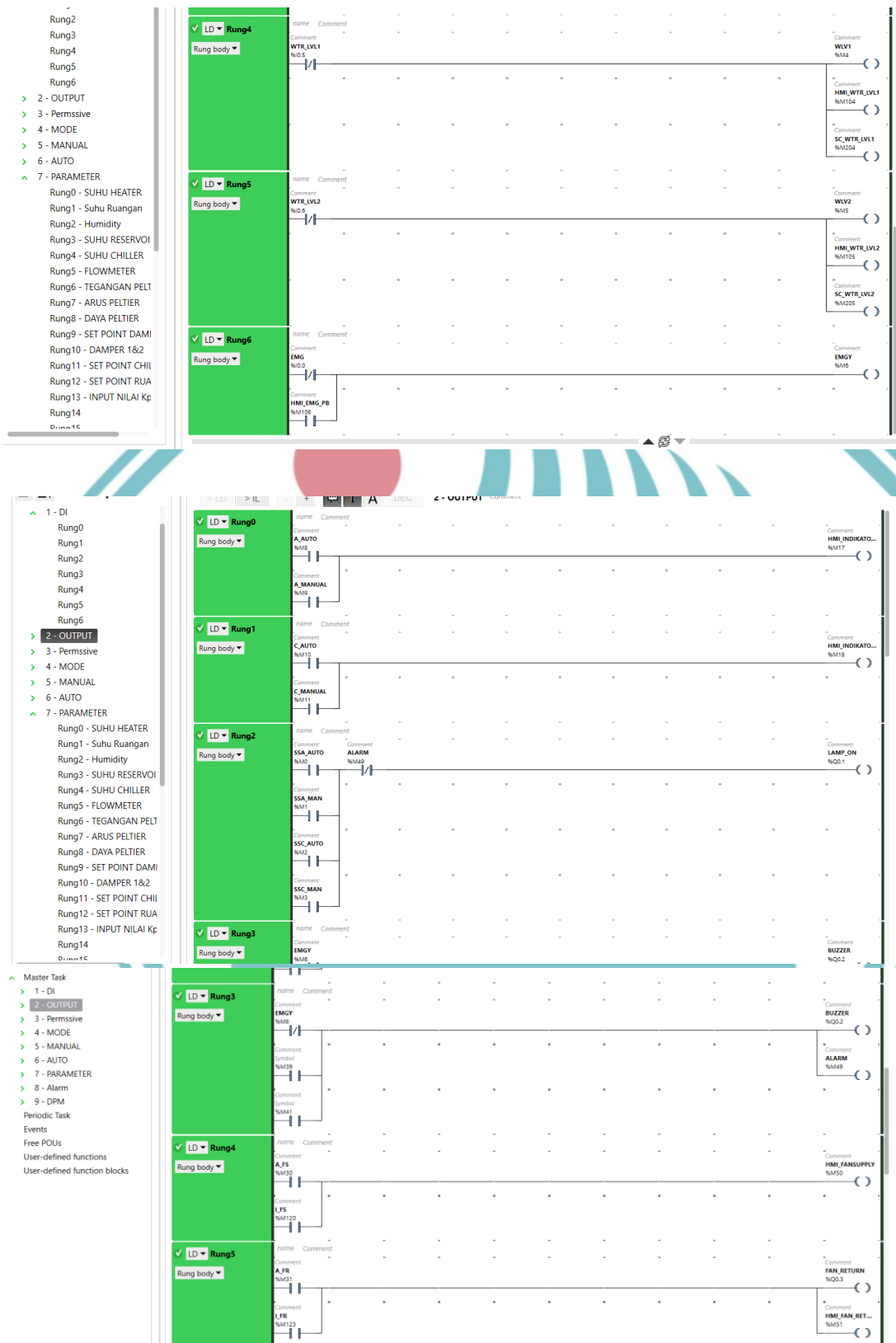
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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





