



© 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 PEMROGRAMAN PLC PADA SISTEM AHU
BERBASIS CHILLER TERMOELEKTRIK (Peltier)**

SKRIPSI

FERY ANDRIAWAN

2203411008

**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 PEMROGRAMAN PLC PADA SISTEM AHU BERBASIS CHILLER TERMOELEKTRIK (PELTIER)

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

FERY ANDRIAWAN

2203411008

PROGRAM STUDI TEKNIK OTOMASI LISTRIK INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Fery Andriawan

NIM : 2203411008

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 Juni 2026

**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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan oleh :

Nama : Fery Andriawan

NIM : 2203411008

Program Studi : Teknik Otomasi Listrik Industri

Judul Tugas Akhir : Implementasi Pemrograman PLC Pada Sistem AHU
Berdasarkan Chiller Termoelektrik (Peltier)

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada Selasa, 30 Juni 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing I : Hatib Setiana, S.T., M.T
NIP.1966090120001210001

Pembimbing II : Nagib Muhammad, S.T., M.T.,
NIP. 199406052022031007

Depok, 30 Juni 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyaniti, 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi Pemrograman PLC pada Sistem AHU Berbasis Chiller Termoelektrik (Peltier)” dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Terapan pada Politeknik Negeri Jakarta.

Skripsi ini membahas mengenai perancangan dan implementasi sistem monitoring suhu pada Air Handling Unit (AHU) berbasis chiller termoelektrik (Peltier) menggunakan Programmable Logic Controller (PLC). Sistem yang dikembangkan bertujuan untuk melakukan pemantauan suhu secara real-time melalui integrasi sensor suhu dengan PLC sehingga proses monitoring menjadi lebih cepat, akurat, dan mudah dioperasikan. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif pengembangan sistem HVAC skala laboratorium yang lebih sederhana, efisien, dan ramah lingkungan.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sejak masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Hatib Setiana, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan Skripsi ini;
2. Bapak Nagib Muhammad, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan Skripsi ini;
3. Bapak/Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu pengetahuan, wawasan, dan pengalaman yang sangat berharga bagi penulis selama menempuh studi di Jurusan Teknik Elektro.
4. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;



© 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

5. Syfa Amalia yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.

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

Depok, 30 Juni 2026

Fery Andriawan





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 Pemrograman PLC Pada Sistem AHU Berbasis Chiller Termoelektrik (Peltier).

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem otomasi kontrol pada miniatur *Air Handling Unit* (AHU) berbasis *chiller* termoelektrik (Peltier) menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) Schneider Modicon TM221CE16R. Sistem pendingin konvensional sering kali memiliki struktur mekanis yang kompleks dan penggunaan refrigeran yang kurang ramah lingkungan, sehingga penggunaan modul Peltier dipilih sebagai alternatif pendingin yang kompak dan presisi untuk skala laboratorium. Fokus utama penelitian ini adalah implementasi pemrograman logika *Ladder Diagram* pada PLC untuk mengatur sekuens operasional aktuator—meliputi pompa sirkulasi, kipas AHU, elemen Peltier, dan pemanas—dengan menerapkan sistem *interlocking* untuk menjamin keamanan operasional dan mencegah kerusakan termal. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan protokol komunikasi Modbus TCP/IP untuk menghubungkan PLC dengan mikrokontroler ESP32 sebagai unit akuisisi data sensor serta antarmuka HMI dan sistem SCADA untuk pengawasan terpusat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa logika pemrograman PLC berhasil mengelola sistem secara otomatis, aman, dan responsif dengan tingkat kegagalan pengiriman data (*packet loss*) sebesar 0% dalam komunikasi Modbus. Implementasi ini membuktikan bahwa integrasi PLC pada sistem AHU berbasis Peltier mampu menghasilkan kontrol tata udara yang stabil, terstruktur, dan memiliki sistem proteksi (*alarm handling*) yang andal terhadap anomali temperatur, menjadikannya solusi otomasi yang efektif untuk sistem tata udara skala kecil.

Kata Kunci: *PLC, AHU, Peltier, Modbus TCP/IP, Otomasi Industri, Sistem Kontrol.*



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 PLC Programming on AHU Based on Thermoelectric Chiller (Peltier)

Abstract

This study aims to design and implement an automated control system for a laboratory-scale Air Handling Unit (AHU) based on a thermoelectric (Peltier) chiller using a Schneider Modicon TM221CE16R Programmable Logic Controller (PLC). Conventional cooling systems often involve complex mechanical structures and environmentally unfriendly refrigerants; therefore, Peltier modules were selected as a compact and precise cooling alternative for laboratory scale. The primary focus of this research is the implementation of Ladder Diagram logic programming on the PLC to manage the operational sequence of actuators—including circulation pumps, AHU fans, Peltier elements, and heaters—by applying an interlocking system to ensure operational safety and prevent thermal damage. Furthermore, this research integrates the Modbus TCP/IP communication protocol to connect the PLC with an ESP32 microcontroller as a sensor data acquisition unit, as well as an HMI and SCADA system for centralized supervision. Testing results demonstrate that the PLC logic programming successfully manages the system automatically, safely, and responsively, with a 0% packet loss rate in Modbus communication. This implementation proves that the integration of a PLC into a Peltier-based AHU system is capable of producing stable and structured air conditioning control with reliable alarm handling against temperature anomalies, making it an effective automation solution for small-scale air handling systems.

Keywords: PLC, AHU, Peltier, Modbus TCP/IP, Industrial Automation, Control System.



© 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

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
Abstrak	vii
<i>Abstract</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Luaran.....	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 PLC (Programmable Logic Controller)	6
2.2.1 Spesifikasi PLC Schneider TM221CE16R.....	8
2.2.2 Komponen PLC	8
2.2.3 Prinsip Kerja PLC.....	10
2.2.4 Komunikasi dan Protokol PLC.....	10
2.2.5 Simbol dan Instruksi Dasar PLC	11
2.3 ESP32.....	15
2.4 Human Machine Interface (HMI)	16
2.5 Modul Termoelektrik (Peltier)	17



© 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

2.6 Pompa DC	18
2.7 Sensor	19
2.7.1 Sensor DHT22	19
2.7.2 Sensor DS18B20	20
BAB III	21
PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM	21
3.1 Perancangan Sistem	21
3.1.1 Deskripsi Kerja Sistem	21
3.1.2 Desain Sistem	22
3.1.3 Cara Kerja Sistem	24
3.1.4 Diagram Blok Sistem	29
3.1.5 Arsitektur Komponen	30
3.1.6 Spesifikasi Sistem	30
3.2 Realisasi Alat	37
3.2.1 Mapping I/O Pada PLC	38
3.2.2 Konfigurasi Modbus TCP/IP Pada PLC	41
BAB IV	43
PEMBAHASAN	43
4.1 Pengujian Program Mode Manual	43
4.1.1 Deskripsi Pengujian	43
4.1.2 Prosedur Pengujian	43
4.1.3 Data Hasil Pengujian	44
4.1.4 Analisa Data	45
4.2 Program Pengujian Pada Mode Auto	47
4.2.1 Deskripsi Pengujian	48
4.2.2 Data Hasil Pengujian	48
4.3 Pengujian Pembacaan Sensor Suhu	50
4.3.1 Deskripsi Pengujian	50
4.3.2 Prosedur Pengujian	50
4.3.3 Data Hasil Pengujian	50



© 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

4.4 Pengujian dan Pembahasan Konfigurasi Jaringan Modbus TCP/IP	51
4.4.1 Topologi dan Parameter IP Address Jaringan	52
4.4.2 Konfigurasi Modbus TCP/IP pada Perangkat	52
4.4.3 Hasil Pemetaan Data Register (<i>Register Mapping Verification</i>)	53
4.4.4 Analisis Performa dan Keandalan Komunikasi (<i>Ping & Data Rate</i>)	54
BAB V	55
PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS	59
LAMPIRAN	60

**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 TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi PLC	8
Tabel 3. 1 Tabel Komponen	30
Tabel 3. 2 Alamat Input PLC.....	38
Tabel 3. 3 Alamat Output PLC.....	38
Tabel 3. 4 Konfigurasi Alamat HMI	38
Tabel 3. 5 Komunikasi Modbus TCP/IP	42



