

**APLIKASI PEMROSESAN BIOETANOL SISTEM BATH SEMI
KONTINYU DENGAN KONTROL PID, MENGGUNAKAN PLC OMRON
CP1H-XA40DT1-D BERBASIS NB DESIGNER DENGAN TAMPILAN
HMI (*HUMAN MACHINE INTERFACE*)**

Oleh

NURJAN DIDIK PURWANTO

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

pada

**Program Pasca Sarjana Magister Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCA SARJANA MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

BIOETHANOL PROCESSING APPLICATION SEMI-CONTINUOUS BATH SYSTEM WITH PID CONTROL, USING OMRON CP1H-XA40DT1-D PLC BASED ON NB DESIGNER WITH HMI (HUMAN MACHINE INTERFACE) DISPLAY

By

NURJAN DIDIK PURWANTO

In this research, a semi-continuous bioethanol bath processing model is made using PID (Proportional-Integral-Derivative) control to maintain the stability of the working temperature in the evaporator, in order to produce products with high bioethanol content. The determining variables K_p , K_i , and K_d of PID control are sought by simulating using Matlab Simulink software and PID tuning by trial and error method. Furthermore, a hardware instrumentation model was built using an RTD PT100 temperature sensor and Omron CP1H-XA40DT1-D PLC an HMI (Human Machine Interface) display, to prove the performance of the PID control system. The experimental results prove that the PID control can maintain the stability of the temperature in the evaporator at variable values of $K_p = 1$, $K_i = 1$, $K_d = 1$, and obtained the initial production time at the 57th minute, with 84% bioethanol content, this is the best result that has been done in this study.

Keywords: Semi-continuous bath processing bioethanol, PID control evaporation process, PID Tunner, RTD PT100, PLC OMRON CP1H-XA40DT1-D, and HMI.

ABSTRAK

APLIKASI PEMROSESAN BIOETANOL SISTEM *BATH* SEMI KONTINYU DENGAN KONTROL PID, MENGGUNAKAN PLC OMRON CP1H-XA40DT1-D BERBASIS *NB DESIGNER* DENGAN TAMPILAN HMI (*HUMAN MACHINE INTERFACE*)

Oleh

NURJAN DIDIK PURWANTO

Dalam penelitian ini dibuat sebuah model pemrosesan bioetanol bath semi kontinyu yang menggunakan kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) untuk menjaga kestabilan temperatur suhu kerja pada evaporator, agar menghasilkan produk dengan kadar bioetanol yang tinggi. Variabel penentu K_p , K_i , dan K_d dari kontrol PID dicari dengan melakukan simulasi menggunakan *software Matlab Simulink* dan *Tunning* PID dengan metode *trial and error*. Selanjutnya model instrumentasi *hardware* dibangun menggunakan sensor suhu RTD PT100 dan PLC Omron CP1H-XA40DTI-D dengan tampilan HMI (*Human Machine Interface*), untuk membuktikan kinerja sistem kontrol PID. Dari hasil eksperimen membuktikan bahwa dengan kontrol kendali PID dapat menjaga kestabilan temperatur suhu dalam evaporator pada variabel nilai $K_p=1$, $K_i=1$, $K_d=1$, dan diperoleh waktu produksi awal pada menit ke-57, dengan kadar bioetanol 84%, inilah hasil terbaik yang telah dilakukan pada penelitian ini.

Kata kunci: Model proses bioetanol, proses evaporasi, kontrol PID, PID *Tunner*, RTD PT100, PLC OMRON CP1H-XA40DT1-D, dan HMI.

Judul Tesis

APLIKASI PEMROSESAN BIOETANOL SISTEM BATH SEMI KONTINYU DENGAN KONTROL PID, MENGGUNAKAN PLC OMRON CPH-XA40DT1-D BERBASIS NB DESIGNER DENGAN TAMPILAN HMI (HUMAN MACHINE INTERFACE).

Nama Mahasiswa

Nurjan Didik Purwanto

Nomor Pokok Mahasiswa

2025031002

Program Studi

Magister Teknik Elektro

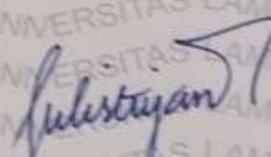
Fakultas

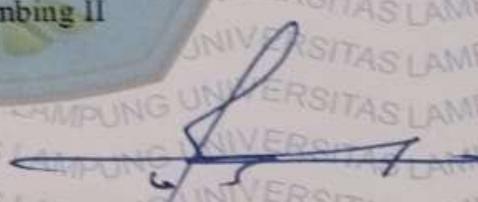
Teknik



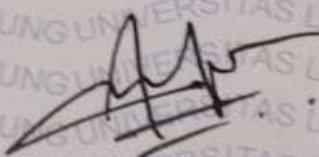
Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Sri Ratna S., M.T.
NIP. 196510211995122001


Dr. Eng. Ageng Sadnowo R., S.T., M.T.
NIP. 196902281998031001

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

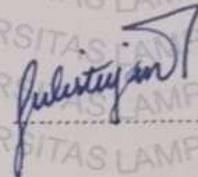

Dr. Misfa Susanto, S.T., M.Sc.
NIP. 197105251999031001

MENGESAHKAN

1. Komisi Penguji

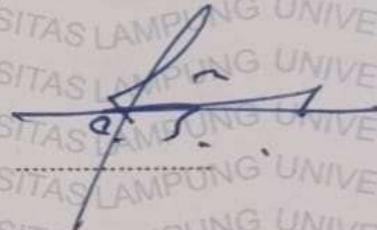
Ketua Komisi Penguji
(Pembimbing I)

Dr. Ir. Sri Ratna S., M. T.



Sekretaris Komisi Penguji
(Pembimbing II)

Dr. Eng. Ageng Sadnowo R., S.T., M.T.



Anggota Komisi Penguji
(Penguji I)

Dr. Ir. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.



Anggota Komisi Penguji
(Penguji II)

Dr. Sri Purwiyanti., S.T., M.T.



1. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 19750928 200112 1 002



2. Direktur Progam Pascasarjana

Prof. Dr. Jr. Murhadi, M.Si.
NIP 19640326 198902 1 001



Tanggal Lulus Ujian Tesis: 9 Oktober 2023

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa sesungguhnya tesis yang saya susun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik pada Progam Pascasarjana Magister Teknik Elektro seluruhnya adalah benar merupakan hasil karya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis ini, saya kutip dari hasil penulisan orang lain yang sumbernya dituliskan dengan jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah.

Tesis dengan judul “Aplikasi Pemrosesan Bioetanol Sistem Bath Semi Kontinyu Dengan Kontrol Pid, Menggunakan Plc Omron Cp1h-Xa40dt1-D Berbasis Nb Designer Dengan Tampilan Hmi (*Human Machine Interface*).” dapat diselesaikan berkat bimbingan dan motivasi dari pembimbing-pembimbing saya, yaitu:

1. Dr. Ir. Sri Ratna S., M. T.
2. Dr. Eng.Ageng Sadnowo R., S.T., M.T.

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak, khususnya kedua dosen pembimbing dan Bapak/ Ibu Dosen Progam Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan motivasi.

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis yang saya buat ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Bandar Lampung, 9 Oktober 2023



Nurjan Didik Purwanto
NPM: 2025031002

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jombang Jawa Timur pada tanggal 12 Januari 1970, sebagai anak Pertama dari lima bersaudara, dari Bapak Moch. Munadji (alm) dan Ibu Nur Umiyati. Pendidikan Penulis dimulai tingkat dasar di SD Negeri Jombang IV No. 14 Jombang 1976-1982, Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama di SMP Sawunggaling Jombang pada tahun 1982-1985, dan Sekolah Teknologi Menengah di STM 10 Nopember Jombang di Jombang pada tahun 1985- 1988. Pada tahun 1991,

Penulis diterima sebagai Pegawai Negeri Sipil di Politeknik Negeri Lampung dan ditempatkan di Jurusan Teknologi Pertanian Program Studi Mekanisasi Pertanian hingga sekarang. Pada tahun 2006 penulis diterima sebagai Mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui jalur seleksi Non-Reguler. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah melakukan praktik kerja di PT. PJB Pembangkitan Jawa – Bali Unit Pembangkit Muara Karang di Jakarta Utara pada tahun 2010, penulis juga menjadi peserta lomba Teknologi Terapan Tepat Guna di Balitbangda Provinsi Lampung Pada tahun 2011 dan menjadi juara ke-2 kategori umum. Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Lampung, selama menjadi mahasiswa penulis juga aktif mengikuti lomba Teknologi Terapan Tepat Guna di Balitbangda Provinsi Lampung Pada tahun 2021 dan meraih juara ke-2 kategori peneliti, kemudian pada tahun 2023 penulis melakukan penelitian dalam bidang kontrol sistem yang berjudul: “ Aplikasi Pemrosesan Bioetanol Sistem Bath Semi Kontinyu Dengan Kontrol PID, Menggunakan PLC Omron CP1H-XA40DT1-D Berbasis NB Designer Dengan Tampilan HMI (Human Machine Interface), dibawah bimbingan ibu, Dr. Ir. Sri Ratna S., M. T., dan Bapak Dr. Eng.Ageng Sadnowo R., S.T., M.T., dan disela-sela melakukan penelitian pada tahun 2023 penulis juga mengikuti lomba, “ Karya Inovasi dan Iptek (KOMPAS IPTEK) “, Kabupaten Pringsewu Tahun 2023 dan meraih juara pertama kategori umum.

PERSEMBAHAN



Dengan Ridho Allah SWT, teriring shalawat kepada Nabi Muhammad SAW

Karya Tulis ini kupersembahkan untuk:

Ayah dan Ibuku Tercinta

Alm. Moch. Munadji dan Nur Umiyati

Serta Istri dan Anak-Anaku Tersayang

*Yulinawati (Istri), Amanah Fitira Nurul Huda, Anugrah Muhammad Dharmawan,
Akbar Ilham Kurniawan, dan Abdullah Muhammad Sidiq Al Fariz*

Dosen Teknik Elektro

*Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan saran, baik secara akademis
maupun non akademis*

Teman- teman serta sahabat kebanggaanku

Rekan – rekan Jurusan Teknik Elektro

Keluarga Besar Magister Teknik Elektro 2020

*Yang selalu memberi semangat, dukungan dalam proses yang sangat panjang,
dan selalu berdiri bersama dalam perjuangan menuju kesuksesan, serta berbagi
cerita suka duka dalam berkeluh kesah*

Sivitas Akademik Politeknik Negeri Lampung serta rekan-rekan kerja

*Yang selalu memberi supportnya, memberikan semangat, mendukung menuju
keberhasilan.*

Almamaterku

Universitas Lampung

Bangsa dan Negaraku

Republik Indonesia

Terima kasih untuk semua yang telah diberikan kepadaku. *Jazzakallah Khairan*

MOTTO

“Tuntulah ilmu sejak dari buaian hingga ke liang lahat.” —H.R. Ibn. Abd. Bar

(Jami’ Bayan al-ilmu wa Fadhlili: 25)

” Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan

baginya jalan menuju surga.” —H.R. Muslim

“Ing Ngarso Sun Tulodho, Ing Madyo Mangun Karso, Tut Wuri Handayani.”

—Ki Hajar Dewantara

“Learning by doing, Learning by something.”—Nurjan Didik.

SAN WACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillahirobbilalamin, Penulis haturkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis dengan mempersembahkan judul tesis “Aplikasi Pemrosesan Bioetanol Sistem Bath Semi Kontinyu Dengan Kontrol PID, Menggunakan PLC Omron CP1H-XA40Dt1-D Berbasis NB Designer Dengan Tampilan HMI (*Human Machine Interface*).” dengan sebaik-baiknya.