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

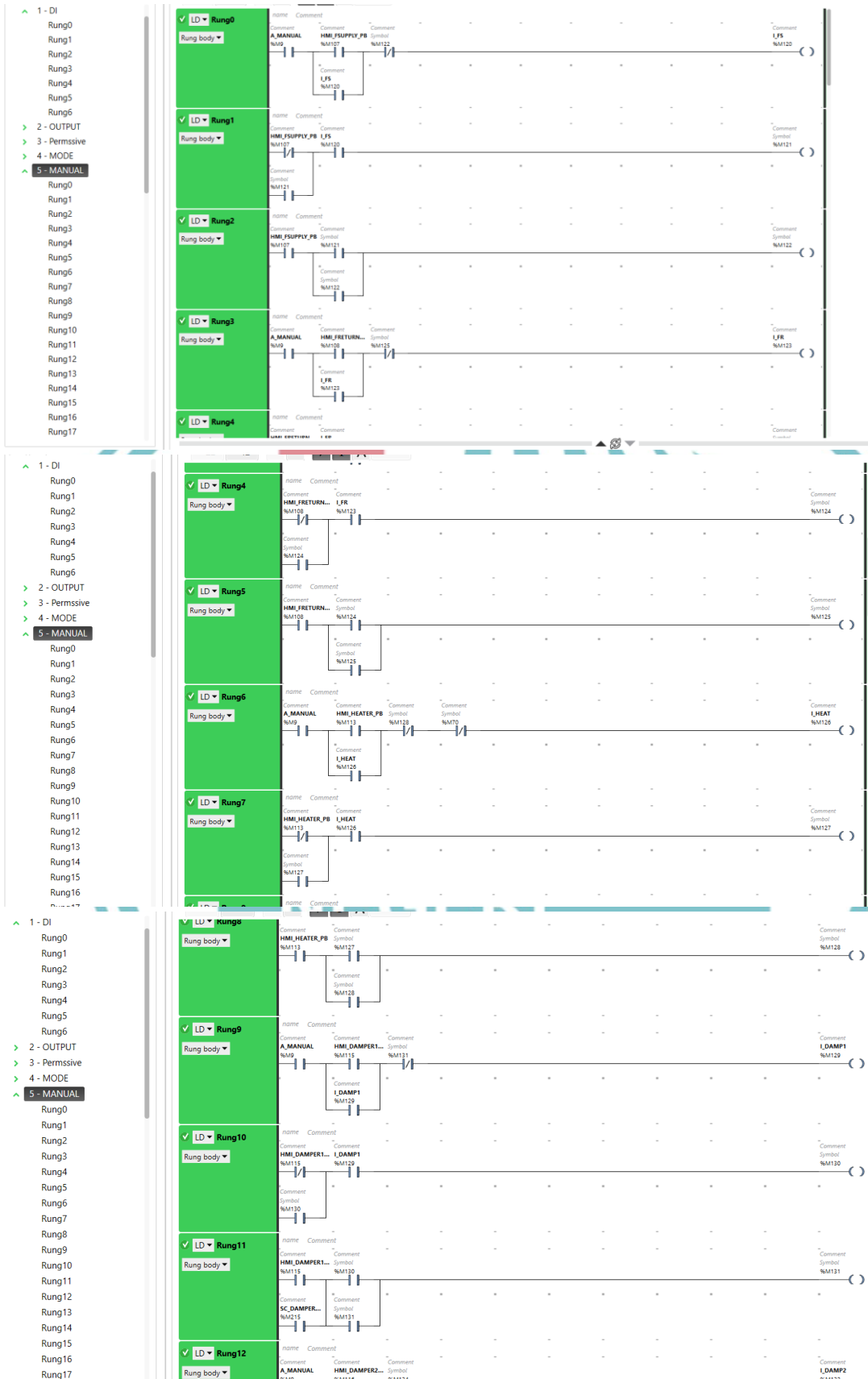