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 GAMBAR

Gambar 2. 1 Gambar PLC SCHNEIDER TM221CE16R	7
Gambar 2. 2 Simbol Normally Open Contact (NO)	12
Gambar 2. 3 Simbol Normally Closed Contact (NC)	12
Gambar 2. 4 Simbol Output Coil	12
Gambar 2. 5 Simbol SET	13
Gambar 2. 6 Simbol RESET	13
Gambar 2. 7 Simbol Timer ON Delay (TON).....	14
Gambar 2. 8 Simbol Counter Up (CTU).....	14
Gambar 2. 9 Simbol Comparator	14
Gambar 2. 10 Gambar ESP 32	16
Gambar 2. 11 Gambar Human Machine Interface (HMI).....	16
Gambar 2. 12 Peltier TEC-12706.....	17
Gambar 2. 13 Gambar Pompa DC	19
Gambar 2. 14 DHT22.....	20
Gambar 2. 15 DS18B20 Sumber : DS18B20 Temperature Sensor - Datasheet Hub	20
Gambar 3. 1 Gambar Arsitektur Bagian Bawah.....	22
Gambar 3. 2 Arsitektur Bagian Tengah.....	23
Gambar 3. 3 Arsitektur Bagian Atas	24
Gambar 3. 4 Flow Chart Pemilihan Mode	25
Gambar 3. 5 Flowchart Mode Manual	26
Gambar 3. 6 Mode Otomatis.....	28
Gambar 3. 7 Diagram Blok Sistem	29
Gambar 3. 8 Arsitektur Komponen	30
Gambar 3. 9 Program Input PLC Pada Sistem HVAC.....	40
Gambar 3. 10 Gambar Monitoring Tegangan, Arus, Daya	41
Gambar 3. 11 Program komunikasi ESP32 Pada Sistem Chiller dan AHU.....	41
Gambar 3. 12 Konfigurasi Alamat IP PLC	42
Gambar 4. 1 Rung Input pada Mode Manual.....	45
Gambar 4. 2 Rung Memory Input Pada Mode Manual.....	46
Gambar 4. 3 Rung Memory Input Pada Mode Manual.....	46
Gambar 4. 4 Rung Output Pada Mode Manual.....	47
Gambar 4. 5 Pengujian Mode Auto	48
Gambar 4. 6 Rung Pengujian Peltier.....	48
Gambar 4. 7 Rung Pump WTPendingin	49
Gambar 4. 8 Rung Fan Fresh Air	49
Gambar 4. 9 Rung Fan Return Air	49
Gambar 4. 10 Hasil Thermogun.....	51



© 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

Gambar 4. 11 Suhu Ruangan Pada HMI 51





© 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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Wiring	60
Lampiran 2 Gambar Program.....	61
Lampiran 3 Layout Peltier	68
Lampiran 4 Dokumentasi Alat	69



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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi otomasi industri dan sistem manajemen bangunan modern telah mendorong penggunaan sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC) yang semakin luas pada sektor industri, perkantoran, rumah sakit, maupun fasilitas publik lainnya. Sistem HVAC berfungsi untuk mengatur temperatur, kelembapan, kebersihan udara, dan sirkulasi udara sehingga mampu menciptakan kondisi lingkungan yang nyaman serta sesuai dengan kebutuhan operasional suatu bangunan. Selain berperan dalam meningkatkan kenyamanan penghuni, sistem HVAC juga menjadi salah satu komponen dengan konsumsi energi terbesar pada bangunan modern sehingga diperlukan pengelolaan dan pengendalian yang efektif untuk meningkatkan efisiensi energi (Maulana et al., 2023).

Salah satu komponen utama pada sistem HVAC adalah *Air Handling Unit* (AHU). AHU merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengolah dan mendistribusikan udara ke dalam ruangan melalui proses penyaringan, pengaturan suhu, serta pengaturan kelembapan udara. Kinerja AHU yang baik sangat berpengaruh terhadap kualitas udara dan kestabilan kondisi lingkungan di dalam bangunan. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian dan pemantauan yang mampu menjaga parameter operasional AHU agar tetap berada pada kondisi yang diinginkan (Fahri et al., 2021).

Seiring dengan perkembangan konsep Industri 4.0, kebutuhan terhadap sistem monitoring secara real-time semakin meningkat. Sistem monitoring memungkinkan operator memperoleh informasi kondisi peralatan secara langsung sehingga proses pengawasan dan pengambilan keputusan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan akurat. Penggunaan *Programmable Logic Controller* (PLC) yang terintegrasi dengan *Human Machine Interface* (HMI) maupun *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) telah banyak diterapkan pada sistem industri karena mampu

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

meningkatkan efektivitas monitoring, pengendalian, dan pencatatan data operasional secara berkelanjutan (Maulana et al., 2023; Pratama, 2025).

Penelitian mengenai implementasi PLC pada sistem AHU menunjukkan bahwa penggunaan PLC mampu meningkatkan fleksibilitas pengendalian, mempermudah proses integrasi sensor dan aktuator, serta mendukung pengoperasian sistem secara otomatis maupun manual. Selain itu, integrasi HMI dan SCADA memungkinkan visualisasi parameter operasi secara real-time sehingga kondisi sistem dapat dipantau dengan lebih mudah oleh operator (Aldian, 2025; Pratama, 2025).

Pada umumnya, sistem pendinginan yang digunakan pada AHU memanfaatkan siklus refrigerasi kompresi uap dengan refrigeran sebagai media perpindahan panas. Meskipun memiliki kemampuan pendinginan yang baik, sistem tersebut memerlukan komponen mekanis yang relatif kompleks, konsumsi energi yang cukup besar, serta biaya pemeliharaan yang tidak sedikit. Oleh karena itu, diperlukan alternatif teknologi pendinginan yang lebih sederhana, mudah diterapkan, dan ramah lingkungan terutama untuk pengembangan sistem skala laboratorium maupun prototipe. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah sistem pendingin termoelektrik berbasis modul Peltier (Zhang et al., 2022).

Modul Peltier bekerja berdasarkan efek termoelektrik, yaitu perpindahan panas akibat aliran arus listrik yang menghasilkan sisi panas dan sisi dingin pada modul. Teknologi ini memiliki beberapa keunggulan, antara lain tidak menggunakan refrigeran, memiliki ukuran yang kompak, tidak memiliki bagian yang bergerak, serta relatif mudah dalam proses instalasi dan pemeliharaan. Karakteristik tersebut menjadikan modul Peltier berpotensi digunakan sebagai alternatif sistem pendinginan pada aplikasi skala kecil dan menengah yang memerlukan sistem pendingin sederhana dan ramah lingkungan (Khalifa et al., 2023).

Meskipun penelitian mengenai sistem AHU berbasis PLC maupun sistem pendingin termoelektrik telah banyak dilakukan secara terpisah, penelitian yang mengintegrasikan sistem monitoring PLC pada AHU berbasis chiller termoelektrik masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian berfokus pada sistem monitoring AHU konvensional atau pengujian performa modul Peltier tanpa integrasi dengan sistem otomasi industri. Padahal, integrasi antara PLC, sistem monitoring real-time,

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

dan teknologi pendingin termoelektrik berpotensi menghasilkan sistem AHU yang lebih sederhana, mudah dipantau, dan sesuai untuk kebutuhan pembelajaran maupun penelitian di bidang otomasi industri dan HVAC.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengimplementasikan sistem monitoring berbasis PLC pada *Air Handling Unit* (AHU) yang menggunakan chiller termoelektrik (Peltier) sebagai sumber pendingin. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memonitor kondisi operasional AHU secara *real-time*, mempermudah proses pengawasan sistem, serta menjadi alternatif pengembangan sistem HVAC skala miniatur yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan struktur pemrograman PLC (Ladder Diagram) untuk mengendalikan sekuens operasional perangkat utama (Pompa DC, Pompa AC, modul Peltier, *Heater*, dan *Fan*) baik dalam mode manual, otomatis, maupun mode proteksi gangguan?
2. Bagaimana mengonfigurasi arsitektur komunikasi protokol Modbus TCP/IP untuk mengintegrasikan PLC Schneider TM221CE16R dengan mikrokontroler ESP32 (sebagai sub-modul akuisisi data sensor) serta antarmuka HMI Haiwell B7H-W dan Haiwell Cloud SCADA?
3. Bagaimana performa dan tingkat keberhasilan logika pemrograman PLC yang telah diimplementasikan saat diuji pada prototipe sistem AHU berbasis *chiller* termoelektrik dalam mengondisikan parameter?

1.3 Tujuan

1. Merancang, membuat, dan menguji kode pemrograman pada PLC Schneider TM221CE16R untuk mengatur kerja aktuator sistem AHU dan *chiller* Peltier secara aman, terstruktur, dan presisi.
2. Mengimplementasikan pemetaan data register (*I/O mapping*) dan jaringan komunikasi Modbus TCP/IP guna menghubungkan program PLC dengan modul akuisisi data sensor berbasis ESP32, visualisasi HMI lokal, serta pemantauan terpusat via SCADA



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. Menganalisis keandalan dan efektivitas logika kontrol program PLC (operasi manual, otomatisasi, dan respon *alarm protection*) terhadap pengondisian sistem tata udara miniatur AHU.

1.4 Luaran

1. Produk berupa program aplikasi PLC (berbasis *Ladder Diagram*) dan sistem kontrol terintegrasi yang tertanam pada prototipe fisik AHU berbasis *chiller* termoelektrik.
2. Buku Laporan Skripsi/Tugas Akhir mengenai implementasi pemrograman otomasi industri pada HVAC termoelektrik yang valid dan dapat dijadikan referensi akademis bagi penelitian selanjutnya.
3. Manuskrip Artikel Ilmiah yang merangkum metodologi perancangan program, arsitektur komunikasi Modbus, dan hasil analisis sistem kendali PLC-HMI untuk dipublikasikan pada seminar nasional atau jurnal teknologi terkait.