Shalawat teriring salam, semoga selalu tercurah kepada junjungan seluruh alam Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam hingga hari ajal menjemput. Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bimbingan, motivasi dan bantuan baik moral maupun materi oleh banyak pihak. Untuk itu dengan sepenuh ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM, Selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M. Si. Selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
4. Bapak Hero Satrian Arief, S.E., M.H., selaku Kepala Biro Akademik dan Kemahasiswaan, Universitas Lampung;
5. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
6. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung;
7. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna S., M. T., selaku dosen pembimbing utama dan pembimbing akademik atas waktu, saran, *support* dan koreksinya bagi penulis;

8. Bapak Dr. Eng. Ageng Sadnowo R., S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua tesis yang banyak memberikan waktu, ide pemikiran dan semangat serta motivasi bagi penulis;
9. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji utama yang telah banyak memberikan kritik, saran dan motivasi yang bermanfaat bagi penulis;
10. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T. selaku dosen penguji kedua yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis;
11. Seluruh Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan;
12. Seluruh Tenaga Pendidik Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah banyak membantu kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
13. Seluruh teman-teman Program Studi Magister Teknik Elektro Unila angkatan 2020 untuk kebersamaan yang telah dijalani. Tiada kata yang dapat penulis utarakan untuk mengungkapkan perasaan senang dan bangga menjadi bagian dari angkatan 2020;
14. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi isi maupun cara penyajiannya. Oleh karena itu, Penulis sangat mengharapkan saran serta kritik yang bersifat membangun dari pembaca. Akhir kata, harapan penulis semoga karya sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua khususnya bagi sivitas akademika Universitas Lampung. Aamiin Allahumma Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, 9 Oktober 2023
Penulis,

Nurjan Didik Purwanto

DAFTAR ISI

	Halaman
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Manfaat Penelitian	2
1.4. Rumusan Masalah	3
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Hipotesis	3
1.7. Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Sejenis	6
2.2. Bioetanol	7
2.3. Proses Destilasi Bioetanol.....	9
2.4. PLC (Programable Logic Controller).....	10
2.4.1. Prinsip Kerja PLC.....	11
2.4.2. PLC OMRON CP1H-XA40DT1-D	12
2.4.3. Spesifikasi Analog I/O	14
2.4.4. Pengkabelan PLC OMRON CP1H.....	15
2.4.5. Unit Input dan Output (I/O).....	15
2.4.6. Diagram Terminal Blok Unit I/O pada CP1H.....	15
2.4.7. Konfigurasi Dasar Pengkabelan Input pada CP1H.....	16
2.4.8. Konfigurasi Rangkaian - Input Sensor 3-kabel	18
2.4.9. Konfigurasi Dasar Pengkabelan Output pada CP1H.....	20
2.4.10. Software CX Programmer, NB Designer dan HMI	22
2.5. Pengendali PID	24
2.5.1. Ketentuan (Term) Proportional	25
2.5.2. Ketentuan (Term) Integral.....	25
2.5.3. Tuning nilai Kp, Ki dan Kd (PID).....	26
2.5.4. PID Tuner.....	26
2.6. Sensor Suhu RTD PT 100.....	29
2.7. Temperature Transmitter.....	30
2.8. Aktuator	31
2.8.1. Solid State Relay (SSR).....	31
2.8.2. Relay	33
2.8.3. Solenoid Valve	34
2.8.4. Pompa Pendorong (Plunger Pump)	35
2.9. Earth-Leakage Circuit Breaker (ELCB).....	35
III. METODE PENELITIAN.....	37
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	37
3.2.1. Alat Penelitian	37
3.2.2. Bahan Penelitian.....	37
3.3. Desain dan Spesifikasi Alat Penelitian.....	38

3.3.1.	Desain Alat Penelitian	38
3.3.2.	Realisasi Desain Alat Penelitian.....	41
3.3.3.	Spesifikasi Alat Penelitian.....	44
3.3.4.	Desain Pemrograman Software Pada Penelitian.....	46
3.4.	Analisis Data Penelitian	51
3.4.1	Data Pra-penelitian.	52
3.4.2.	Data simulasi dengan menggunakan Software Matlab Simulink PID Tunner.	53
3.4.3.	Tampilan HMI	55
IV.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
5.1.	Simpulan	85
5.2.	Saran	85

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Table 2.1. Model PLC Omron CP1H.....	14
Tabel 2.2. Spesifikasi Analog I/O Model PLC Omron CP1H.....	14
Tabel 2.3. Parameter Teknik sensor suhu RTD PT 100.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Destilasi Bioetanaol sederhana.....	10
Gambar 2.2. Bagian-Bagian Blok PLC.....	11
Gambar 2.3. PLC OMRON CP1H-XA40DT1-D dan bagian-bagiannya	12
Gambar 2.4. Struktur Kode Model PLC Omron CP1H	13
Gambar 2.5. Unit <i>input</i> dan <i>output</i> pada PLC OMRON CP1H	15
Gambar 2.6. Terminal Block CP1H-XA dan X dengan Sumber Listrik AC (atas) DC (bawah).....	16
Gambar 2.7. Konfigurasi Rangkaian - <i>Input</i> Normal.....	17
Gambar 2.8. Konfigurasi Rangkaian - <i>Input</i> Normal.....	17
Gambar 2.9. Konfigurasi Rangkaian <i>Common Input</i> Negatif.....	18
Gambar 2.10. Sensor NPN dan PNP dengan 3 kabel.....	19
Gambar 2.11. Pengkabelan Sensor NPN dan PNP 3 kabel.....	20
Gambar 2.12. Modul Pengkabelan Luaran bertipe Relay	21
Gambar 2.13. Modul luaran bertipe transistor NPN (<i>sinking</i>).....	21
Gambar 2.14. Modul luaran bertipe transistor PNP (<i>sourcing</i>)	22
Gambar 2.15. Tampilan program CX Programmer	22
Gambar 2.16. Tampilan Software NB Designer HMI Omron saat dijalankan	23
Gambar 2.17. Blok diagram control PID	24
Gambar 2.18. Menampilkan dialog dan parameter PID <i>Tuner</i>	27
Gambar 2.19. Menampilkan dialog parameter I pada PID <i>Tuner</i>	28
Gambar 2.20. Menampilkan dialog parameter I	28
Gambar 2.21. Sensor Suhu RTD PT 100 3 kabel	29
Gambar 2.22. <i>Temperature transmitter</i> suhu 0-150°C, 4-20mA, 24 Volt.....	31
Gambar 2.23. <i>Solid State Relay</i> (SSR) dan cara kerjanya.....	32
Gambar 2.24. Struktur sederhana <i>relay</i>	33
Gambar 2.25. <i>Solenoid valve</i>	34
Gambar 2.26. Pompa Pendorong (<i>Plunger Pump</i>).....	35
Gambar 2.27. <i>Earth-Leakage Circuit Breaker</i> (ELCB).....	36
Gambar 3.1. Desain reaktor batch semi kontinyu	39
Gambar 3.2. Bagan alir (<i>flow chart</i>) desain pembuatan alat (reaktor).....	40

Gambar 3.3. Desain reaktor dan realisasi alat penelitian	41
Gambar 3.4. Diagram blok rancangan penelitian.....	42
Gambar 3.5. <i>Wirring diagram</i> rancangan penelitian.....	43
Gambar 3.6. Blok diagram rangkaian alat dan skema penelitian.....	44
Gambar 3.7. Bagan alir desain <i>Software</i> reaktor.....	45
Gambar 3.8. <i>Ladder diagram</i> proses kontrol pada reaktor.....	47
Gambar 3.9. <i>Ladder diagram</i> proses kontrol pengisian ulang (kontinyu) reaktor Bioetanol.....	48
Gambar 3.10. <i>Ladder diagram</i> proses kontrol pada pendinginan destilator proses kondensasi reaktor bioethanol.....	48
Gambar 3.11. <i>Ladder diagram</i> proses kontrol pada <i>heater</i> untuk <i>on/ off</i> dan setting suhu pada reaktor bioetanol dan <i>tunning PID heater</i>	49
Gambar 3.12. <i>Ladder diagram</i> proses kontrol pada pembacaan sensor RTD PT 100 (1) untuk sistem kontrol suhu pada tabung evaporator reaktor bioetanol	49
Gambar 3.13. <i>Ladder diagram</i> proses PID kontrol reaktor bioethanol dan <i>tunning</i> PID reaktor.....	50
Gambar 3.14. <i>Ladder diagram output pulse wave modulation (PWM)</i> kontrol pada reaktor	51
Gambar 3.15. Perangkat kontrol pengujian <i>level</i> cairan fermentasi dengan menggunakan fungsi waktu.	53
Gambar 3.16. Komunikasi <i>Editor Command Window</i> pada <i>Mathlab</i> simulasi	54
Gambar 3.17. Tampilan PID <i>Tunner import data sys</i> pada <i>Mathlab</i> simulasi	54
Gambar 3.18. Tampilan PID <i>Tunner dan Parameter tuning</i> pada <i>Mathlab</i> simulasi	55
Gambar 3.19. Tampilan HMI dilihat searah jarum jam, tampilan halaman depan penelitian, <i>lay out</i> diagram proses, tampilan seting waktu, seting PID kontrol, dan <i>set point</i> suhu reaktor	56

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi di dunia semakin tinggi. Menurut para ahli minyak bumi, bahan bakar fosil diperkirakan akan habis 30 tahun lagi. Perkiraan itu didasari dengan adanya peningkatan permintaan energi rata-rata sebesar 1.6% per tahun dan sekitar 80% kebutuhan energi dunia tersebut dipasok oleh bahan bakar fosil. Data di atas merupakan sebuah proyeksi dari *Internasional Energy Agency* (IEA). Pada dekade ini banyak sekali pengembangan energi dari bahan nabati misalnya biodiesel dan bioethanol. Bioetanol adalah salah satu sumber energi alternative yang mempunyai beberapa kelebihan diantaranya sifat bioetanol yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan karena emisi karbon dioksidanya rendah.[1]. Bioetanol dapat digunakan sebagai campuran bensin (*gasolin*), yang kemudian dinamakan gasohol [2]. Dalam pembuatannya, terdapat beberapa tahap proses, salah satunya adalah proses evaporasi dan destilasi. Evaporasi merupakan proses pemanasan terhadap bahan hasil proses fermentasi (molasses dan ragi) biasanya fermentasi dilakukan dalam jangka waktu 48 jam untuk membuat kadar alkohol rendah, kemudian bahan tersebut diuapkan dengan suhu tertentu untuk proses pemisahan antara uap air (pada suhu 100°C) dan uap alkohol (pada suhu 78°C-80°C), tahapan ini dinamakan proses penyulingan. Dimana pada tahapan ini terjadi proses peningkatan kadar alkohol dengan cara pendinginan mendadak yang mengubah uap bioethanol tersebut menjadi cairan lagi (penyulingan), dan produk dari hasil penyulingan tersebut adalah bioetanol.[3]. Produktivitas bioetanol dengan kontinyu adalah tiga kali proses *batch*, oleh karena itu untuk hasil yang sama dibutuhkan reaktor *batch* sebanyak tiga kali lipat untuk hasil satu kali reaktor kontinyu.[4]. Untuk menjaga kesetabilan suhu tersebut, diperlukan kontrol suhu yang handal dan presisi. Salah satunya adalah kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative Controller*). Kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada

sistem, dalam kondisi tertentu. Tahap awal pengembangan, dirancang pada sistem pengendalian suhu kontroler PID yang diaplikasikan pada PLC. Keuntungan dari kontroler PID adalah sebuah sistem sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil keputusan. Penggunaan kontroler PID bertujuan agar sistem distilasi bisa mempertahankan suhu sesuai *setpoint* tanpa adanya *overshoot*, dan tetap berada pada kondisi yang diinginkan, maka diperlukan suatu perangkat kontrol yang dapat diterapkan pada sistem yaitu PLC (*Programmable Logic Controller*) serta HMI (*Human Machine Interface*) yang terpasang pada panel kontrol yang berfungsi sebagai media untuk mengawasi kinerja sistem secara *real time*, sedangkan diagram Laddernya menggunakan Program CX Programmer dan NB Designer untuk mendukung tampilan HMI (*Human Machine Interface*).[5].

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem kendali pemrosesan bioetanol dengan menjaga temperatur suhu kerja evaporator pada set point 97°C. Komponen kendali menggunakan PLC Omron CP1H-XA40DT1-D berbasis CX programer dan metode Tuning PID pada Mathlab Simulink untuk pencarian variabel parameter Kp, Ki dan Kd, untuk mendapatkan waktu produksi yang lebih singkat dan kadar bioetanol tertinggi.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Mengamati suhu dalam proses pembuatan bioetanol dimana sensor akan mendeteksi suhu di dalam evaporator dengan rentang suhu pengujian antara 80°C-97°C dan mempertahankan suhu tersebut agar dapat menghasilkan produk bioetanol yang diharapkan. Perlu diketahui bahwa untuk mendapatkan kadar bioethanol di atas 80% sangat sulit dipasaran. Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui data suhu yang ideal pada aplikasi sistem PID kontrol untuk proses pembuatan bioetanol.

1.4. Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana merancang sebuah sistem kontrol suhu yang ideal pada proses pembuatan bioethanol dengan kontrol PID dan PLC Omron CP1H-XA40DT1-D berbasis CX Programmer dan NB Designer dengan tampilan HMI (*Human Machine Interface*) menggunakan sensor suhu RTD PT 100 3 kabel sebagai input dengan seting suhu pengujian 97°C pada evaporator. Pengaturan level cairan dalam tabung evaporator menggunakan fungsi waktu (*timer*) pada PLC untuk *on-off* pompa pendorong pada pengisian volume tabung evaporator dan buka-tutup *solenoid valve* untuk sistem semi kontinyu, guna mendapatkan hasil kadar bioethanol yang baik.