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

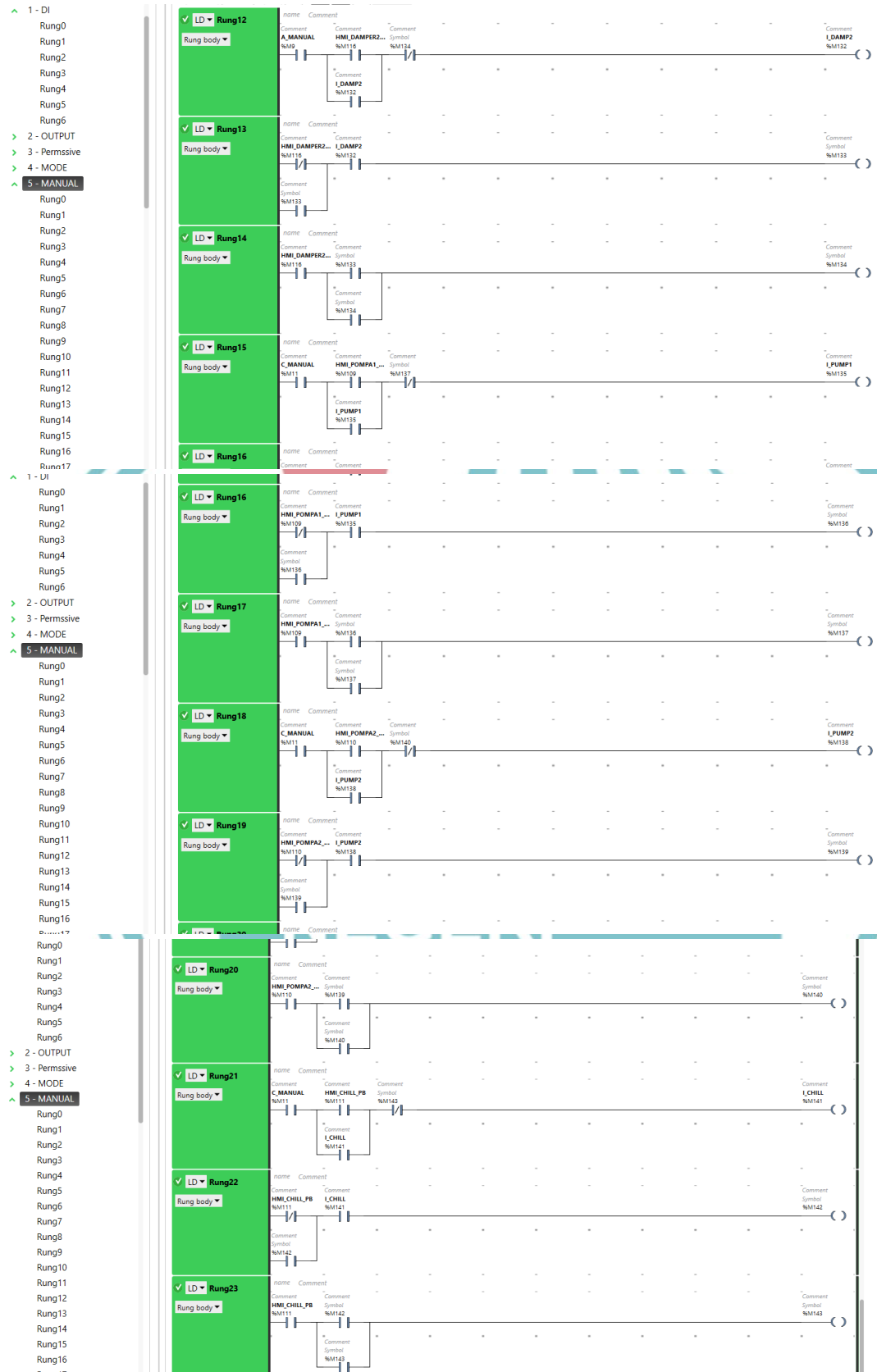