**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 perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan pada sistem AHU berbasis chiller termoelektrik (Peltier) yang dikendalikan oleh PLC Schneider TM221CE16R, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. **Keberhasilan Implementasi Logika Kendali:** Pemrograman PLC dengan bahasa *Ladder Diagram* berhasil diimplementasikan secara terstruktur untuk mengelola sekuens operasional sistem, mulai dari *start-up* hingga *shutdown* otomatis, dengan sistem *interlock* yang memastikan keamanan termal komponen.
2. **Efektivitas Integrasi Komunikasi Industri:** Konfigurasi jaringan komunikasi Modbus TCP/IP terbukti andal dalam mengintegrasikan perangkat lintas vendor. Sistem berhasil mencapai tingkat kegagalan pengiriman data (**packet loss**) sebesar **0%** dari total 1.200 siklus pengiriman data berkala, dengan latensi komunikasi antara ESP32 ke PLC berkisar antara **2 ms hingga 7 ms**.
3. **Efektivitas Sistem Proteksi:** Logika pemrograman *Fault Handling* pada PLC memberikan respon proteksi yang instan, termasuk memicu alarm dan pemutusan daya saat terdeteksi anomali. Sistem mampu memetakan data sensor dengan akurat, di mana nilai suhu riil (contoh: 15,4 °C) dikonversi dan terbaca dengan presisi pada register PLC (%MW100) sebagai angka integer 154, yang kemudian ditampilkan secara tepat pada HMI/SCADA.
4. **Kinerja Sistem AHU:** Kombinasi kontrol PLC dengan modul Peltier pada sistem AHU skala laboratorium mampu menghasilkan pengondisian udara yang stabil. Pengujian pada kecepatan kipas menunjukkan kemampuan sistem untuk melakukan penyesuaian otomatis, di mana kipas dapat beroperasi pada kecepatan **3000 RPM** saat *start-up* dan melakukan penurunan kecepatan secara bertahap ke **2500 RPM** serta **2300 RPM** setelah mencapai *set point* suhu ruangan yang ditentukan. Kesesuaian pembacaan sensor juga telah divalidasi

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

dengan tingkat akurasi tinggi, di mana pembacaan suhu ruangan pada HMI menunjukkan hasil yang identik dengan pengukuran menggunakan termometer digital (contoh: 30,4 °C).

5.2 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan penelitian selanjutnya, disarankan beberapa hal berikut:

1. Pengembangan Algoritma Kontrol: Mengingat sistem ini saat ini menggunakan kontrol *On/Off*, disarankan untuk mengimplementasikan algoritma kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) pada program PLC guna mencapai kestabilan suhu yang lebih presisi dengan fluktuasi yang lebih minim.
2. Optimalisasi *Power Management*: Menambahkan modul *Pulse Width Modulation* (PWM) yang dikendalikan oleh PLC untuk mengatur daya masukan ke elemen Peltier, sehingga konsumsi energi dapat lebih dioptimalkan berdasarkan beban termal yang aktual.
3. Redundansi Jaringan: Untuk aplikasi yang lebih luas, dapat ditambahkan konfigurasi *redundancy* pada jaringan komunikasi untuk mengantisipasi kegagalan koneksi Ethernet, sehingga kontrol sistem tetap dapat berjalan dalam kondisi darurat.
4. Penambahan Sensor Lingkungan: Menambahkan sensor kualitas udara (*Air Quality Sensor*) seperti CO₂ atau VOC untuk memperluas fungsi AHU sebagai sistem *Smart Building* yang lebih komprehensif.



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

1. Aldian, R. (2025). *Pengembangan Modul Akuisisi Data Sensor Lingkungan Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Protokol Modbus TCP/IP*. Jurnal Otomasi dan Teknologi Industri, 12(1), 45-53.
2. Dharmawati, I. (2024). *Analisis Efisiensi Termal Sistem Pendingin Thermoelectric Cooler (TEC) pada Media Air*. Jurnal Teknik Energi dan Kelistrikan, 16(2), 112-120.
3. Fadhil, M. (2025). *Aplikasi PLC Schneider Modicon Series dalam Otomasi Sistem Manajemen Gedung*. Jakarta: Penerbit Teknik Utama.
4. Fahri, A., Handoko, T., & Nugroho, B. (2021). *Penerapan Komunikasi Data Modbus TCP/IP pada Integrasi Sistem Monitoring Fasilitas Industri*. Elektronika dan Otomasi Industri (ELO), 8(3), 204-211.
5. Khalifa, A. H., Al-Jubouri, W. M., & Jasim, A. H. (2023). *Performance Enhancement of Air Handling Unit (AHU) Integrated with Thermoelectric Cooling Modules*. International Journal of Thermofluid Science and Technology, 10(2), 89-102.
6. Maulana, M. S., & Marfin, R. (2023). *Sistem Monitoring dan Kontrol Temperatur Ruangan pada HVAC Menggunakan Komunikasi Modbus*. Jurnal Rekayasa Elektro, 19(4), 231-238.
7. Maulana, A., Wijaya, S., & Lestari, D. (2023). *Otomasi Air Handling Unit (AHU) Berbasis Pengendali PLC untuk Penghematan Energi Bangunan Komersial*. Jurnal Teknik Otomasi Listrik Industri, 11(2), 75-84.
8. Pratama, A. Y. (2025). *Desain Implementasi Antarmuka Human Machine Interface (HMI) Lokal dan Cloud SCADA pada Sistem Kontrol Industri*. Jurnal Teknologi Sistem Kendali, 14(1), 15-26.
9. Setyo Supratno, B. (2025). *Sistem Komunikasi Data dan Akuisisi Data Sensor Menggunakan Modul Ethernet W5500 dan Mikrokontroler ESP32*. Jurnal Komputasi dan Jaringan Industri, 9(2), 101-109.



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

10. Sulistyio, B. (2024). *Karakteristik Pendinginan Modul Elemen Peltier TEC1-12706 pada Mini Chiller*. Jurnal Teknik Mesin dan Termal, 7(1), 34-42.
11. Wardhany, K., Setiawan, A., & Budiman, F. (2025). *Rancang Bangun Prototipe Sistem Tata Udara Presisi Menggunakan Elemen Termoelektrik*. Jurnal Otomasi Industri dan Instrumentasi, 17(1), 58-67.
12. Zhang, L., Wang, Y., & Liu, J. (2022). *Application and Control Strategies of Thermoelectric Cooling in Modern HVAC Systems: A Review*. Energy and Buildings, 258, 111-124.





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 PENULIS



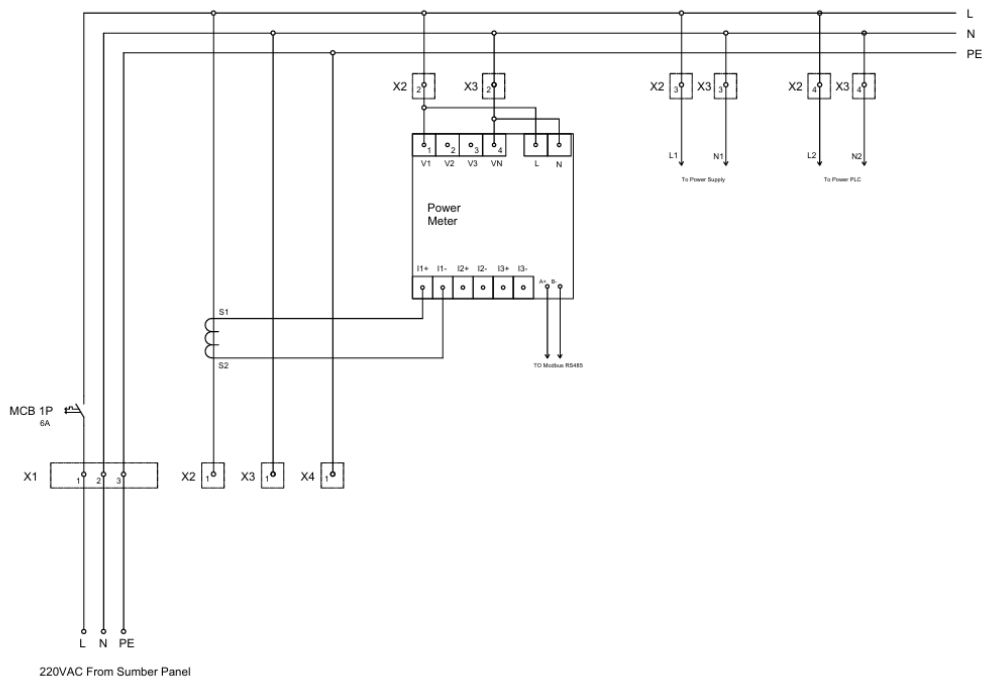
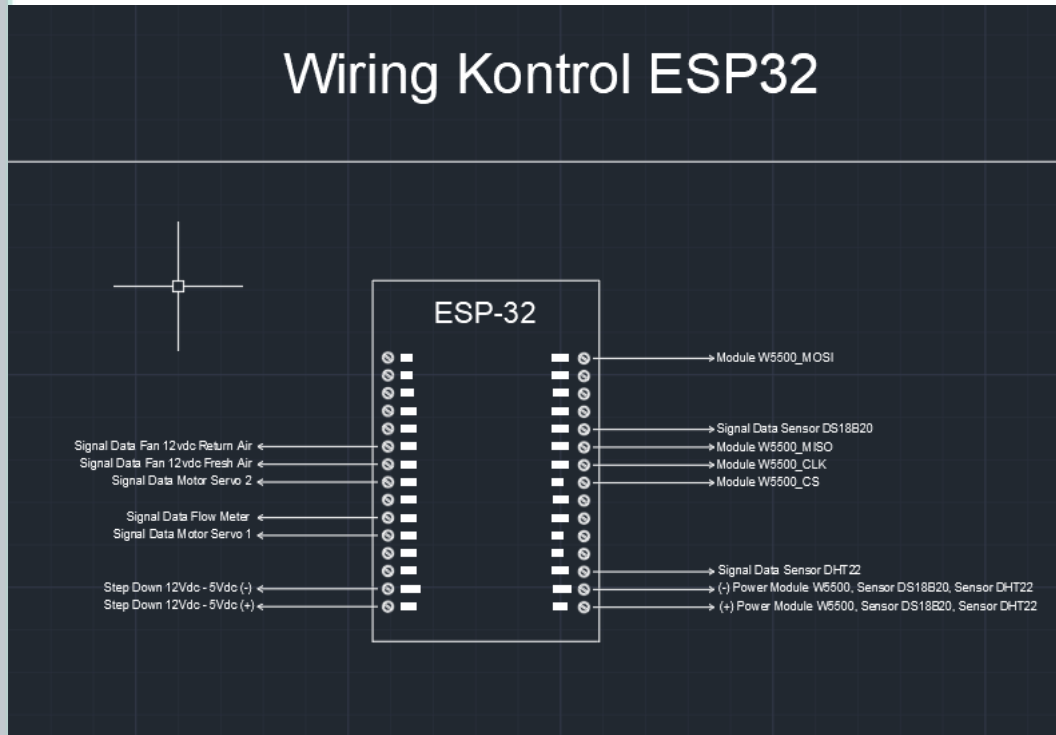
Fery Andriawan