1.5. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan terhadap masalah yang akan dibahas yaitu:

1. Alat yang dibuat untuk membatasi rentang suhu pada evaporator sebagai media yang diteliti. Dalam pengamatan obyek, *set point* suhu diseting dengan rentang 80°C sampai dengan 97°C untuk mencari hasil kadar bioethanol terendah 50% pada proses pembuatan bioethanol.
2. Sistem yang dibuat menggunakan Program CX Programmer dan NB Designer yang diaplikasi dengan menggunakan PLC Omron CP1H-XA40DT1-D dan tampilan HMI.
3. Sensor suhu yang digunakan adalah sensor suhu RTD PT 100 3 kabel yang merupakan input PLC.
4. Level kapasitas cairan dalam tabung evaporator diatur dengan menggunakan fungsi waktu (*timer*) pada pemrograman PLC.

1.6. Hipotesis

Pada penelitian ini terdapat 2 sensor suhu PT 100 yang digunakan sebagai input pada PLC Omron CP1H-XA40DT1-D untuk membatasi suhu (sensor 1) pada ruang

evaporator (hidup matinya heater), sedangkan sensor suhu 2 menghidupkan pompa *water colling* destilasi pada proses kondensasi pembuatan bioetanol, sedangkan untuk kapasitas/volume cairan dalam evaporator langsung diprogram pada program NB Designer melalui tombol *keyboard display* HMI. Sistem semi kontiyu (*Filling Continuous*) pada penelitian ini menggunakan pompa pendorong (*Plunger Pump*) dan *Solenoid Valve* sebagai *input* pada tabung evaporator, sedang sistem buang limbahnya (*outlet*) menggunakan *solenoid valve* diameter $\frac{3}{4}$ inchi. Pada penelitian ini *setpoint* suhu yang digunakan dari 80°C-97°C yang terprogram pada kontrol PID dan aplikasi *Tunning* PID dengan Mathlab Simulink untuk mencari parameter Kp, Ki, Kd, pada suatu sistem kontrol suhu proses pembuatan bioethanol untuk mendapatkan mutu atau kadar bioetanol yang tinggi.

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan dan pemahaman mengenai materi tesis ini, maka tesis ini dibagi menjadi lima bab, yaitu:

BAB I Pendahuluan

Berisi latar belakang, tujuan, manfaat, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Berisi tentang penelitian-penelitian terdahulu sebagai referensi pembaharuan pada penelitian ini, dan teori-teori pendukung dalam perancangan kontrol PID untuk aplikasi pemrosesan bioetanol sistem *batch* semi kontinyu dengan menggunakan Omron CP1H-XA40DT1-D berbasis CX Programer dan NB Designer dengan tampilan HMI (*Human Machine Interface*).

BAB III Metodologi Penelitian

Menjelaskan waktu dan tempat penelitian meliputi jadwal kegiatan penelitian, alat dan bahan, desain dan pengujian alat peneliti awal

(pra-pengambilan data) sebagai referensi I/O kontrol PID pada reaktor, PID *Tunner*, *Ladder diagram* PLC dan tampilan HMI.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Menjelaskan prosedur pengujian, hasil pengujian dan analisis data dari masing-masing sistem yang dibuat berdasarkan referensi hasil simulasi PID *Tunner* pada *Mathlab Simulink*.

BAB V Simpulan dan Saran

Memuat simpulan yang diperoleh dari pembuatan dan pengujian alat, dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sejenis

Pada penelitian terdahulu sudah banyak pembuatan alat bantu yang dapat melakukan pemantauan dan pengendalian suhu selama proses evaporasi dan destilasi, seperti pada penelitian pertama ini dengan judul: " Pengaturan Suhu Destilator Pada Proses Destilasi Bio-Etanol Berbasis Kendali Proporsional Menggunakan PLC Omron CPM2A, dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols. Kontrol proporsional dibuat berdasarkan algoritma pemrograman delphi. Penelitian ini menitik-beratkan pada proses destilasi dari keseluruhan proses pembuatan bio-etanol. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan etanol adalah tetes tebu (*mollase*) yang telah difermentasi lebih dari 72 jam [6]. Tetapi pada penelitian ini destilator yang digunakan adalah sistem *batch* (satu kali proses), sehingga larutan bahan baku tidak akan diganti atau ditambah selama proses berlangsung, dan hanya menggunakan desain kontrol proposional (P) saja.

Penelitian selanjutnya yang berjudul: " Sistem Pengendalian Suhu Pada Proses Destilasi Vakum Bioetanol Dengan Menggunakan Arduino ". Metode kontrol yang digunakan untuk pengendalian ini ialah kontrol PID menggunakan Arduino. Salah satu keuntungan kontrol PID adalah sebuah sistem yang sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil keputusan. Dalam penelitian ini menggunakan sensor suhu PT100, Arduino Mega 2560, dan elemen pemanas listrik. Hasil pengujian kontrol PID menggunakan parameter yang didapatkan dari metode *hand tuning*, sistem pengendalian suhu destilasi ini cukup berhasil dalam menjaga kestabilan suhu dengan *steady state error* sebesar 0.17% [7]. Tetapi pada penelitian ini menitik beratkan penggunaan kontrol PID dengan aplikasi Arduino Uno dan destilasi vakum untuk pemrosesan bioethanolnya.

Pada penelitian selanjutnya yang berjudul: " Sistem Pengendalian Suhu Pada Proses Destilasi Vakum Bioetanol Menggunakan Kontrol Logika *Fuzzy* " pada penelitian ini hampir mirip dengan penelitian sebelumnya tetapi perbedaannya ada pada kontrol logika fuzzynya. Data dari sensor diproses dengan logika *fuzzy*

menggunakan mikrokontroler arduino mega. Data terkontrol dikirim ke *dimmer circuit* sebagai *driver* aktuator elemen pemanas [8].

Pada penelitian berikutnya berjudul : , “ *Fuzzy Logic based Temperature Control of a Vacuum Distiller*” *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 10, Number 17 (2015)\ pp 38504-38508 © *Research India Publications*. desain dan implementasi fuzzy pengontrol suhu berbasis logika dalam proses penyulingan sistem vakum. Penyuling dioperasikan dalam kondisi hampir vakum untuk meningkatkan kemampuan memproduksi bioetanol dengan konsentrasi tinggi. Karena tingginya kebutuhan daya pemanas, kontrol suhu dilakukan untuk memanipulasi tegangan AC ke elemen pemanas. penelitian ini diusulkan Berbasis Arduino dan Strategi kontrol Logika Fuzzy , yang sistem kinerjanya dibandingkan dengan kontroler PID. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pengontrol logika fuzzy memiliki kinerja yang lebih baik dalam mengendalikan suhu penyuling vakum [9]

Secara umum keseluruhan penelitian terdahulu, yang dipaparkan sebagai referensi belum ada yang memfokuskan pada sistem batch semi kontinyu dengan kontrol PID, dan PID Tunner simulasi Mathlab yang menggunakan Omron CP1H-XA40DT1-D berbasis CX Programer dan NB Designer dan tampilan HMI (*Human Machine Interface*) menggunakan fungsi waktu (*timer*) pada PLC untuk sistem kontinyu-nya. Inilah konsep kebaruan yang ditawarkan pada desain perancangan penelitian ini.

2.2. Bioetanol

Bioetanol (C_2H_5OH) adalah cairan biokimia pada proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat yang menggunakan bantuan mikro organisme. Dalam perkembangannya, produksi alkohol yang paling banyak digunakan adalah metode fermentasi dan distilasi. Bahan baku yang dapat digunakan pada pembuatan etanol adalah nira bergula (sukrosa): nira tebu, nira nipah, nira sorgum manis, nira kelapa, nira aren, nira siwalan, sari buah mete; bahan berpati: tepungtepung sorgum biji, sagu, singkong, ubi jalar, ganyong, garut, umbi dahlia; bahan berselulosa (*lignoselulosa*): kayu, jerami, batang pisang, bagas dan lain-lain [10]. Bioetanol

merupakan etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa (gula) yang dilanjutkan dengan proses destilasi. Proses destilasi dapat menghasilkan etanol dengan kadar 95% volume, untuk digunakan sebagai bahan bakar (biofuel) perlu lebih dimurnikan lagi hingga mencapai 99% yang lazim disebut *Fuel Grade Ethanol* (FGE). Pada pabrik pengolahan bioetanol terdapat sistem pemurnian sebagai proses untuk menghilangkan *impurities* sehingga dapat dihasilkan bioetanol dengan kemurnian 99,5%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sistem pemurnian bioetanol yang efektif dengan menghitung *operating cost*, *capital cost*, dan *annual cost* yang digunakan dari beberapa konfigurasi proses yaitu konfigurasi 1 (konvensional), konfigurasi 2 (Bastidas) dan konfigurasi 3 (Tao Ling). Adapun tahapan untuk penelitian yang dilakukan adalah, pengumpulan dan pengolahan data, menyimulasikan data yang diperoleh dari data desain pabrik ke dalam program Aspen Plus 10, dan memvalidasi dengan data desain di industri. Kemudian menghitung konsumsi energi serta melakukan analisa ekonomi pada masing-masing konfigurasi, disamping itu aspek teknis, *controllability*, *maintenance* juga dianalisa secara kualitatif [11]. Adapun cara lain dalam proses pemurnian bioetanol adalah dengan prinsip dehidrasi yang dilakukan dengan metode *Molecular Sieve*, untuk memisahkan air dari senyawa etanol [12].

Etanol dikategorikan dalam dua kelompok utama, yaitu:

1. Etanol 95%-96%, disebut dengan “etanol berhidrat”, yang dibagi dalam:
 - a. *Technical/raw spirit grade*, digunakan untuk bahan bakar spiritus, minuman, desinfektan, dan pelarut.
 - b. *Industrial grade*, digunakan untuk bahan baku industri dan pelarut.
 - c. *Potable grade*, untuk minuman berkualitas tinggi.
2. Etanol > 99,5%, digunakan untuk bahan bakar. Jika dimurnikan lebih lanjut dapat digunakan untuk keperluan farmasi dan pelarut di laboratorium analisis. Etanol ini disebut dengan dengan *Fuel Grade Ethanol* (FGE) atau *anhydrous ethanol* (etanol anhidrat) atau etanol kering, yakni etanol yang bebas 5 air atau hanya mengandung air minimal [13].

Selain sistem kontrol yang bagus pada penerapan proses pembuatan bioetanol, yang perlu dan sangat penting diperhatikan adalah proses fermentasi. Proses fermentasi

dapat menghambat produksi bioetanol terutama pada perbandingan antara kadar gula dalam cairan dan ragi (*yeast*), karena jika perbandingan terlalu encer maka akan membutuhkan banyak energi untuk pemurniannya [14]

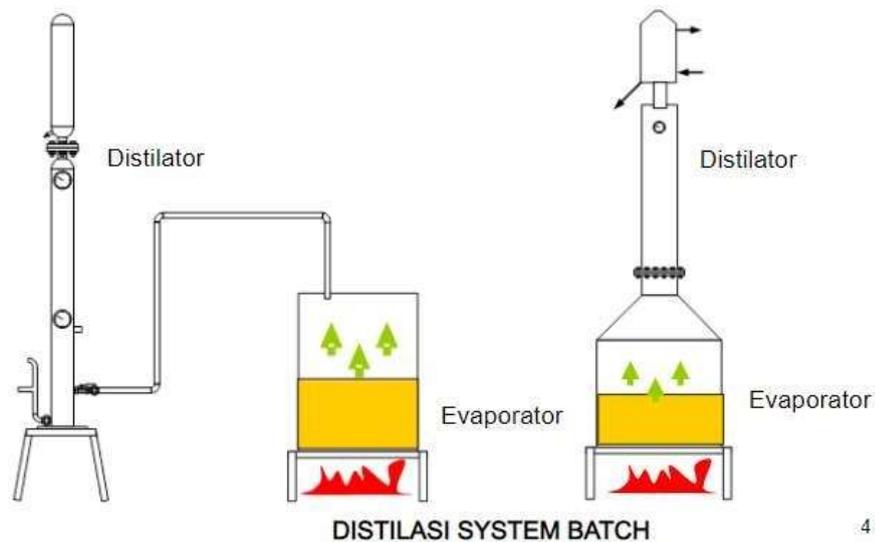
2.3. Proses Destilasi Bioetanol

Destilasi merupakan suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan titik didih atau kemudahan menguap (*volatilitas*). Faktor yang berpengaruh pada proses destilasi adalah jenis bahan yang didestilasi, temperatur, volume bahan dan waktu destilasi. Namun faktor yang paling berpengaruh adalah temperatur dalam penyulingan, campuran zat dididihkan sehingga menguap, dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu. Metode ini merupakan termasuk unit operasi kimia jenis perpindahan massa. Penerapan proses ini didasarkan pada teori bahwa pada suatu larutan, masing-masing komponen akan menguap pada titik didihnya. Proses perpindahan massa merupakan salah satu proses yang cukup penting [15]. Destilasi dilakukan untuk memisahkan etanol dari *beer* (sebagian besar adalah air dan etanol). Titik didih etanol murni adalah 78°C sedangkan air adalah 100°C (kondisi standar). Dengan memanaskan larutan pada suhu rentang 78°C-100°C akan mengakibatkan sebagian besar etanol menguap, dan melalui unit kondensasi, akan bisa dihasilkan etanol dengan kadar tertentu.