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

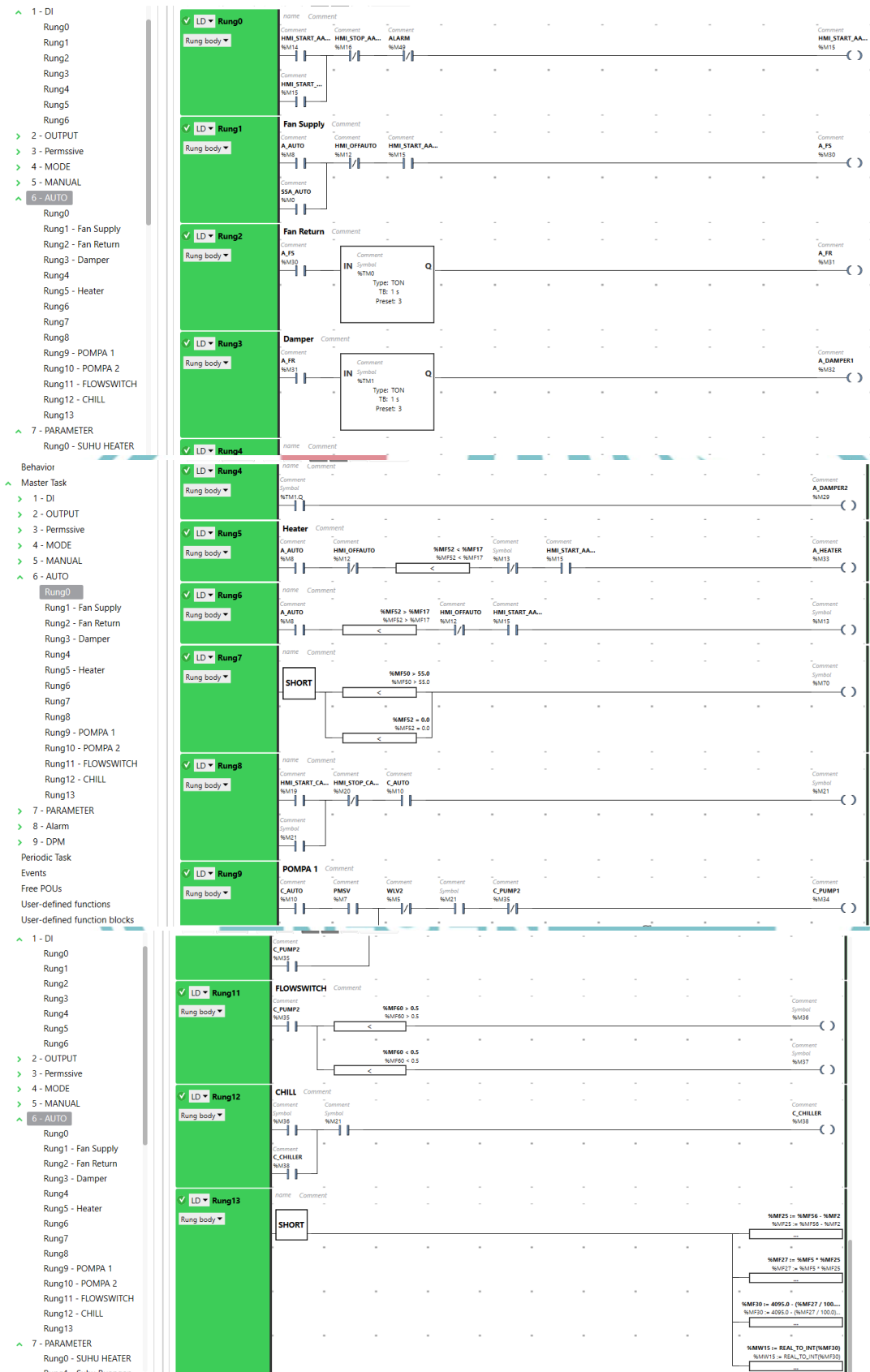
Hak Cipta :