Lulus dari SDN Cimandala 01 tahun 2015, SMPN 15 Bogor lulus tahun 2018, dan SMKN 1 Cibinong pada tahun 2022. Menempuh pendidikan di Politeknik Negeri Jakarta Jurusan Teknik Elektro Program Studi D-4 Teknik Otomasi Listrik Industri.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Wiring



- 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 2 Gambar Program

```

ProgramESP32HVAC_1_ESP32.ino  ModbusIP_ESP8266.h
1 #include <SPI.h>
2 #include <Ethernet.h>
3 #include <OneWire.h>
4 #include <DallasTemperature.h>
5 #include <DHT.h>
6 #include <ESP32Servo.h>
7
8 // ===== MAP PINOUT SISTEM =====
9 // --- MAP PINOUT SISTEM ---
10 // =====
11 #define ONE_WIRE_BUS 21 // Jalur data DS18B20 (2 Sensor Parallel) -> GPIO 21
12 #define PIN_FAN_SUPPLY 33 // Kabel Biru PWM Kipas Supply -> GPIO 33
13 #define PIN_FAN_EXHAUST 32 // Kabel Biru PWM Kipas Exhaust -> GPIO 32
14 #define DHTPIN 15 // Jalur data DATA DHT22 -> GPIO 15
15 #define DHTTYPE DHT22
16 #define PIN_SERVO_1 14 // Sinyal Data Motor Servo 1 -> GPIO 14
17 #define PIN_SERVO_2 25 // Sinyal Data Motor Servo 2 -> ANAK DI GPIO 25 (Bebas Error MD5)
18 #define PIN_FLOW_METER 27 // Sinyal Pulsa Flow Meter -> GPIO 27
19
20 // --- CONFIGURATION PINOUT CHIP ETHERNET W5500 ---
21 #define W5500_CS 5
22 #define W5500_RST 26
23
24 // Parameter Khusus Kipas 4-Wire Standar Internasional
25 const int pwmFreq = 25000; // Frekuensi 25 kHz agar IC Kipas PC tidak berbunyi dengung
26 const int pwmResolution = 8; // Resolusi kontrol 8-bit (Range pulsa PWM 0 s.d 255)
27
28 // Variabel Global Khusus Perhitungan Flow Meter
29 volatile int pulseCount = 0;
30 float flowRate = 0.0;
31 unsigned long oldTime = 0;
32
33 // Fungsi Interrupt (ISR) untuk Menghitung Pulsa Flow Meter di Background
34 void ICACHE_RAM_ATTR pulseCounter() {
35   pulseCount++;
36 }
37
38 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
39 DallasTemperature sensors(&oneWire);
40 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
41
42 Servo myServo1;
43 Servo myServo2;
44 EthernetClient plcClient;
45
46 // Konfigurasi Alamat Jaringan LAN Modbus TCP
47 byte mac[] = { 0x0E, 0xAD, 0x0E, 0x0E, 0x0E, 0x01 };
48 IPAddress espIP(192, 168, 0, 100); // IP Address Board ESP32
49 IPAddress plcIP(192, 168, 0, 10); // IP Address PLC Schneider Modicon M221
50
51 uint16_t transactionId = 0;
52 int16_t registerBac[6] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0 }; // Wadah penampung data dari PLC (10%10-10%15)
53
54 // ===== WRITE MULTIPLE REGISTERS: KIRIM DATA SENSOR KE PLC (10%10 - 10%15) =====
55 // =====
56 void sendModbusWrite16(IPAddress ip, uint16_t startAddress, uint16_t numRegisters, int16_t* values) {
57   if (plcClient.connect(ip, 502)) {
58     transactionId++;
59     uint8_t byteCount = numRegisters * 2;
60     uint16_t packetLength = 7 + byteCount;
61     uint8_t packet[64];
62
63     packet[0] = transactionId >> 8; packet[1] = transactionId & 0xFF;
64     packet[2] = 0x00; packet[3] = 0x00;
65     packet[4] = packetLength >> 8; packet[5] = packetLength & 0xFF;
66     packet[6] = 0x01;
67
68     packet[7] = 0x10; // FC 0x10
69     packet[8] = startAddress >> 8; packet[9] = startAddress & 0xFF;
70     packet[10] = numRegisters >> 8; packet[11] = numRegisters & 0xFF;
71     packet[12] = byteCount;
72
73   }
74 }

```

```

ProgramESP32HVAC_1_ESP32.ino  ModbusIP_ESP8266.h
25 const int pwmFreq = 25000; // Frekuensi 25 kHz agar IC Kipas PC tidak berbunyi dengung
26 const int pwmResolution = 8; // Resolusi kontrol 8-bit (Range pulsa PWM 0 s.d 255)
27
28 // Variabel Global Khusus Perhitungan Flow Meter
29 volatile int pulseCount = 0;
30 float flowRate = 0.0;
31 unsigned long oldTime = 0;
32
33 // Fungsi Interrupt (ISR) untuk Menghitung Pulsa Flow Meter di Background
34 void ICACHE_RAM_ATTR pulseCounter() {
35   pulseCount++;
36 }
37
38 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
39 DallasTemperature sensors(&oneWire);
40 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
41
42 Servo myServo1;
43 Servo myServo2;
44 EthernetClient plcClient;
45
46 // Konfigurasi Alamat Jaringan LAN Modbus TCP
47 byte mac[] = { 0x0E, 0xAD, 0x0E, 0x0E, 0x0E, 0x01 };
48 IPAddress espIP(192, 168, 0, 100); // IP Address Board ESP32
49 IPAddress plcIP(192, 168, 0, 10); // IP Address PLC Schneider Modicon M221
50
51 uint16_t transactionId = 0;
52 int16_t registerBac[6] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0 }; // Wadah penampung data dari PLC (10%10-10%15)
53
54 // ===== WRITE MULTIPLE REGISTERS: KIRIM DATA SENSOR KE PLC (10%10 - 10%15) =====
55 // =====
56 void sendModbusWrite16(IPAddress ip, uint16_t startAddress, uint16_t numRegisters, int16_t* values) {
57   if (plcClient.connect(ip, 502)) {
58     transactionId++;
59     uint8_t byteCount = numRegisters * 2;
60     uint16_t packetLength = 7 + byteCount;
61     uint8_t packet[64];
62
63     packet[0] = transactionId >> 8; packet[1] = transactionId & 0xFF;
64     packet[2] = 0x00; packet[3] = 0x00;
65     packet[4] = packetLength >> 8; packet[5] = packetLength & 0xFF;
66     packet[6] = 0x01;
67
68     packet[7] = 0x10; // FC 0x10
69     packet[8] = startAddress >> 8; packet[9] = startAddress & 0xFF;
70     packet[10] = numRegisters >> 8; packet[11] = numRegisters & 0xFF;
71     packet[12] = byteCount;
72
73   }
74 }