Kolom destilasi adalah sarana melaksanakan operasi pemisahan komponen-komponen dari campuran fasa cair, khususnya yang mempunyai perbedaan titik didih dan tekanan uap yang cukup besar. Perbedaan tekanan uap tersebut akan menyebabkan fasa uap yang ada dalam kesetimbangan dengan fasa cairnya mempunyai komposisi yang perbedaannya cukup signifikan. Fasa uap mengandung lebih banyak komponen yang memiliki tekanan uap rendah, sedangkan fasa cair lebih banyak mengandung komponen yang memiliki tekanan uap tinggi. Kolom distilasi dapat berfungsi sebagai sarana pemisahan karena sistem perangkat sebuah kolom distilasi memiliki bagian-bagian proses yang memiliki fungsi-fungsi:

1. Menguapkan campuran fasa cair (terjadi di reboiler / proses evaporasi)
2. Mempertemukan fasa cair dan fasa uap yang berbeda komposisinya (terjadi di kolom destilasi).

3. Mengondensasikan fasa uap (terjadi di kondensor) [16].



Gambar 2.1. Destilasi bioetanol sederhana [17].

2.4. PLC (*Programmable Logic Controller*)

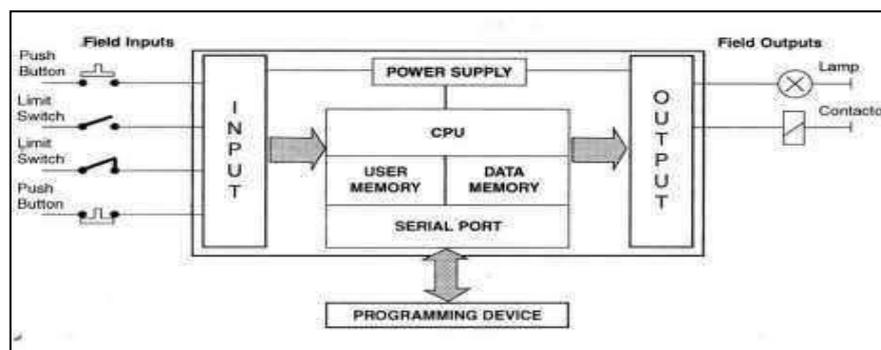
PLC (*Programmable Logic Controller*) merupakan perangkat pengontrol yang berbasis fungsi rangkaian logika. Namun dalam perkembangannya sejalan dengan kebutuhan industri dan transportasi, PLC memiliki fungsi dan aplikasi yang lebih banyak dari rangkaian logika. PLC merupakan peralatan berbasis *microprocessor* yang dirancang khusus untuk menggantikan kerja rangkaian logika dan aplikasi lain, juga didesain untuk berbagai aplikasi yang berhubungan dengan sensor-sensor. PLC diperkenalkan pertama kali pada tahun 1969 oleh Richard E. Morley yang merupakan pendiri *Modicon Corporation*. Menurut *National Electrical Manufacturing Assosiation* (NEMA) PLC didefinisikan sebagai suatu perangkat elektronik digital dengan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan intruksi-intruksi yang menjalankan fungsi-fungsi spesifik, seperti : logika, sekuen, *timing*, *counting*, dan aritmatika untuk mengontrol suatu mesin atau proses sesuai dengan yang diinginkan. PLC mampu mengerjakan suatu proses terus- menerus sesuai variabel masukan dan memberikan keputusan sesuai keinginan pemrogram sehingga nilai keluaran tetap terkontrol. Operasi pada PLC terdiri dari empat bagian penting :

1. Pengamatan nilai *input*.
2. Menjalankan program.
3. Memberikan nilai *output*.
4. Pengendalian.

2.4.1. Prinsip Kerja PLC

Pada prinsipnya sebuah PLC melalui modul *input* bekerja menerima data- data berupa sinyal dari peralatan *input* luar (*external input device*). Peralatan *input* luar tersebut antara lain berupa saklar, tombol, sensor. Data-data masukan yang masih berupa sinyal analog akan diubah oleh modul *input* A/D (*analog to digital input module*) menjadi sinyal digital. Selanjutnya oleh prosesor sentral (CPU) yang ada di dalam PLC sinyal digital itu diolah sesuai dengan program yang telah dibuat dan disimpan di dalam memori. Seterusnya CPU akan mengambil keputusan dan memberikan perintah melalui modul *output* dalam bentuk sinyal digital. Kemudian oleh modul *output* D/A (*digital to analog module*) dari sistem yang terkontrol sepertiantara lain berupa *relay* dan motor dimana nantinya dapat mengoperasikan secara otomatis sistem proses kerja yang dikontrol tersebut.

Untuk lebih jelasnya di bawah ini ditunjukkan bagian-bagian diagram blok PLC yang terdiri dari sinyal *field inputs*, *input*, *power supply*, *CPU*, *user memory*, *data memory*, *output* dan *field outputs* serta *programming device*.



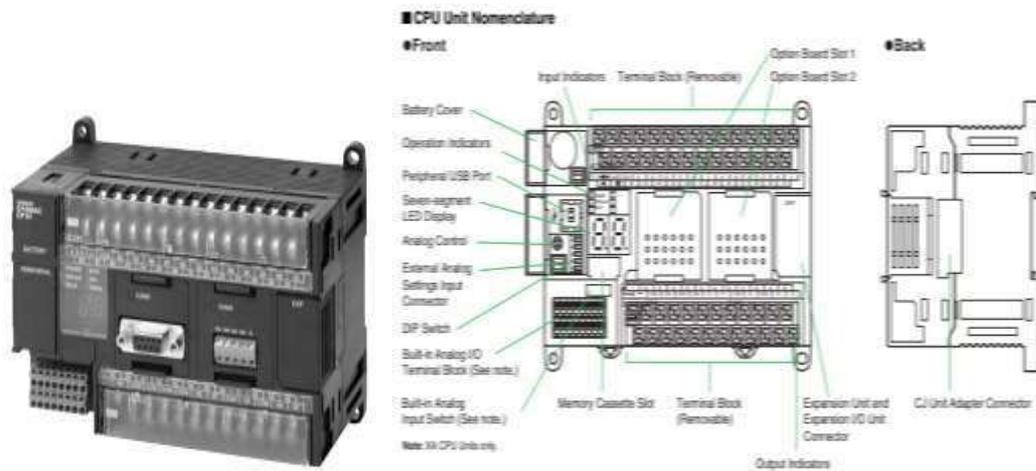
Gambar 2.2. Bagian-Bagian Blok PLC.

Sinyal yang telah diproses oleh CPU PLC, diteruskan ke bagian modul luaran untuk mengendalikan perangkat luaran. Sama halnya dengan bagian modul masukan,

setiap pin pada modul luaran memiliki alamat memorinya tersendiri dimulai dari bit 00 sampai dengan 15 [18].

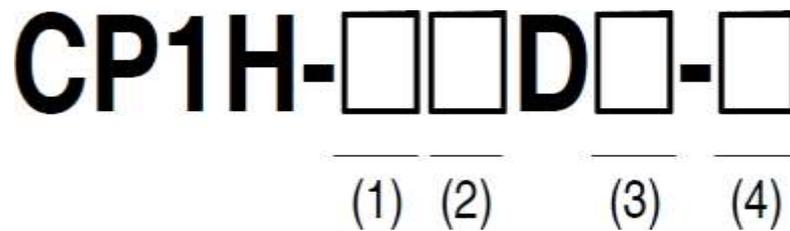
2.4.2. PLC OMRON CP1H-XA40DT1-D

Pada model PLC Omron CP1H-XA40DT1-D merupakan PLC dari *type* CP1H, yang memiliki 40 modul *analog* I/O yang sudah terpasang menjadi satu kesatuan dengan modul lainnya. Bagian modul masukan *analog* dapat membaca sinyal *analog* yang berupa tegangan maupun arus. Pembacaan masukan *analog* tersebut diatur oleh *DIP Switch* tersendiri. Bentuk fisik dari PLC CP1H-XA40DT1-D dan bagian-bagiannya dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2.3. PLC OMRON CP1H-XA40DT1-D dan bagian-bagiannya.

Model PLC Omron CP1H dapat dikenali melalui struktur kode yang terdapat pada bagian samping PLC. Adapun format dari struktur kode dan penjelasan model dari PLC CP1H tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Struktur Kode Model PLC Omron CP1H

Kode bagian :

1. Kelas PLC
 - X : Model Standar
 - XA : Dilengkapi dengan terminal I/O analog
 - Y : Dilengkapi dengan terminal I/O pembangkit sinyal pulsa
2. Kapasitas I/O yang terpasang
 - 20 : Total jumlah I/O yang terpasang ada 20 buah
 - 40 : Total jumlah I/O yang terpasang ada 40 buah
3. Tipe Luaran yang digunakan
 - R : menggunakan tipe relay
 - T : menggunakan tipe transistor NPN (sinking)
 - T1 : menggunakan tipe transistor PNP (sourcing)
4. Power Supply yang digunakan
 - A : menggunakan sumber AC
 - D : menggunakan sumber DC

Aturan Jumlah I/O

Bila diketahui suatu jumlah I/O pada suatu PLC maka konfigurasi jumlah input / masukan dibandingkan jumlah output / luaran yaitu : **60% : 40%**

Misalnya, diketahui total jumlah I/O pada PLC yaitu 40 buah, maka jumlah Input yaitu $60\% \times 40 = 24$ buah dan jumlah Output yaitu $40\% \times 40 = 16$ buah.

Tabel 2.1. Model PLC Omron CP1H

Type	Jumlah Terminal I/O	Input	Output	Catu Daya	Nomor Model		
					Relay Output	Transistor Output (NPN)	Transistor Output (PNP)
Hi-speed Positioning	20	12	8	AC			
				DC		CP1H-Y20DT-D	
Built-in Analog I/O	40	24	16	AC	CP1H-XA40DR-A		
				DC		CP1H-XA40DT-D	CP1H-XA40DT1-D
Standard	40	24	16	AC	CP1H-X40DR-A		
				DC		CP1H-X40DT-D	CP1H-X40DT1-D

2.4.3. Spesifikasi Analog I/O

Modul masukan *analog* ini terdiri dari 4 *channel*, sedangkan modul luaran *analog* terdiri dari 2 *channel*. Pada modul luaran *analog*, masing-masing *channel* terdiri dari tiga pin yaitu luaran berupa tegangan, luaran berupa arus dan *common*.

Spesifikasi dan susunan modul *analog* I/O ditunjukkan pada Tabel 2.2. berikut.

Tabel 2.2. Spesifikasi Analog I/O Model PLC Omron CP1H

■ Analog I/O Specifications (CP1H-XA CPU Units Only)			
Item	Voltage I/O	Current I/O	
Analog Input Section	Number of analog inputs	4	
	Input signal range	0 to 5 V, 1 to 5 V, 0 to 10 V, or -10 to 10 V	0 to 20 mA or 4 to 20 mA
	Max. rated input	±15 V	±30 mA
	External input impedance	1 MΩ min.	Approx. 250 Ω
	Resolution	1/6,000 or 1/12,000 (full scale)	
	Overall accuracy	25°C: ±0.3% full scale/0 to 55°C: ±0.6% full scale 25°C: ±0.4% full scale/0 to 55°C: ±0.8% full scale	
	A/D conversion data	Full scale for -10 to 10 V: F448 (E890) to 8896 (1770) hex Full scale for other ranges: 0000 to 1770 (8EE0) hex	
	Averaging	Supported (Set for individual inputs in the PLC Setup.)	
Open-circuit detection	Supported (Value when disconnected: 8000 Hex)		
Analog Output Section	Number of outputs	2	
	Output signal range	0 to 5 V, 1 to 5 V, 0 to 10 V, -10 to 10 V	0 to 20 mA or 4 to 20 mA
	Allowable external output load resistance	1 kΩ min.	600 Ω max.
	External output impedance	0.5 Ω max.	---
	Resolution	1/6000 or 1/12000 (full scale)	
	Overall accuracy	25°C: ±0.4% of full scale, 0 to 55°C: ±0.8% of full scale	
D/A conversion data	Full scale for -10 to 10 V: F448 (E890) to 8896 (1770) hex Full scale for other ranges: 0000 to 1770 (8EE0) hex		
Conversion time	1 ms/point		
Isolation method	Photocoupler isolation between analog I/O terminals and internal circuits. No isolation between analog I/O signals.		
Built-in Analog Input Switch (Factory Settings)			
			
Current Input			
Voltage Input			
Built-in Analog I/O Terminal Block Arrangement			
			

2.4.4. Pengkabelan PLC OMRON CP1H

Sistem pengkabelan pada PLC Omron CP1H merupakan hal penting dalam mendesain sebuah sistem kontrol, kita harus mengetahui mana unit *input* dan *output* (I/O) dan terminal bloknnya, karena jika kita salah menempatkan I/O, maka sangat fatal akibatnya, misalnya input DC dimasukan AC karena ketidaktahuan kita, sehingga akan merusak PLC dan perangkat lain, yang kita gunakan. Pada PLC Omron CP1H terdapat kurang lebih 5 unit sistem terminal blok I/O yang perlu diketahui sebelum melakukan pengkabelan pada PLC Omron CP1H.