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



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

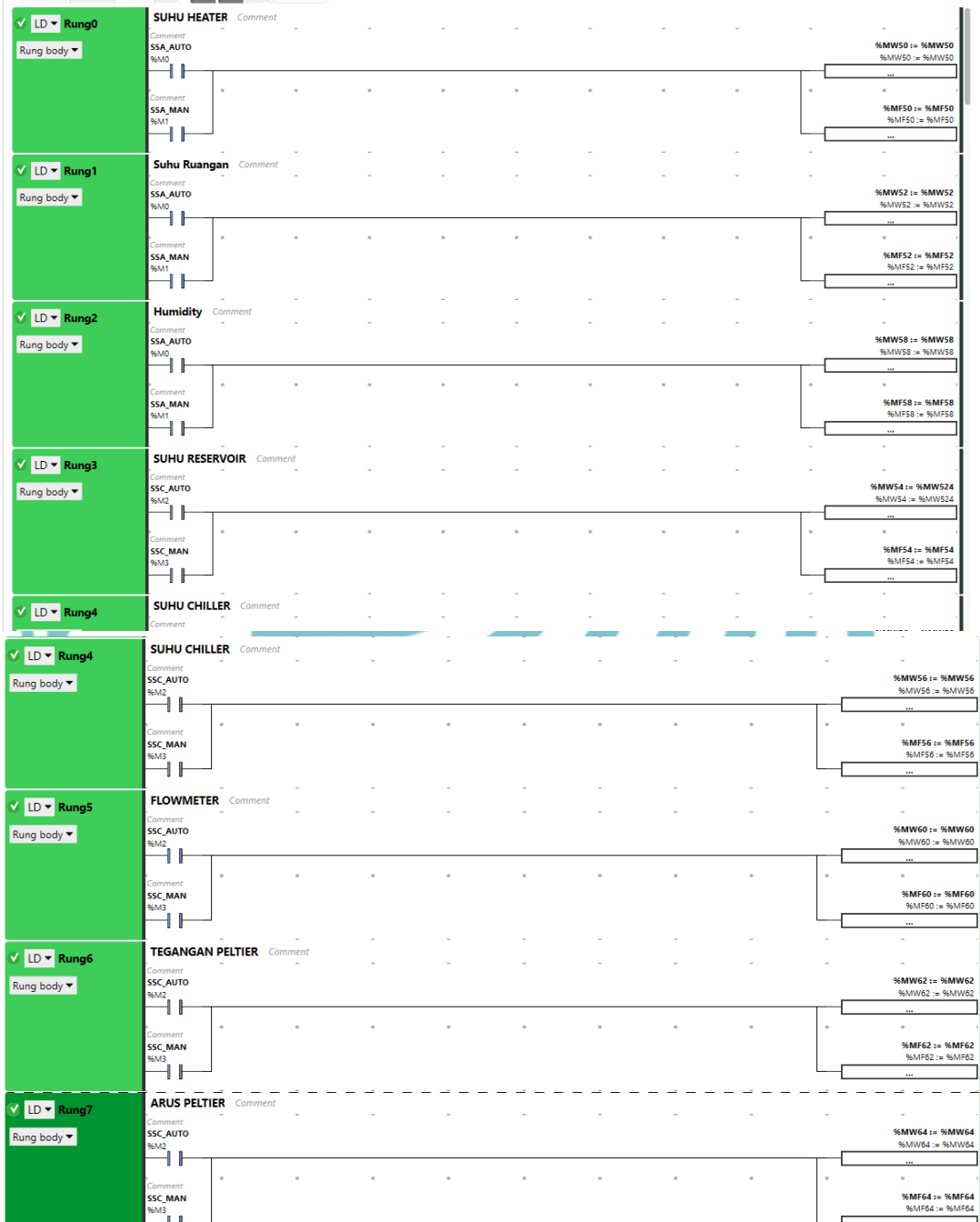




Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