```

```

ProgramESP32HVAC_1_ESP32.ino  ModbusIP_ESP8266.h
46 // Konfigurasi Alamat Jaringan LAN Modbus TCP
47 byte mac[] = { 0x0E, 0xAD, 0x0E, 0x0E, 0x0E, 0x01 };
48 IPAddress espIP(192, 168, 0, 100); // IP Address Board ESP32
49 IPAddress plcIP(192, 168, 0, 10); // IP Address PLC Schneider Modicon M221
50
51 uint16_t transactionId = 0;
52 int16_t registerBac[6] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0 }; // Wadah penampung data dari PLC (10%10-10%15)
53
54 // ===== WRITE MULTIPLE REGISTERS: KIRIM DATA SENSOR KE PLC (10%10 - 10%15) =====
55 // =====
56 void sendModbusWrite16(IPAddress ip, uint16_t startAddress, uint16_t numRegisters, int16_t* values) {
57   if (plcClient.connect(ip, 502)) {
58     transactionId++;
59     uint8_t byteCount = numRegisters * 2;
60     uint16_t packetLength = 7 + byteCount;
61     uint8_t packet[64];
62
63     packet[0] = transactionId >> 8; packet[1] = transactionId & 0xFF;
64     packet[2] = 0x00; packet[3] = 0x00;
65     packet[4] = packetLength >> 8; packet[5] = packetLength & 0xFF;
66     packet[6] = 0x01;
67
68     packet[7] = 0x10; // FC 0x10
69     packet[8] = startAddress >> 8; packet[9] = startAddress & 0xFF;
70     packet[10] = numRegisters >> 8; packet[11] = numRegisters & 0xFF;
71     packet[12] = byteCount;
72
73   }
74 }

```

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

```

ProgramESP32HVAC_1_ESP32 | Arduino IDE 2.3.6
File Edit Sketch Tools Help
Select Board

ProgramESP32HVAC_1_ESP32.ino
74 int pIndex = 1;
75 for (int i = 0; i < numRegisters; i++) {
76   packet[pIndex++] = values[i] >> 8;
77   packet[pIndex++] = values[i] & 0xFF;
78 }
79 plcClient.write(packet, 13 + byteCount);
80 plcClient.flush();
81
82 delay(15);
83 while(!plcClient.available()) { plcClient.read(); }
84 plcClient.stop(); // Kembali menggunakan penutupan koneksi agar buffer PLC bersih
85 Serial.println("-> [OK] Data Sensor sukses terkirim ke 3040-3044 PLC.");
86 } else {
87   Serial.println("-> [GAGAL] Pengiriman data sensor ke PLC terputus!");
88 }
89
90
91 // =====
92 // [C 000] READ HOLDING REGISTERS: AMU1 DATA PERINTAH & LESTRIK (0x00 - 0x05)
93 // =====
94 bool readHoldingRegisters(IPAddress ip, uint16_t startAddress, uint16_t numRegisters) {
95   if (!plcClient.connect(ip, 502)) {
96     transactionId++;
97     uint8_t packetLength = 6;
98     uint8_t packet[12];
99
100    packet[0] = transactionId >> 8; packet[1] = transactionId & 0xFF;
101    packet[2] = 0x00; packet[3] = 0x00;
102    packet[4] = packetLength >> 8; packet[5] = packetLength & 0xFF;
103    packet[6] = 0x00;
104
105    packet[7] = 0x00; // FC 0001
106    packet[8] = startAddress >> 8; packet[9] = startAddress & 0xFF;
107    packet[10] = numRegisters >> 8; packet[11] = numRegisters & 0xFF;
108
109    plcClient.write(packet, 12);
110    plcClient.flush();
111

```

```

ProgramESP32HVAC_1_ESP32 | Arduino IDE 2.3.6
File Edit Sketch Tools Help
Select Board

ProgramESP32HVAC_1_ESP32.ino
111
112 uint32_t timeout = millis();
113 while (!plcClient.available() < (0 + (numRegisters * 2))) {
114   if (millis() - timeout > 150) { plcClient.stop(); return false; }
115 }
116
117 for (int i = 0; i < 9; i++) { plcClient.read(); }
118
119 for (int i = 0; i < numRegisters; i++) {
120   uint8_t highByte = plcClient.read();
121   uint8_t lowByte = plcClient.read();
122   registerData[i] = (highByte << 8) | lowByte;
123 }
124 plcClient.stop(); // Kembali menggunakan penutupan koneksi agar buffer PLC bersih
125 return true;
126 }
127 return false;
128 }
129
130 // =====
131 // SETUP UTAMA
132 // =====
133 void setup() {
134   Serial.begin(115200);
135   delay(1000);
136   Serial.println("\n--- KEMBALI KE STRUKTUR ORIGINAL DENGAN PEBALIKAN PIN ---");
137
138   sensors.begin();
139   dht.begin();
140
141   // Diagnosis Sensor DS18B20 saat booting
142   int deviceCount = sensors.getDeviceCount();
143   Serial.printf("[DIAGNOSIS SENSOR] Jumlah DS18B20 terdeteksi: %d Sensor\n", deviceCount);
144
145   // Configuration Flow Meter
146   pinMode(PIN_FLOW_METER, INPUT_PULLUP);
147   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PIN_FLOW_METER), pulseCounter, RISING);
148

```

```

ProgramESP32HVAC_1_ESP32 | Arduino IDE 2.3.6
File Edit Sketch Tools Help
Select Board

ProgramESP32HVAC_1_ESP32.ino
149 // Hard Reset Fisik Modul Ethernet W5500
150 pinMode(W5500_RST, OUTPUT);
151 digitalWrite(W5500_RST, LOW);
152 delay(100);
153 digitalWrite(W5500_RST, HIGH);
154 delay(300);
155
156 // Alokasi Timer Servo (Timer 0 & 1)
157 ESP32PWM::allocateTimer(0);
158 ESP32PWM::allocateTimer(1);
159
160 myservo1.setPeriodicertz(50);
161 myservo1.attach(PIN_SERVO_1, 500, 2400);
162
163 myservo2.setPeriodicertz(50);
164 myservo2.attach(PIN_SERVO_2, 500, 2400);
165
166 // Alokasi Kipas PAM 4 wire
167 ledcAttach(PIN_FAN_SUPPLY, pwmFreq, pwmResolution);
168 ledcAttach(PIN_FAN_ENABLE, pwmFreq, pwmResolution);
169
170 // Mengaktifkan SPI Jaringan
171 SPI.begin();
172 Ethernet.init(W5500_CS);
173 Ethernet.begin(mac, espIP);
174
175 if (Ethernet.hardwareStatus() == EthernetNoHardware) {
176   Serial.println("CRITICAL ERROR: CHIP W5500 TIDAK MERESPONS!");
177   while (true) { delay(1000); }
178 }
179 Serial.println("Driver Ethernet Modbus TCP Siap.");
180 oldTime = millis();
181
182
183 // =====
184 // LOOP UTAMA
185 // =====

```

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

```

ProgramESP32HVAC_1_ESP32 | Arduino IDE 2.3.6
File Edit Sketch Tools Help
Select Board
ProgramESP32HVAC_1_ESP32.ino
182
183 // =====
184 // LOOP UTAMA
185 // =====
186 void loop() {
187   static uint32_t globalTimer = 0;
188
189   if (millis() - globalTimer >= 2000) {
190     unsigned long duration = millis() - oldTime;
191     globalTimer = millis();
192     oldTime = millis();
193     Serial.println("-----");
194
195     // ---- PROSES KALKULASI DEBIT AIR ----
196     float durationSec = (float)duration / 1000.0;
197     float pulseSetz = (float)pulseCount / durationSec;
198     floatRate = pulseSetz / 7.5;
199     pulseCount = 0;
200
201     // ---- PROSES 1: BACA SENSOR & KIRIM KE 3040-3044 PLC ----
202     sensors.requestTemperature(0);
203     float t1 = sensors.getTempCByIndex(0);
204     float t2 = sensors.getTempCByIndex(1);
205     float tdht = dht.readTemperature();
206     float hum = dht.readHumidity();
207
208     int16_t dataKirimPLC[5];
209     dataKirimPLC[0] = (isnan(t1) && t1 > -50) ? (int16_t)(t1 * 10) : 0; // 3040
210     dataKirimPLC[1] = (isnan(t2) && t2 > -50) ? (int16_t)(t2 * 10) : 0; // 3041
211     dataKirimPLC[2] = (isnan(tdht)) ? (int16_t)(tdht * 10) : 0; // 3042
212     dataKirimPLC[3] = (isnan(hum)) ? (int16_t)(hum * 10) : 0; // 3043
213     dataKirimPLC[4] = (int16_t)(floatRate * 10); // 3044
214
215     Serial.printf("SENSOR D01:%.1f°C | D02:%.1f°C | DHT:%.1f°C | Humi:%.1f%% | Flow:%.1f l/min\n",
216                 t1, t2, tdht, hum, floatRate);
217
218     sendModbusWrite(plcIP, 0, 5, dataKirimPLC);
219
Ln 1, Col 1 X No board selected