2.4.5. Unit *Input* dan *Output* (I/O).

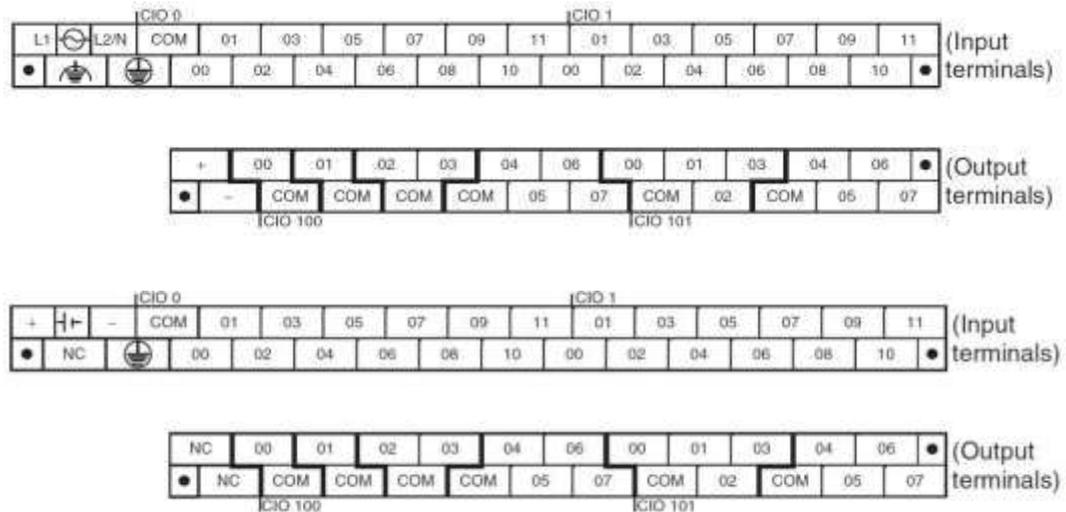
Pada PLC Omron CP1H-XA, semua perangkat masukan akan tersambung ke unit masukan/*input*, sedangkan perangkat luaran akan tersambung ke unit luaran/*output*.



Gambar 2.5. unit *input* dan *output* pada PLC OMRON CP1H

2.4.6. Diagram Terminal Blok Unit I/O pada CP1H.

Terdapat 2 unit terminal blok I/O pada PLC CP1H unit CPU CP1H-XA dan X dengan Sumber Listrik AC 220 Volt dan DC.24 Volt seperti yang terlihat pada Gambar 2.6.



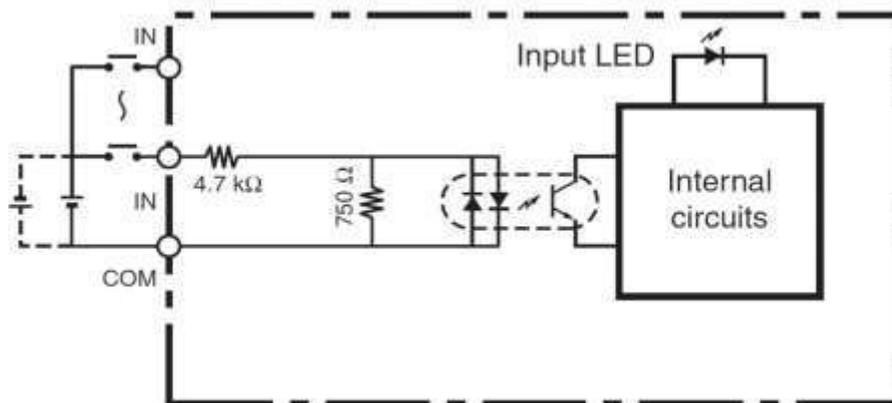
Gambar 2.6. Terminal Block CP1H-XA dan X dengan Sumber Listrik AC (atas) DC (bawah).

2.4.7. Konfigurasi Dasar Pengkabelan Input pada CP1H.

Saat perangkat masukan yang tersambung ke terminal unit *input* diaktifkan, sinyal akan dikirim ke CPU PLC untuk diproses lebih lanjut. Setiap terminal memiliki alamat memori tersendiri, yang biasanya antara 00 hingga 15. Setiap masukan pada unit *Input* tertentu diberikan alamat memori tertentu, mulai dari input 00. Perangkat input disambung ke PLC melalui pin pada terminal modul input, sehingga nantinya dapat mengaktifkan alamat *input* yang bersesuaian pada PLC.

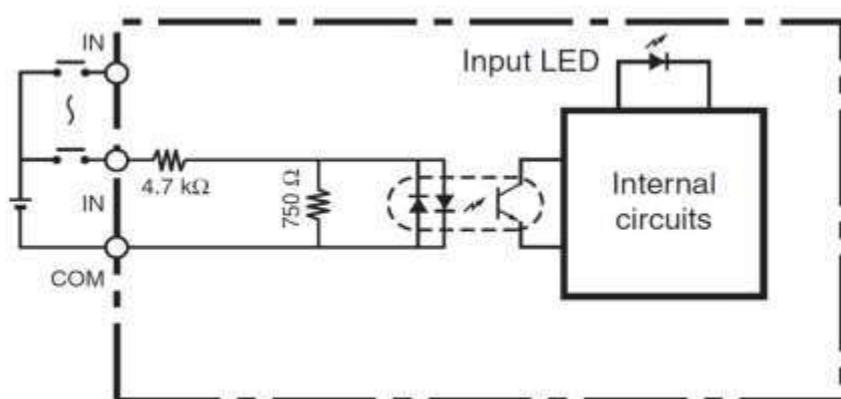
Pada PLC Omron CP1H, terdapat tiga jenis komponen yang digunakan pada modul luaran, diantaranya yaitu bertipe relay, transistor NPN (sinking) dan transistor PNP (sourcing). Modul luaran bertipe relay dapat dihubungkan dengan perangkat luaran baik yang bertegangan AC maupun DC. Sedangkan untuk modul luaran bertipe transistor hanya dapat dihubungkan dengan perangkat luaran yang bertegangan DC (4,5 – 30V). Port common pada modul luaran PLC dengan modul bertipe relay ini dapat dihubungkan dengan tegangan AC/DC, baik dengan tegangan referensi positif maupun negatif. Prinsip utama dalam penyambungan *input* PLC adalah memberi tegangan 24 V kepada pin modul *input*. Tegangan 24 Volt dapat tercapai jika sebuah loop tertutup telah terbentuk seperti pada Gambar 2.7.

Langkah penting dalam proses penyambungan input pada PLC adalah menentukan sambungan catu daya pada bagian *Common*. *Common Input* dapat dipilih dengan menggunakan tegangan referensi positif (24V) atau tegangan referensi negatif (0V). Penentuan ini bisa berdasarkan pertimbangan *standard Common* yang berlaku dalam perusahaan atau tipe sensor yang digunakan.



Gambar 2.7. Konfigurasi Rangkaian - *Input Normal*

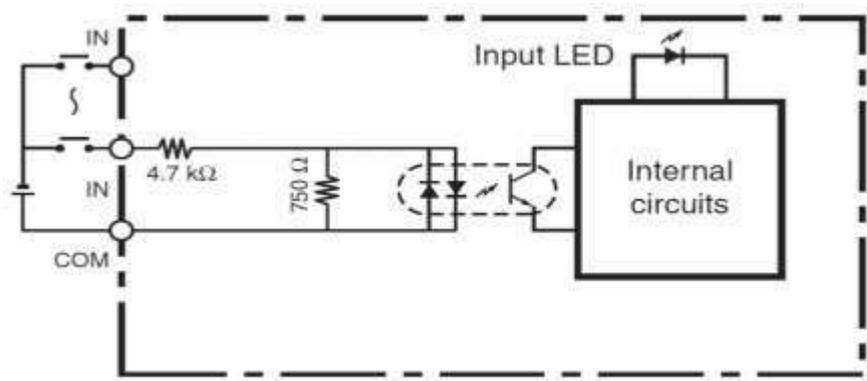
Standard dasar dengan *common input* positif yaitu, untuk mengatasi kebocoran kabel yang terkelupas atau kontak dengan *body panel*.



Gambar 2.8. Konfigurasi Rangkaian - *Input Normal*

Sehingga jika kabel bertegangan 24V harus disambungkan pada sejumlah tombol dan sensor lalu ke pin – pin input, maka akan lebih meningkatkan resiko hubungan

pendek terhadap body panel (*ground*). Atau saat *Push button* ditekan, memungkinkan terjadi hubungan pendek terhadap *body panel*.

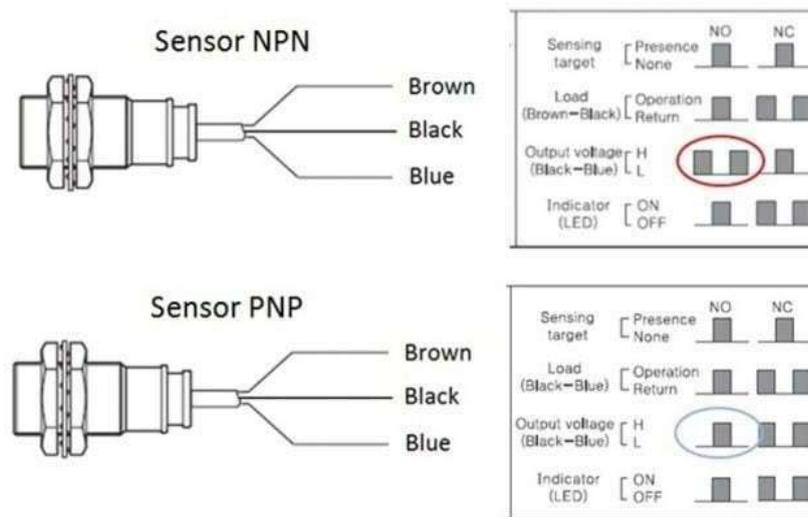


Gambar 2.9. Konfigurasi Rangkaian *Common Input* Negatif.

Sedangkan standard dengan *common input* negatife yaitu akan lebih berbahaya jika kabel 0V harus disambungkan pada sejumlah tombol dan sensor dan ke pin – pin input, karena jika kabel terkelupas atau kontak dengan *body panel (ground)* maka akan terbentuk loop semu sehingga pin input seolah – olah mendapatkan tegangan 24 V. Dengan kata lain PLC akan mendapatkan perintah yang tidak benar. Kesalahan seperti ini cenderung lebih sulit dideteksi daripada hubungan pendek pada pemilihan *common input* positif.

2.4.8. Konfigurasi Rangkaian - *Input Sensor* 3-kabel.

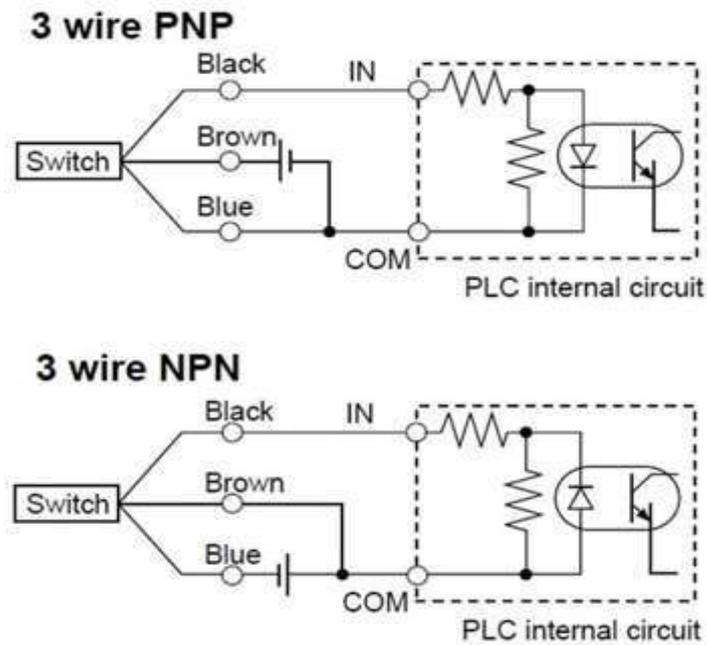
Seperti halnya pada modul masukan, sensor yang dapat dipasang pada PLC ada 2 jenis yaitu *input sourcing* (PNP) dan *input sinking* (NPN). Sensor dengan tipe sinking (NPN) hanya bisa diterapkan pada modul input *sourcing*, sedangkan sensor dengan tipe *sourcing* (PNP) hanya bisa diterapkan pada modul *input sinking*. Sensor dengan 3 kabel terdiri atas 2 kabel sebagai sumber yaitu positive (coklat) dan negative (biru) dan 1 kabel signal (hitam). Pada sensor NPN, setelah tegangan diberikan pada kaki coklat dan biru, maka *output* pada kaki hitam ke biru adalah 24V walaupun sensor belum mendeteksi apa pun (lingkaran merah) lalu akan berubah menjadi 0V (NoI) saat mendeteksi objek. Sedangkan pada sensor jenis PNP berlaku sebaliknya (lingkaran biru).