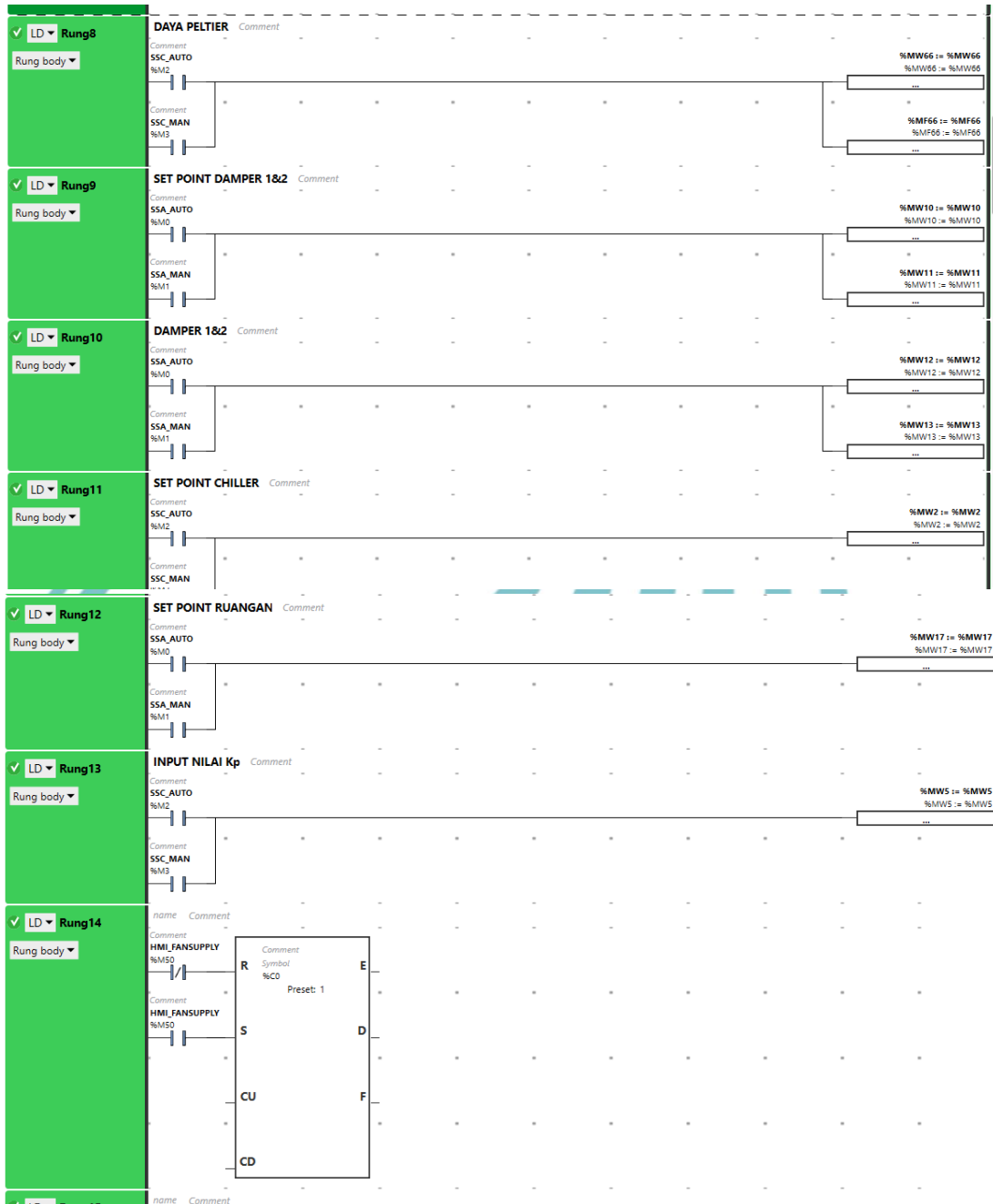




Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerjemahan 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