```

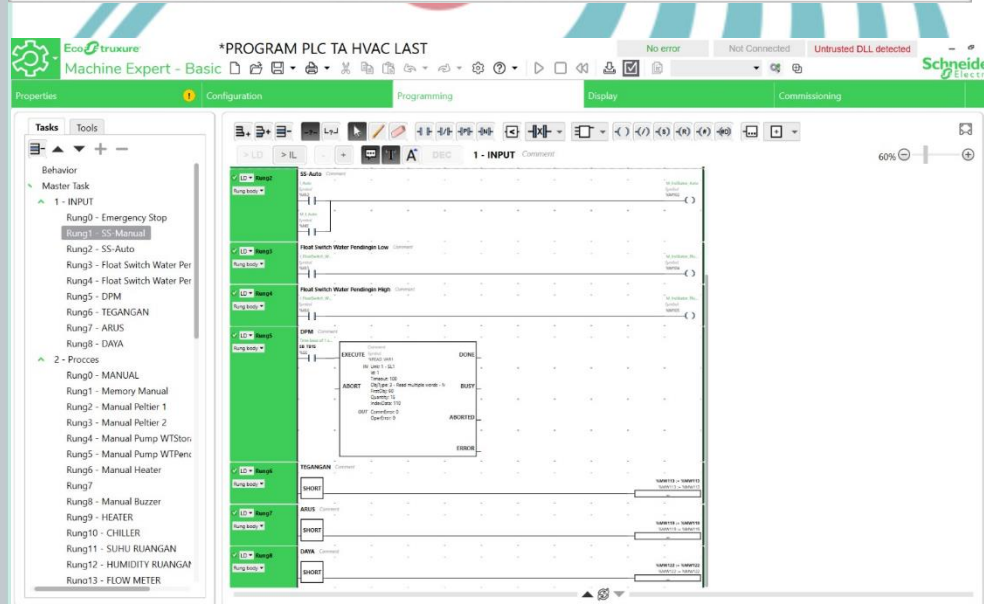
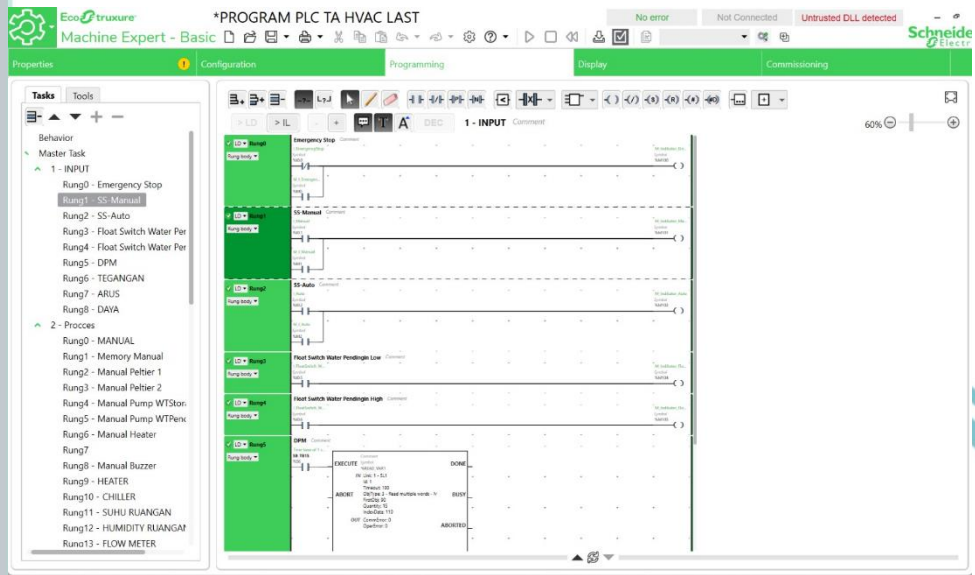
```

ProgramESP32HVAC_1_ESP32 | Arduino IDE 2.3.6
File Edit Sketch Tools Help
Select Board
ProgramESP32HVAC_1_ESP32.ino
211 dataKirimPLC[2] = (isnan(tdht)) ? (int16_t)(tdht * 10) : 0; // 3042
212 dataKirimPLC[3] = (isnan(hum)) ? (int16_t)(hum * 10) : 0; // 3043
213 dataKirimPLC[4] = (int16_t)(floatRate * 10); // 3044
214
215 Serial.printf("SENSOR D01:%.1f°C | D02:%.1f°C | DHT:%.1f°C | Humi:%.1f%% | Flow:%.1f l/min\n",
216             t1, t2, tdht, hum, floatRate);
217
218 sendModbusWrite(plcIP, 0, 5, dataKirimPLC);
219
220 delay(60);
221
222 // ---- PROSES 2: BACA REGISTER 30410-30415 PLC ----
223 if (readModbusRegisters(plcIP, 10, 6)) {
224   int16_t valSupply = constrain(registerBaca[0], 0, 100); // 30410
225   int16_t valExhaust = constrain(registerBaca[1], 0, 100); // 30411
226   int16_t valServo1 = constrain(registerBaca[2], 0, 180); // 30412
227   int16_t valServo2 = constrain(registerBaca[3], 0, 180); // 30413
228
229   int16_t teganganListrik = registerBaca[4]; // Dari 30414
230   int16_t arusListrik = registerBaca[5]; // Dari 30415
231
232   int pumSupply = map(valSupply, 0, 100, 0, 255);
233   int pumExhaust = map(valExhaust, 0, 100, 0, 255);
234
235   ledcWrite(PIN_FAN_SUPPLY, pumSupply);
236   ledcWrite(PIN_FAN_EXHAUST, pumExhaust);
237   myservo1.write(valServo1);
238   myservo2.write(valServo2);
239
240   Serial.printf("[PLC COMMAND] Fan Supply:%d%% | Fan Exhaust:%d%% | Servo 1:%d° | Servo 2:%d°\n",
241               valSupply, valExhaust, valServo1, valServo2);
242   Serial.printf("[DATA LISTRIK PLC] Tegangan 20C3: %d V | Arus 20C3: %d A\n",
243               teganganListrik, arusListrik);
244 } else {
245   Serial.println("-> [GAGAL] Gagal mengambil data dari PLC!");
246 }
Ln 1, Col 1 X No board selected

```

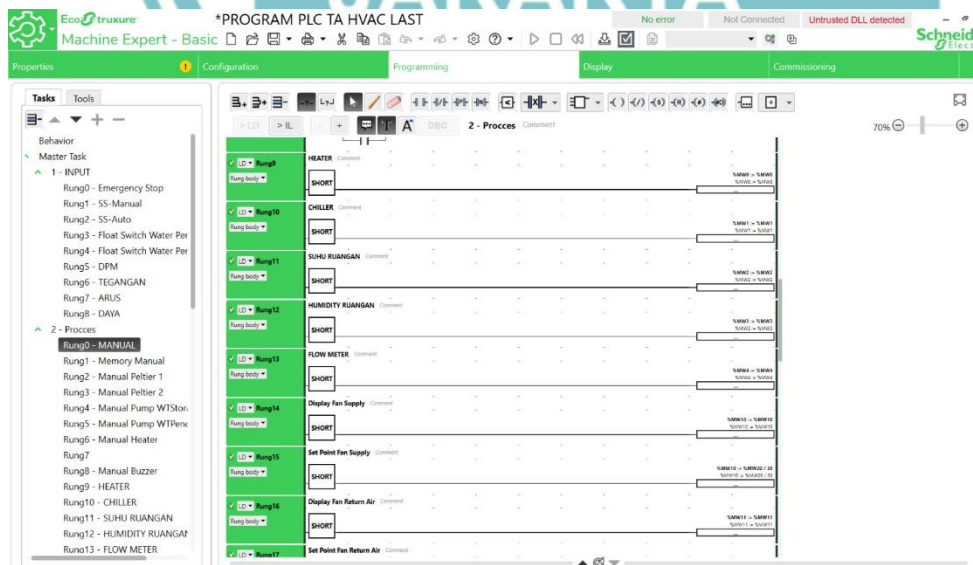
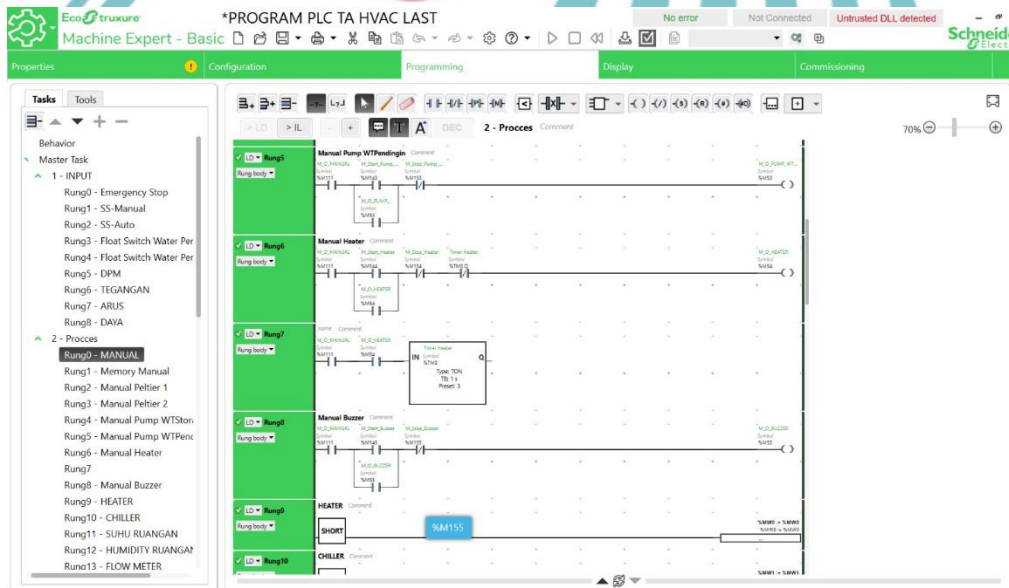
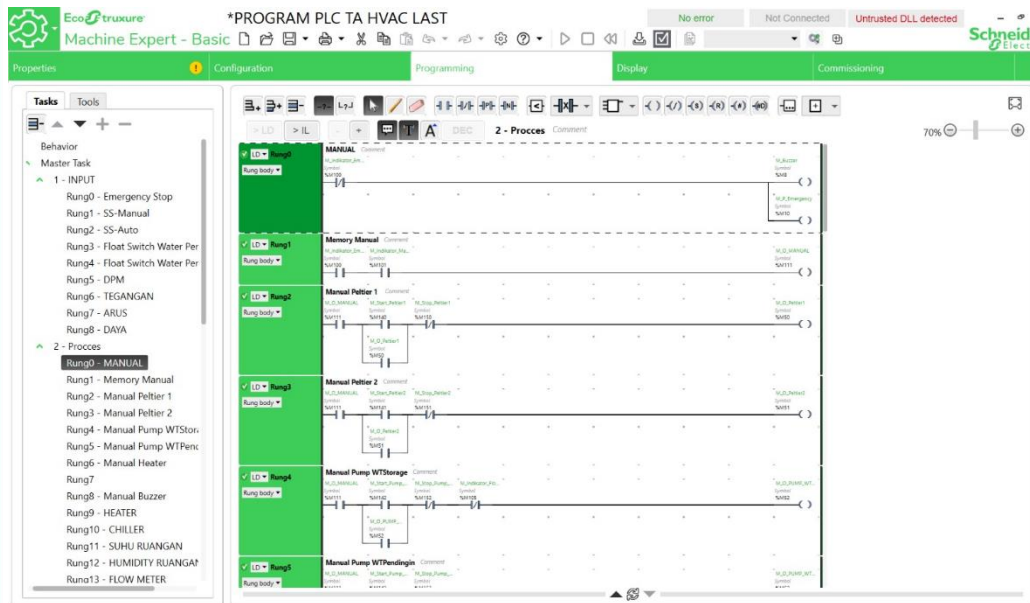
Hak Cipta :