Gambar 2.10. Sensor NPN dan PNP dengan 3 kabel

Adakalanya penyambungan sensor NPN dibutuhkan *common* positif pada *input* PLC, sehingga saat sensor mendeteksi maka arus mengalir dari catu daya positif menuju *common* yang akan melalui rangkaian optocoupler *input* kemudian keluar melalui port modul *input* dan selanjutnya melalui kabel hitam masuk ke rangkaian sensor sehingga berakhir di negatif catu daya melalui kabel biru.

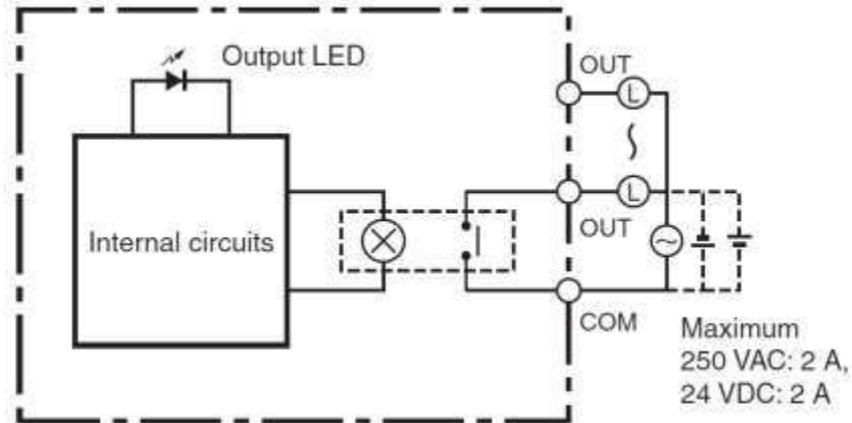
Pada sensor PNP dibutuhkan *common* negatif pada *input* PLC, sehingga saat sensor mendeteksi maka arus mengalir dari catu daya positif melalui kabel coklat ke rangkaian sensor. Selanjutnya arus keluar dari sensor melalui kabel hitam ke *input* PLC yang dituju. Arus dari catu daya menuju *common* yang akan melalui rangkaian optocoupler *input* kemudian keluar melalui *port common* dan selanjutnya melalui kabel hitam masuk ke rangkaian sensor hingga berakhir di negatif catu daya melalui kabel biru.



Gambar 2.11. Pengkabelan Sensor NPN dan PNP 3 kabel.

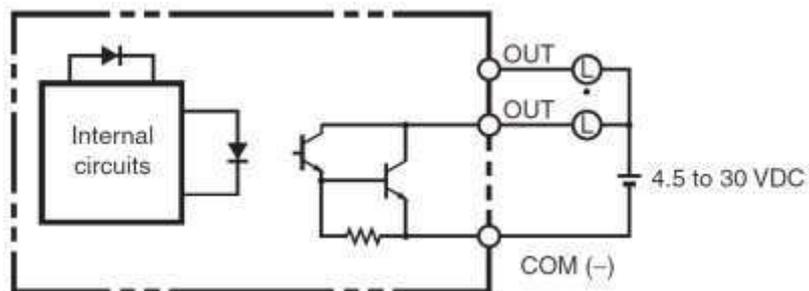
2.4.9. Konfigurasi Dasar Pengkabelan *Output* pada CP1H

Sinyal yang telah diproses oleh CPU PLC, diteruskan ke bagian modul luaran untuk mengendalikan perangkat luaran. Sama halnya dengan bagian modul masukan, setiap pin pada modul luaran memiliki alamat memorinya tersendiri dimulai dari bit 00 sampai dengan 15. Pada PLC Omron CP1H, terdapat tiga jenis komponen yang digunakan pada modul luaran, diantaranya yaitu bertipe relay, transistor NPN (*sinking*) dan transistor PNP (*sourcing*). Modul luaran bertipe relay dapat dihubungkan dengan perangkat luaran baik yang bertegangan AC maupun DC. Sedangkan untuk modul luaran bertipe transistor hanya dapat dihubungkan dengan perangkat luaran yang bertegangan DC (4,5V–30V). *Port common* pada modul luaran PLC dengan modul bertipe relay ini dapat dihubungkan dengan tegangan AC/DC, baik dengan tegangan referensi positif maupun negatif.

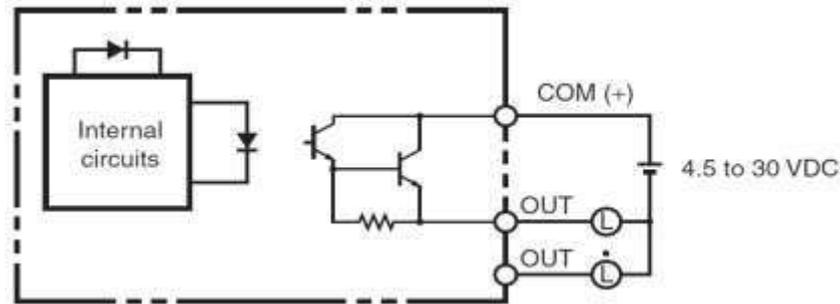


Gambar 2.12. Modul Pengkabelan Luaran bertipe *Relay*.

Pada modul luaran bertipe transistor NPN (*sinking*), *port common* pada modul luaran PLC wajib dihubungkan dengan tegangan DC bereferensi negatif (0V), sedangkan *port common* pada modul luaran PLC bertipe transistor PNP (*sourcing*) wajib dihubungkan dengan tegangan DC bereferensi positif (4,5V–30V). Selengkapnya dijelaskan pada bagan berikut.



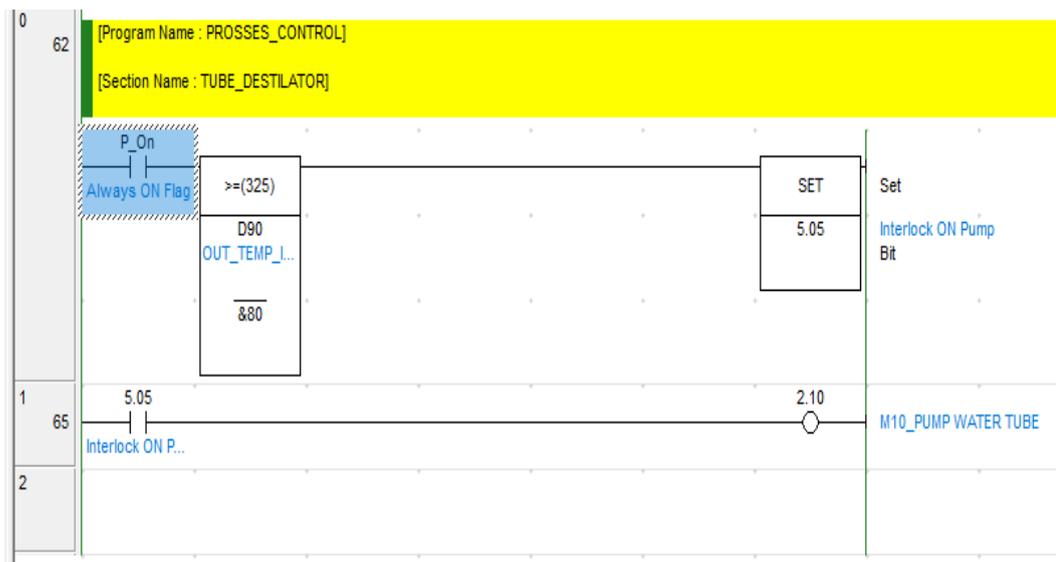
Gambar 2.13. Modul luaran bertipe transistor NPN (*sinking*).



Gambar 2.14. Modul luaran bertipe transistor PNP (*sourcing*).[19]

2.4.10. Software CX Programmer, NB Designer dan HMI.

CX Programmer adalah software khusus untuk memprogram PLC buatan OMRON. CX Programmer ini sendiri merupakan salah satu software bagian dari CX-One. Dengan CX-Programmer ini kita bisa memprogram aneka PLC buatan omron dan salah satu fitur yang saya suka yaitu adanya fitur simulasi tanpa harus terhubung dengan PLC, sehingga kita bisa mensimulasikan ladder yang kita buat, dan simulasi ini juga bisa kita hubungkan dengan HMI PLC Omron yang telah kita buat dengan menggunakan NB-Designer. Di bawah ini merupakan tampilan dari *ladder* diagram CX Programmer.



Gambar 2.15. Tampilan program CX Programmer.

Human Machine Interface (HMI) adalah alat yang menghubungkan manusia dengan mesin di plant dan digunakan untuk menampilkan, mengawasi, dan mengontrol proses yang sedang berlangsung, pengaturan waktu (*timer*), dan pengaturan kontrol PID dan lain-lain. HMI yang digunakan adalah HMI Omron.

Perangkat lunak HMI yang digunakan untuk menunjang pemrograman hardware HMI Omron NB7W-TW00B yang digunakan pada proposal ini adalah software NB Designer versi 1.23 yang merupakan software HMI milik Omron, sedangkan pemrograman pada perangkat keras PLC Omron CP1H-XA40DT1-D dan menggunakan software CX Programmer versi 9.5.

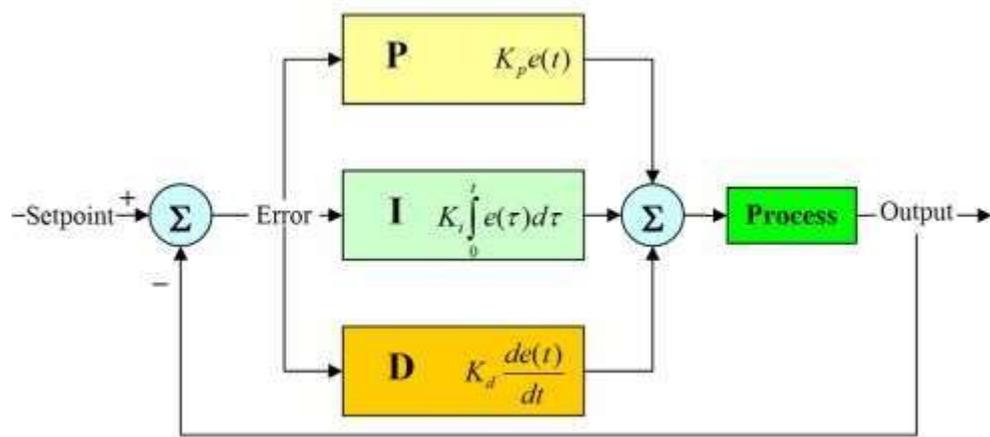
Fungsi HMI pada penelitian adalah untuk menampilkan proses pembuatan bioethanol, dari mulai pengisian tabung evaporator dengan menggunakan fungsi waktu (*timing filling pump*), *setting* PID, *set point setting* suhu, menyalakan dan mematikan heater pada proses Evaporasi (pengontrolan suhu), dan membuka *solenoid valve*, dengan menggunakan fungsi pewaktu (*timer*) untuk membuang cairan yang berlebihan dan mengembalikan lagi pada tangki brothank. Pada distilasi untuk menghidupkan pompa destilator jika suhu destilasi sudah mencapai suhu set point [20].



Gambar 2.16. Tampilan Software NB Designer HMI Omron saat dijalankan.

2.5. Pengendali PID

Kontroler PID (*Proportional–Integral–Derivative controller*) merupakan kontroler dengan mekanisme umpan balik yang biasanya dipakai pada sistem kontrol industri. Sebuah kontroler PID secara kontinu menghitung *nilai kesalahan* sebagai beda antara setpoint yang diinginkan dan variabel proses terukur. Pada sistem PID kontroler mencoba untuk meminimalkan nilai kesalahan setiap waktu dengan penyetelan *variabel kontrol*, seperti posisi keran kontrol, damper, atau daya pada elemen pemanas. Skema kontrol PID dinamai dari ketiga *term* pengendalnya, yaitu: K_p , K_i dan K_d , yang kemudian dijumlahkan menjadi variabel manipulasi.