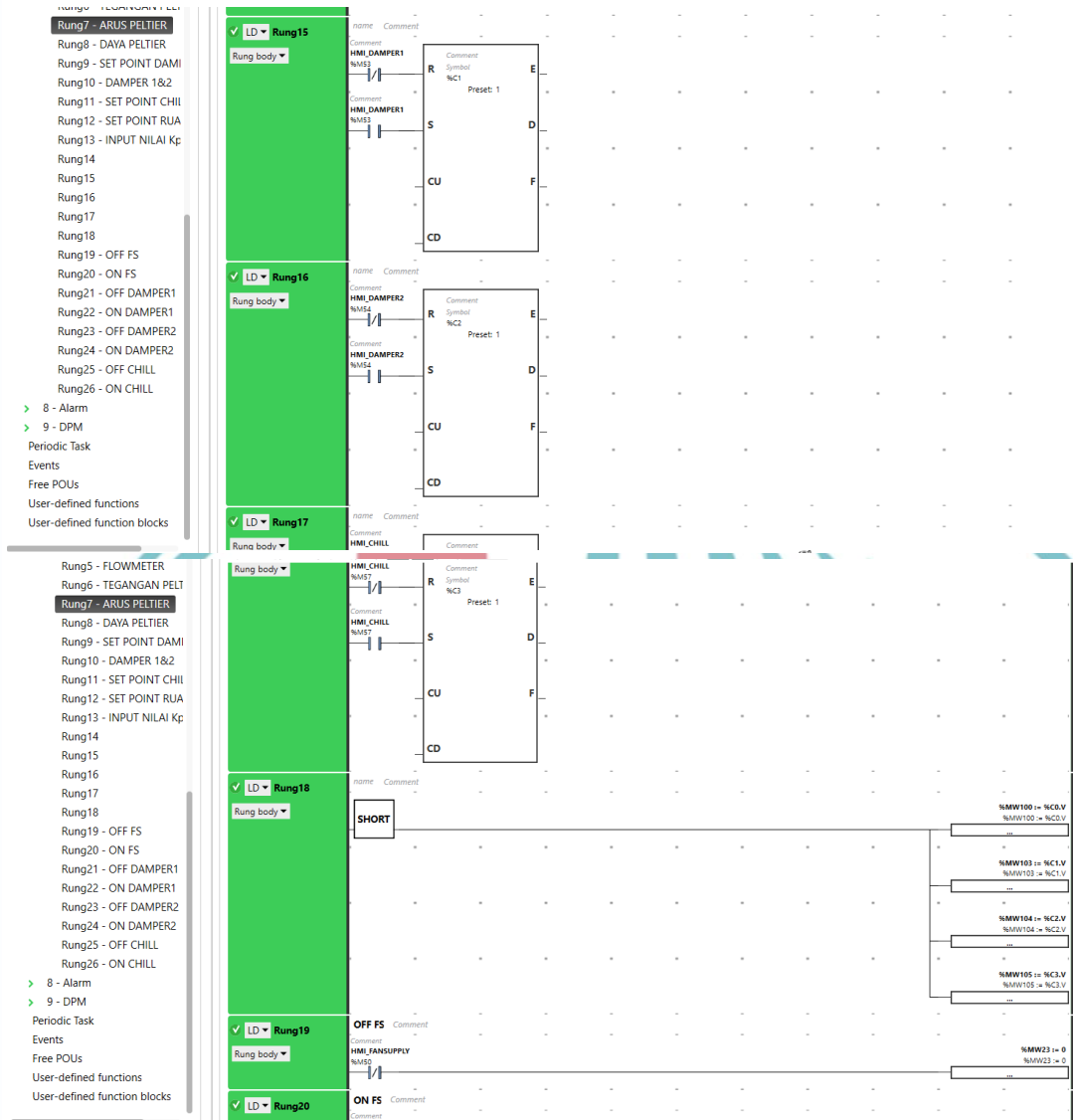




Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan 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:

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

Rung6 - TEGANGAN PELT

Rung7 - ARUS PELTIER

Rung8 - DAYA PELTIER

Rung9 - SET POINT DAMI

Rung10 - DAMPER 1&2

Rung11 - SET POINT CHIL

Rung12 - SET POINT RUA

Rung13 - INPUT NILAI Kp

Rung14

Rung15

Rung16

Rung17

Rung18

Rung19 - OFF FS

Rung20 - ON FS

Rung21 - OFF DAMPER1

Rung22 - ON DAMPER1

Rung23 - OFF DAMPER2

Rung24 - ON DAMPER2

Rung25 - OFF CHILL

Rung26 - ON CHILL

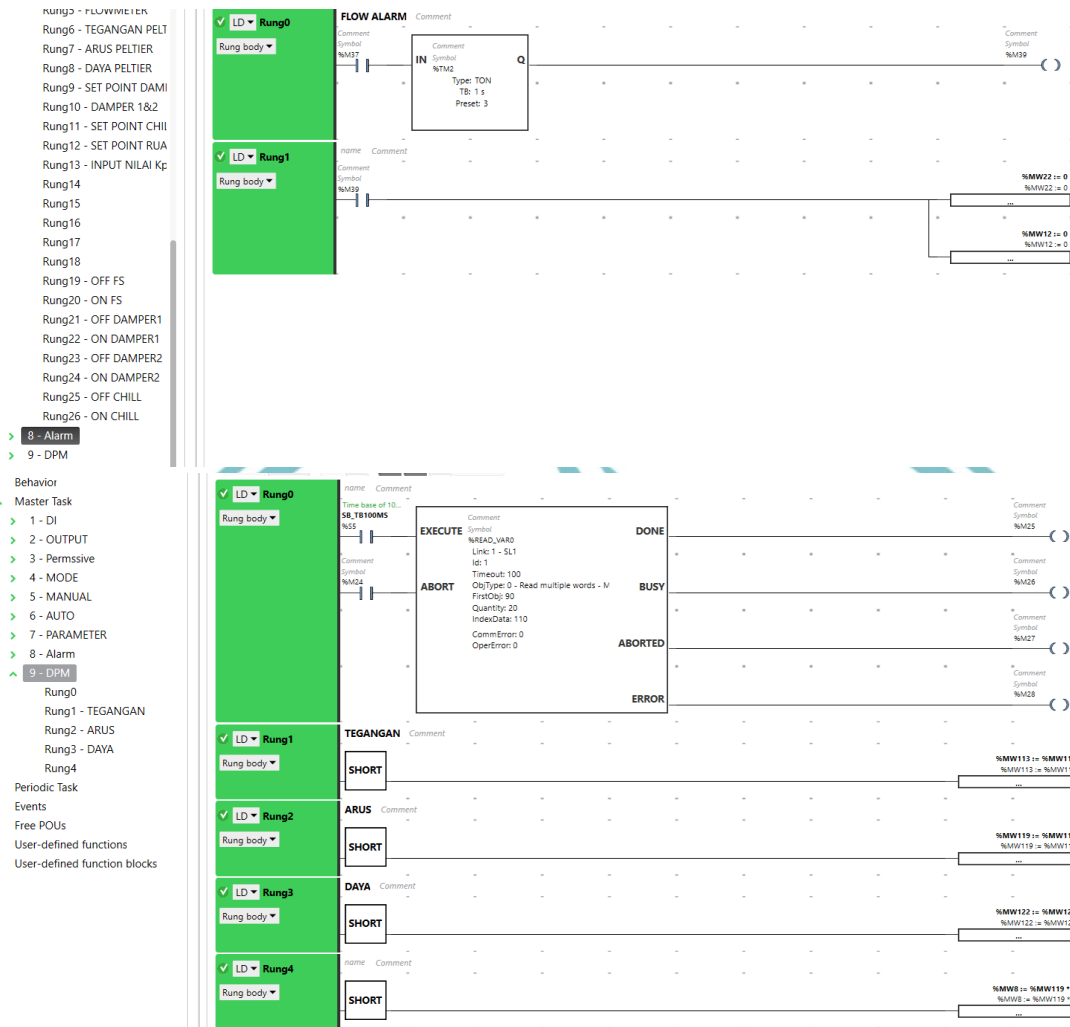
Rung	Logic	Comment	Inputs	Outputs
Rung19	LD	OFF FS	HMI_FANSUPPLY NM150	%MW23 := 0 %MW23 := 0
Rung20	LD	ON FS	HMI_FANSUPPLY NM150	%MW23 := %MW100 %MW23 := %MW100
Rung21	LD	OFF DAMPER1	HMI_DAMPER1 NM153	%MW20 := 0 %MW20 := 0
Rung22	LD	ON DAMPER1	HMI_DAMPER1 NM153	%MW20 := %MW103 %MW20 := %MW103
Rung23	LD	OFF DAMPER2	HMI_DAMPER2 NM154	%MW21 := 0 %MW21 := 0
Rung24	LD	ON DAMPER2	HMI_DAMPER2 NM154	%MW21 := %MW104 %MW21 := %MW104
Rung25	LD	OFF CHILL	HMI_CHILL NM157	%MW22 := 0 %MW22 := 0
Rung26	LD	ON CHILL	HMI_CHILL NM157	%MW22 := %MW105 %MW22 := %MW105



© 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





© 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 5 Proses Perakitan Alat