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



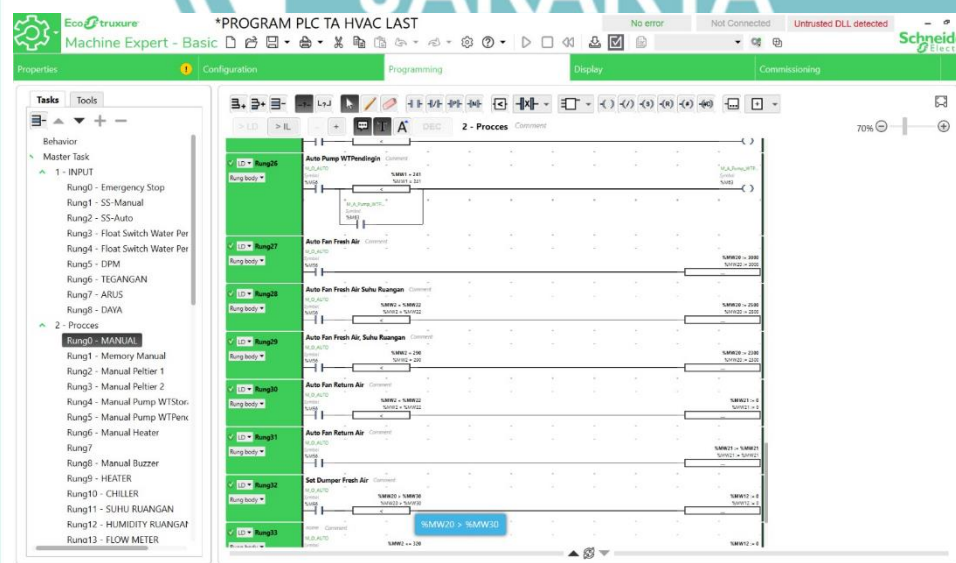
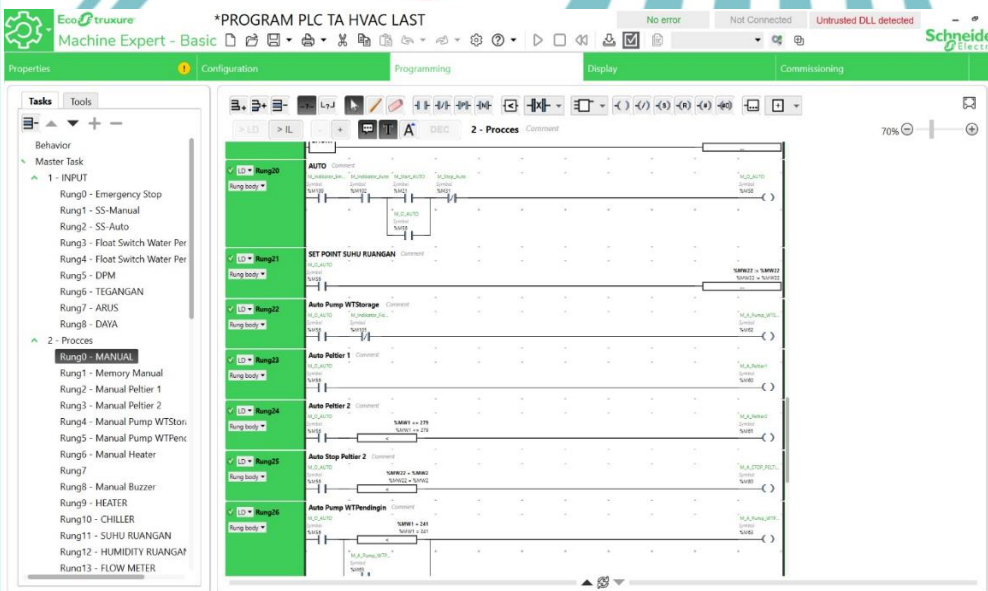
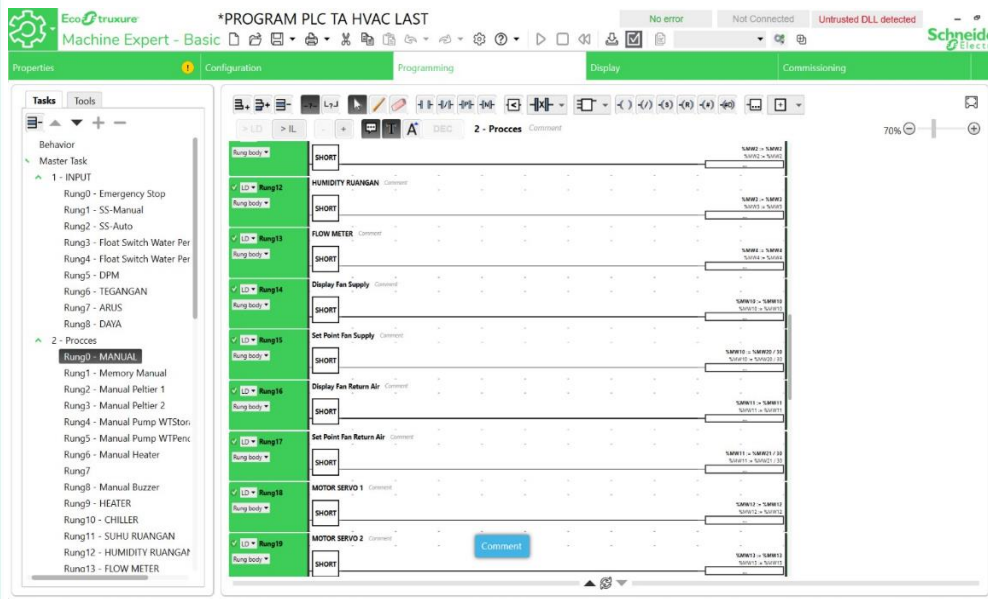
Hak Cipta :