Gambar 2.17. blok diagram kontrol PID. [21]

Term proportional, integral, dan derivative dijumlahkan untuk menghitung keluaran kontroler PID dengan mendefinisikan $u(t)$ sebagai keluaran kontroler, bentuk akhir dari algoritma PID adalah:

$$u(t) = P(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Dimana :

K_p : Gain *Proportional*, parameter tuning.

K_i : Gain *Integral*, parameter tuning.

K_d : Gain *Derivative*, parameter tuning.

e : *Error* = $Y_{sp} - Y_m$.

Y_{sp} : Set point.

Y_m : Variabel proses.

t : Waktu.

τ : Variabel integrasi; nilainya diambil dari waktu nol sampai t ,

Transfer fungsi dalam bentuk Domain Laplace kontroler PID adalah :

$$L(s) : K_p + K_i / s + K_d s$$

Dengan, s : frekuensi bilangan kompleks.

2.5.1. Ketentuan (*Term*) Proportional

Term Proportional akan menghasilkan nilai keluaran yang berbanding lurus dengan nilai kesalahan. Responnya dapat diatur dengan mengalikan kesalahan (*error*), dan konstanta K_p disebut konstanta *gain* proportional atau *gain* kontroler.

Term proportional dirumuskan: $P_{out} = K_p e(t)$

$$P_{out} = K_p (Y_{sp} - Y_m) \quad (2)$$

Gain yang besar menghasilkan perubahan yang besar pada keluaran untuk suatu nilai kesalahan tertentu. Namun, jika gain terlalu besar, sistem akan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai kondisi *steady-state*. Sebaliknya, gain yang bernilai kecil maka respon keluaran juga kecil, sehingga kontroler menjadi kurang responsif/sensitif, hal ini akan mengakibatkan respon kontroler akan lebih lambat jika mendapatkan gangguan.

2.5.2. Ketentuan (*Term*) Integral

Peranan dari *trem integral* berbanding lurus dengan lamanya *error*. *Integral* dalam kontrol PID adalah jumlah *error* setiap waktu dan mengakumulasi *offset* sebelumnya yang telah dikoreksi. Error terakumulasi dikalikan dengan gain integral (K_i) dan menjadi keluaran kontroler.

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (3)$$

Term integral mempercepat perpindahan proses menuju *setpoint* dan menghilangkan *steady-state error* yang muncul pada kontroler *proportional*.

Namun, karena *integral* merespon terhadap *error* terakumulasi dari sebelumnya, maka dapat menyebabkan *overshoot*.

$$D_{out} = Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

Aksi *derivative* memprediksi perilaku sistem dan kemudian memperbaiki waktu tinggal dan stabilitas sistem. Aksi *derivative* jarang digunakan pada industri diperkirakan hanya 25% untuk sistem kontroler karena akibatnya pada stabilitas sistem [22].

2.5.3. *Tunning* nilai Kp, Ki dan Kd (PID)

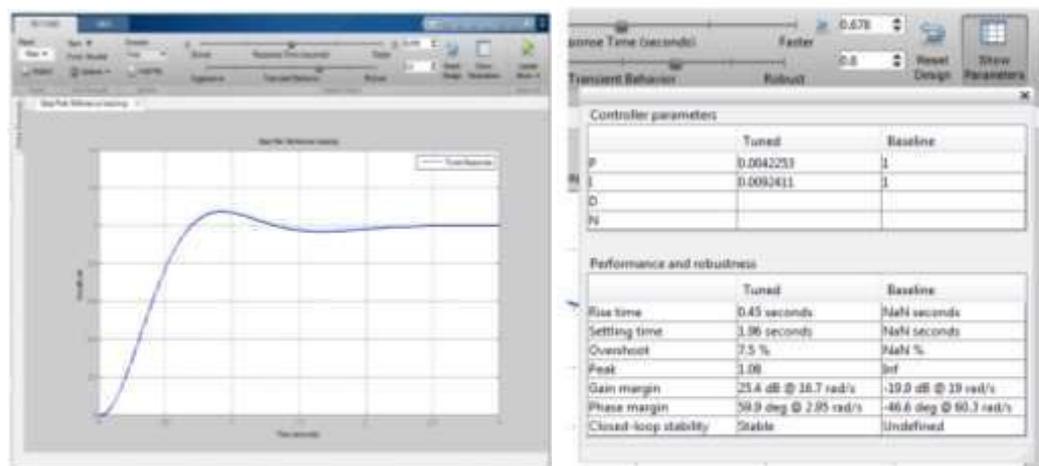
Ada beberapa cara untuk menentukan nilai Kp, Ki, Kd. Salah satunya adalah dengan cara *tunning* nilainya satu persatu. Dimulai dengan nilai Kp (*Gain proportional*) terlebih dahulu, hal ini dikarenakan kita perlu mencari respon sistem yang paling cepat dengan cara meminimalkan nilai *rise time*, jangan memberikan nilai Kp terlalu besar atau terlalu kecil. Setelah respon dirasa cukup tepat hal selanjutnya yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan nilai pada Kd (*Gain Derivative*), hal ini bertujuan untuk mengecilkan nilai amplitudo sehingga osilasi dapat diredam atau bahkan dihilangkan. Kemudian proses terakhir pada *tunning* nilai *Gain* adalah dengan mencari nilai Ki (*Gain Integral*), *tunning* Ki diperlukan jika kondisi sistem memiliki *steady state error*, yakni terjadi selisih antara nilai *set point* dengan nilai sistem saat mencapai kondisi *steady state*.

2.5.4. PID *Tunner*

PID *Tunner* adalah *software* dari *Mathlab Simulink* yang menyediakan metode penyetelan PID *loop* tunggal yang cepat dan dapat diterapkan secara luas untuk blok kontroler PID Simulink. Dengan metode ini, pengguna dapat menyetel parameter kontroler PID untuk mendapatkan desain yang baik dengan waktu respons yang diinginkan (metode *Tunning* PID secara *trial and Error*). Pada saat PID *Tunner* diluncurkan, perangkat lunak akan memberikan input linier dari *Mathlab Simulink* yang dilihat oleh sistem pengontrol perangkat lunak secara otomatis

mengidentifikasi *input* dan *output* sistem dari matlab, yang digunakan untuk mengidentifikasi titik operasi saat linierisasi .

PID *Tuner* menghitung dan mengontrol PI awal untuk mencapai nilai tukar yang ideal antara kinerja kontrol dan ketahanan sistem kontrol . Secara *default*, kinerja pelacakan referensi akan ditampilkan di program plot. Dengan menge-klik tampilan parameter untuk melihat parameter pengontrol P dan I, serta serangkaian pengukuran kinerja dan ketahanan dari sistem yang didesain, dan kita bisa melihat masing-masing parameter, baik *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative* yang akan kita simulasikan pada Matlab Simulink.

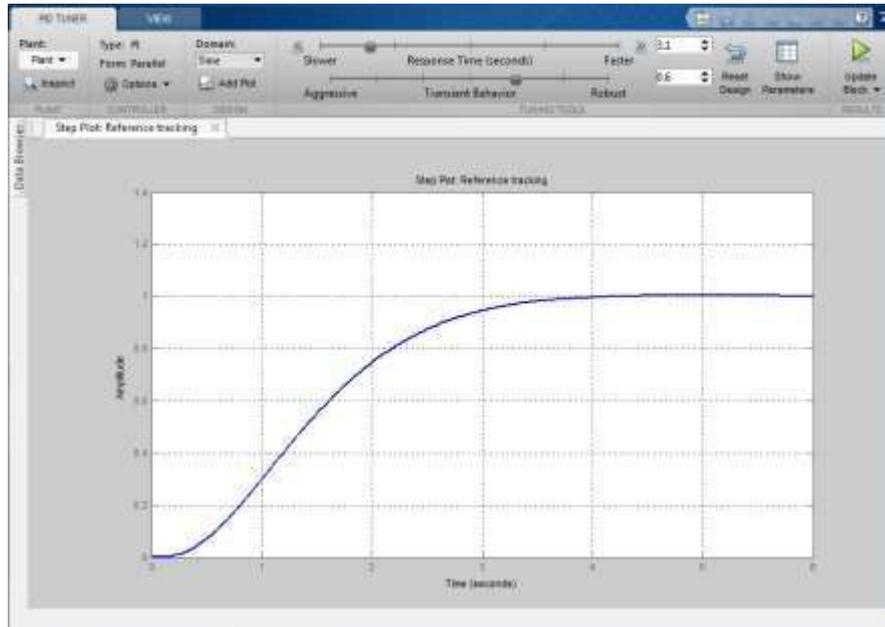


Gambar 2.18. Menampilkan dialog dan parameter PID *Tuner*.

Untuk penyesuaian *overshoot* dari respon PID, kita dapat mengurangi *overshoot* tersebut dengan menambah waktu responsnya. dengan cara menggeser ke kiri untuk menambah waktu *respon loop*. Dengan demikian kita bisa melihat respon dari grafik, apakah nilai parameter yang kita inputkan, sesuai dengan desain PID yang kita inginkan. Jika sudah sesuai maka kita simulasikan kembali dengan Matlab *Simulink* untuk melihat hasil dari PID kontrol sistem yang kita buat, jadi pada penelitian ini metode tuning PID nya menggunakan PID *Tuner*. Gambar berikut menunjukkan desain PID yang disesuaikan dengan *overshoot* nol dan waktu penyelesaian 4 detik. Sebagai contoh perancangan pengontrol yang hanya menggunakan parameter integral saja, dan pada Gambar 2.19. tampak, hanya parameter I saja yang dimanipulasi pada sistem ini.

Tujuan dari Elemen-elemen pengontrol P, I dan D secara keseluruhan:

1. mempercepat reaksi sebuah sistem mencapai *set point*-nya.
2. menghilangkan *offset*.
3. menghasilkan perubahan awal yang besar dan mengurangi *overshoot*. [23].



Gambar 2.19. Menampilkan dialog parameter I pada PID *Tuner*.

Controller parameters		
	Tuned	Baseline
P	0	1
I	0.0021263	1
D		
N		

Performance and robustness		
	Tuned	Baseline
Rise time	2.06 seconds	NaN seconds
Settling time	3.45 seconds	NaN seconds
Overshoot	0.401 %	NaN %
Peak	1	Inf
Gain margin	18.9 dB @ 3.27 rad/s	-19.9 dB @ 19 rad/s
Phase margin	69.3 deg @ 0.645 rad/s	-46.6 deg @ 60.3 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Undefined

Gambar 2.20. Menampilkan dialog parameter I.

2.6. Sensor Suhu RTD PT 100

PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. PT100 tipe DIN (Standard Eropa) memiliki resolusi 0,385 ohm per 1°C. Jadi resistansinya akan naik sebesar 0,385 ohm untuk setiap kenaikan suhu 1°C. Untuk lebih jelasnya kita bisa melihat bentuk fisik dari RTD PT 100 pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2.21. Sensor Suhu RTD PT 100 3 kabel.

Untuk mengukur suhu secara elektronik menggunakan sensor suhu PT100, maka kita harus mengeksitasinya dengan arus yang tidak boleh melebihi nilai 1 mA. Hal ini karena jika dialiri arus melebihi 1 mA, maka akan timbul efek self-heating. Jadi, seperti layaknya komponen resistor, maka kelebihan arus akan diubah menjadi panas. Akibatnya hasil pengukuran menjadi tidak sesuai lagi. Ketika suhu elemen RTD meningkat, maka resistansi elemen tersebut juga akan meningkat. Dengan kata lain, kenaikan suhu logam yang menjadi elemen resistor RTD berbanding lurus dengan resistansinya. Elemen RTD biasanya ditentukan sesuai dengan resistansi mereka dalam ohm pada nol derajat celsius (0° C). Spesifikasi RTD yang paling

umum adalah 100Ω (RTD PT100), yang berarti bahwa pada suhu 0°C , elemen RTD harus menunjukkan nilai resistansi 100Ω .

Dalam prakteknya, arus listrik akan mengalir melalui elemen RTD (elemen resistor) yang terletak pada tempat atau daerah yang mana suhunya akan diukur. Nilai resistansi dari RTD kemudian akan diukur oleh instrumen alat ukur, yang kemudian memberikan hasil bacaan dalam suhu yang tepat, pembacaan suhu ini didasarkan pada karakteristik resistansi yang diketahui dari RTD, dan di bawah ini adalah Table parameter Teknik RTD PT 100 [24].