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



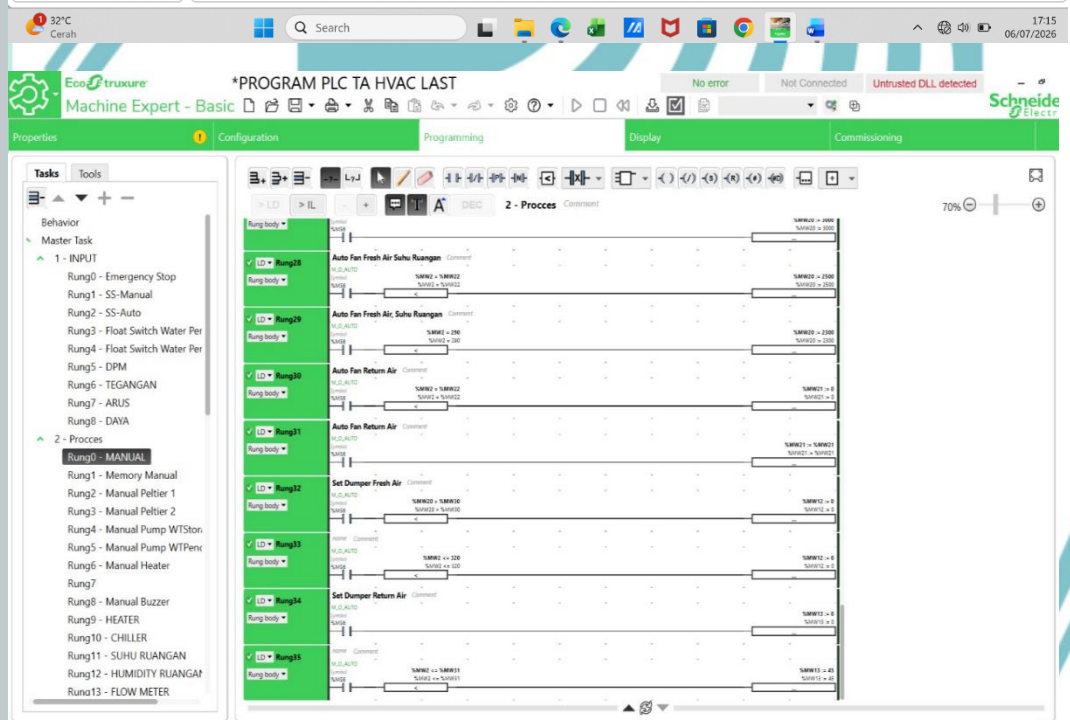
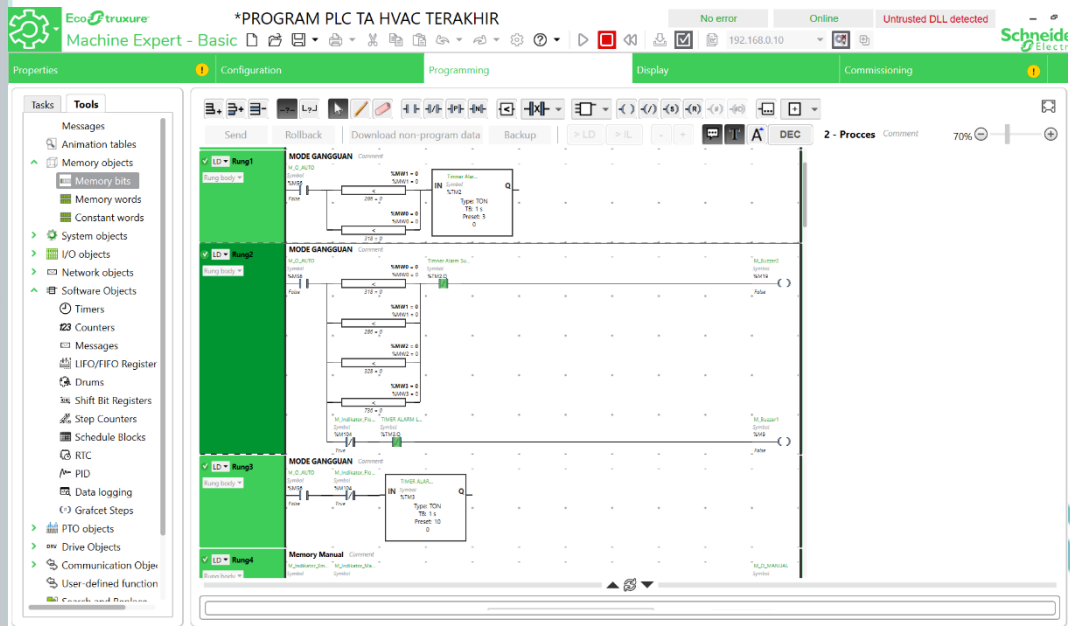
Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

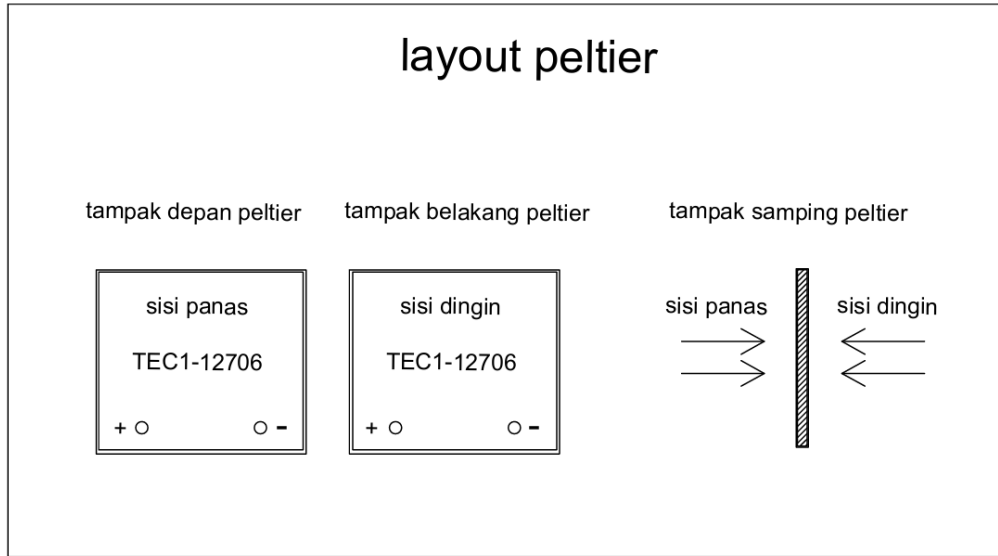
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



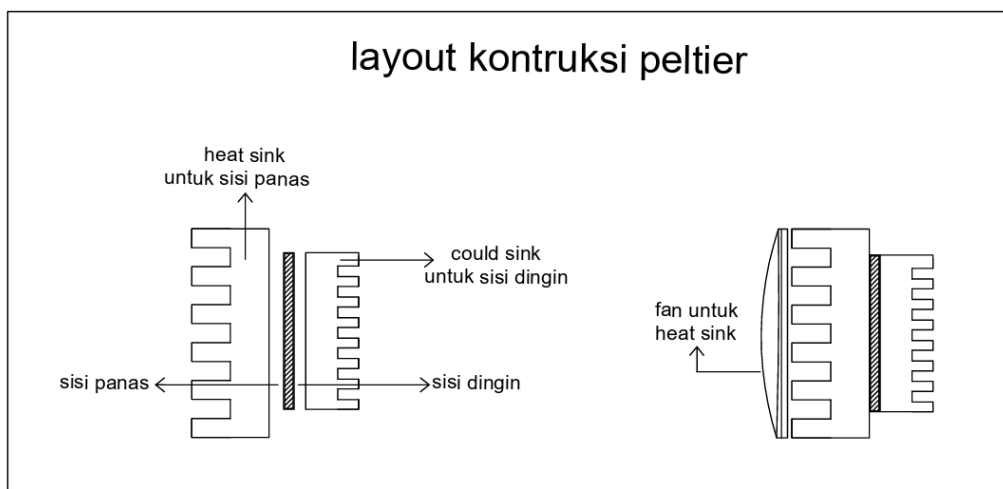
Lampiran 3 Layout Peltier

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



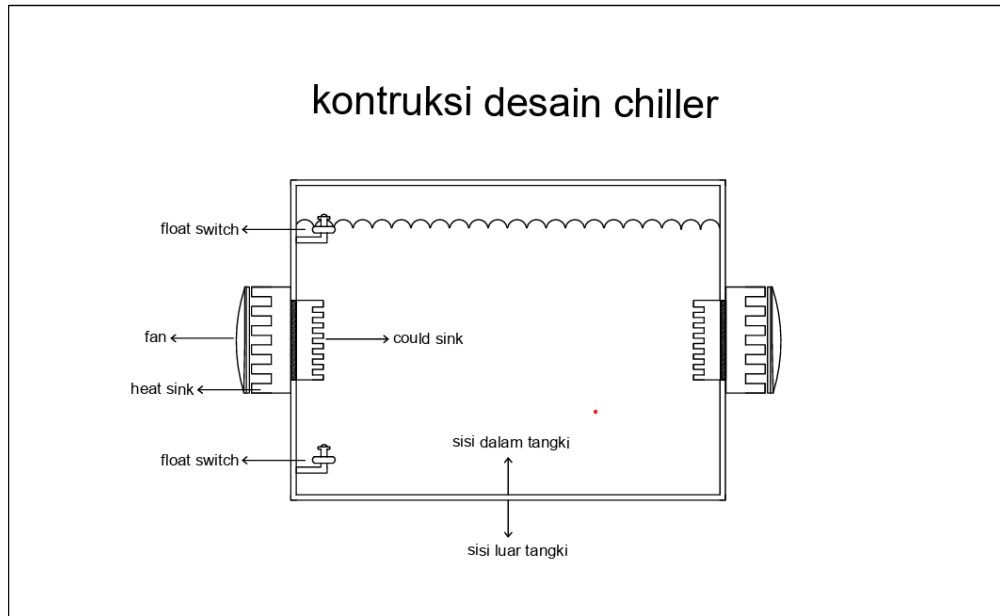
1. Layout Konstruksi Peltier Di Dalam Water Tank Pendingin



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. Konstruksi Desain Dalam Chiller



Lampiran 4 Dokumentasi Alat



© 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