Tabel 2. 3. Parameter Teknik sensor suhu RTD PT 100

kalibrasi	resistansi nominal (0°C) Ω	Suhu rentang pengukuran $^\circ \text{C}$	toleransi	R100 / R ₀ w
Pt10	10	elemen keramik: -200 ~ 600	Kelas A: $\pm (0,15 + 0,2\% t)$ Kelas B: $\pm (0,3 + 0,2\% t)$	1,3851
Pt100	100	elemen mika: -200 ~ 420		
Cu50	50	-50 ~ 100	$\pm (0,3 + 0,6\% t)$	1,4280
Cu100	100			

2.7. *Temperature Transmitter*

Temperature transmitter adalah alat yang digunakan untuk mengirimkan sinyal hasil pengukuran suhu dari sensor untuk dikirimkan ke *temperature control indicator*. Sinyal dari sensor diubah oleh *controller* di *transmitter* menjadi sinyal arus listrik sebesar 4-20 mA. Sinyal ini selanjutnya diolah melalui *I/O controller* ke sistem yang memerlukan. Pada penelitian ini *temperature transmitter* yang digunakan adalah *transmitter* yang ada dipasaran dengan rentang suhu $0-150^\circ \text{C}$, rentang arus 4-20 mA dengan suplai tegangan 24 Volt DC. Adapun bentuk fisik *temperature transmitter* dapat dilihat pada Gambar 2.22. [25].



Gambar 2.22. *Temperature transmitter* suhu 0-150°C, 4-20mA, 24 Volt.

2.8. Aktuator

Aktuator adalah elemen yang mengkonversikan besaran listrik analog menjadi besaran lainnya misalnya kecepatan putaran dan merupakan perangkat elektromagnetik yang menghasilkan daya gerakan sehingga dapat menghasilkan gerakan pada robot. Untuk meningkatkan tenaga mekanik aktuator ini dapat dipasang sistem gearbox. Aktuator dapat melakukan hal tertentu setelah mendapat perintah dari kontroller. Misalnya pada suatu robot pencari cahaya, jika terdapat cahaya, maka sensor akan memberikan informasi pada kontroller yang kemudian akan memerintah pada aktuator untuk bergerak mendekati arah sumber cahaya.

Ada 4 macam aktuator yang digunakan dalam penelitian ini yaitu : *Solid State Relay* (SSR), *Relay*, *Solenoid Valve*, dan *Plunger Pump*.

2.8.1. Solid State Relay (SSR)

Pengertian *Solid State Relay* atau yang sering disingkat SSR merupakan sebuah saklar elektromekanik yang memiliki sifat semi konduktor. Komponen satu ini biasanya banyak diaplikasikan pada industri-industri sebagai *device* pengendali. *Solid State Relay* (SSR) merupakan tipe terbaru saklar elektronik non kontak yang memiliki performa dan teknologi serta peralatan asing yang canggih.

Fungsi SSR ini sama seperti *relay* yang lain, yakni mengendalikan aliran arus yang berdaya besar dengan menggunakan arus yang kecil, dengan menggunakan

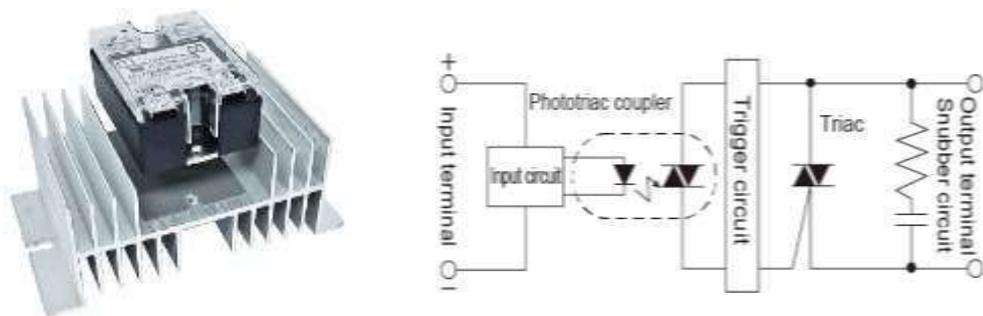
optocoupler, yang merupakan sebuah sirkuit sederhana dan dikendalikan oleh cahaya. Biasanya cahaya yang dipakai SSR ini berbentuk LED atau infrared.

Kelebihan dan kekurangan *Solid State Relay* dibandingkan dengan *relay* konvensional antara lain dapat dibedakan dengan beberapa hal. Salah satunya adalah pada sistem pengoperasiannya serta reformasinya. Berikut akan kami ulas beberapa penjelasan singkatnya :

Kelebihan *Solid State Relay*:

1. Kelebihan yang pertama adalah minimnya suara yang dihasilkan oleh alat ini ketika kontraktor mengalami perubahan keadaan.
2. Memiliki umur pemakaian yang lebih panjang dibandingkan dengan *relay* mekanik.
3. Tidak menimbulkan percikan bunga api pada saat kontaktor mengalami perpindahan keadaan.
4. Memiliki sifat yang tahan korosi sehingga umur pemakaian pun menjadi lebih panjang.
5. Tidak seperti *relay* konvensional. *Solid state relay* sangat kebal dengan getaran atau guncangan.

Untuk lebih jelasnya kita bisa melihat bentuk fisik SSR pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2.23. *Solid State Relay* (SSR) dan cara kerjanya.

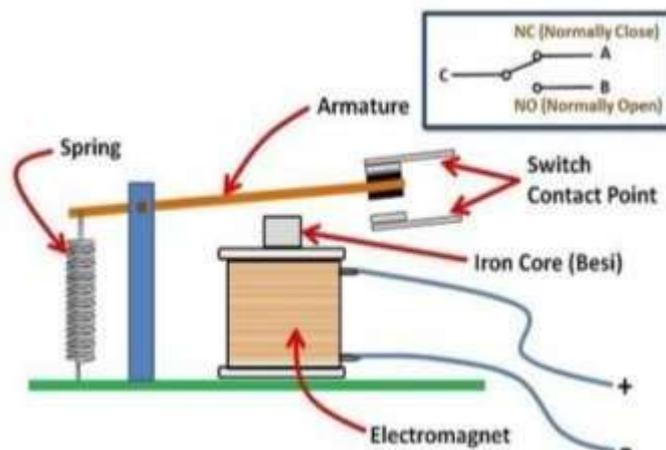
Kekurangan *Solid State Relay*

1. Tegangan yang dikontrol oleh SSR ini benar-benar tidak murni sehingga dapat berimbas ada komponen-komponen SSR yang lainnya.

2. Terbuat dari bahan silikon, maka pada alat ini akan terdapat tegangan jatuh antara tegangan input dan output. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya tegangan drop.
3. Dapat terjadi arus bocor (*Leakage current*). Dimana pada *Solid Relay State* yang dalam keadaan *on* atau *off* maka dalam kondisi yang ideal seharusnya tidak ada arus yang mengalir pada SSR. Namun tidak demikian pada komponen yang sebenarnya.
4. Susah untuk diimplementasikan pada aplikasi multi fasa.
5. Harganya jauh lebih mahal dari *relay* konvensional [26].

2.8.2. Relay

Relay merupakan komponen elektronika berupa saklar atau *switch* elektrik yang dioperasikan secara listrik dan terdiri dari 2 bagian utama yaitu Elektromagnet (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar). Komponen elektronika ini menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Berikut adalah simbol dari komponen *relay*.



Gambar 2.24. struktur sederhana *relay*.

Di dalam rangkaian elektronika, *relay* memiliki beberapa fungsi yang cukup unik. Berikut beberapa fungsi saat di aplikasikan ke dalam sebuah rangkaian elektronika.

1. Mengendalikan sirkuit tegangan tinggi dengan menggunakan bantuan *signal* tegangan rendah.
2. Menjalankan *logic function* atau fungsi logika.
3. Memberikan *time delay function* atau fungsi penundaan waktu.
4. Melindungi motor atau komponen lainnya dari *korsleting* atau kelebihan tegangan [27].

2.8.3. Solenoid Valve

Solenoid valve pneumatic adalah katup yang digerakan oleh energi listrik melalui solenoida, mempunyai kumparan sebagai penggeraknya yang berfungsi untuk menggerakkan piston yang dapat digerakan oleh arus AC maupun DC, *solenoid valve pneumatic* atau katup (*valve*) solenoida mempunyai lubang keluaran, lubang masukan dan lubang *exhaust*. Lubang masukan, berfungsi sebagai terminal / tempat udara bertekanan masuk atau *supply (service unit)*, sedangkan lubang keluaran berfungsi sebagai terminal atau tempat tekanan angin keluar yang dihubungkan ke *pneumatic*, dan lubang *exhaust*, berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan udara bertekanan yang terjebak saat *Plunger* bergerak atau pindah posisi ketika *solenoid valve pneumatic* bekerja.



Gambar 2.25. *Solenoid valve*

Mekanisme kontrol pada aktuator solenoida sangat sederhana yaitu memberikan tegangan listrik DC sebesar 12 Volt ke kumparan *solenoid*, sehingga timbul medan magnet yang menggerakkan tuas *solenoid*, yang tertahan oleh pegas, sehingga ketika sumber tegangan listrik dimatikan maka *solenoid* akan menutup kembali

Solenoid valve adalah elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam *fluidics*. Tugas dari *solenoid valve* adalah untuk mematikan, *release, dose, distribute* atau *mix fluids*. *Solenoid Valve* banyak sekali jenis dan macamnya tergantung tipe dan penggunaannya, namun berdasarkan modelnya *solenoid valve* dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu *solenoid valve single coil* dan *solenoid valve double coil* keduanya mempunyai cara kerja yang sama [28].

2.8.4. Pompa Pendorong (*Plunger Pump*)

Pada penelitian ini pompa yang digunakan merupakan pompa pendorong yang kecil dengan tegangan DC 12 Volt, yang berfungsi untuk mendorong cairan hasil fermentasi ke dalam tabung evaporator, seperti yang terlihat pada Gambar di bawah ini [29].



Gambar 2.26. Pompa Pendorong (*Plunger Pump*).

2.9. *Earth-Leakage Circuit Breaker* (ELCB)

Earth-Leakage Circuit Breaker (ELCB) adalah alat pengaman listrik dari resiko kebocoran arus listrik. ELCB biasa dapat ditemukan di dalam panel listrik, seperti MCB. Sekilas ELCB mirip dengan MCB, tetapi ELCB dan MCB ini mempunyai fungsi yang berbeda yaitu, sebagai proteksi apabila terjadi beban lebih (*overload*) ataupun hubung singkat (*short circuit*). ELCB berfungsi sebagai proteksi apabila terjadi kebocoran arus listrik. ELCB bekerja dengan mendeteksi arus listrik yang tidak seimbang. Sebagai contoh, ketika seseorang menyentuh kabel listrik yang

terbuka dari alat listrik yang sedang menyala, maka arus listrik akan bocor dan mengalir melalui orang tersebut.

ELCB akan segera mendeteksi arus bocor ini dengan membandingkan arus listrik yang mengalir pada fasa dan netral, yang ternyata tidak seimbang, sehingga akan mengaktifkan *relay* untuk *trip*. [30]



Gambar 2.27. *Earth-Leakage Circuit Breaker (ELCB)*

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung dan Program Studi Mekanisasi Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian Politeknik Negeri Lampung, selama satu tahun yaitu dari bulan Juni 2022 sampai Juli 2023 dimulai dari penyusunan proposal sampai dengan pelaporan hasil penelitian.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah:

1. Laptop Azus Quad Core x4 AMD A10
2. Reaktor Bioetanol sistem batch semi kontinyu (desain sendiri)
3. PLC Omron CP1H-XA40DT1-D.
4. HMI Omron NB7W-TW00B
5. Perangkat lunak CX Programmer 9.5 dan NB Designer Version 1.4
6. Perangkat lunak Matlab Simulink dan PID Tunner
7. *Brix* meter (alat ukur kadar gula) 0-32 %
8. Alkohol meter

3.2.2. Bahan Penelitian

1. Elemen pemanas 220 Volt, 1500 Watt x 3 buah
2. Sensor RTD PT 100 x 2 buah

3. *Transmitter* 0-150°C, 4-20 mA, 24 Volt x 2 buah
4. *Solid State Relay* (SSR) 1 phase 40 A
5. *Relay* DC 24 Volt
6. *Solenoid Valve* AC 220 Volt dan DC 12 Volt
7. Pompa pendorong (*plunger pump*) DC 12 Volt
- 8 *Power Suplay* DC 24 Volt dan 12 Volt
9. Earth-Leakage Circuit Breaker (ELCB) 40 A
10. Terminal Sambung
11. Kabel NYHY 4 mm dan 0,75 mm
12. Skun Kabel berbagai ukuran
13. Tetes Tebu (Molases) dan Ferminpan.

3.3. Desain dan Spesifikasi Alat Penelitian.

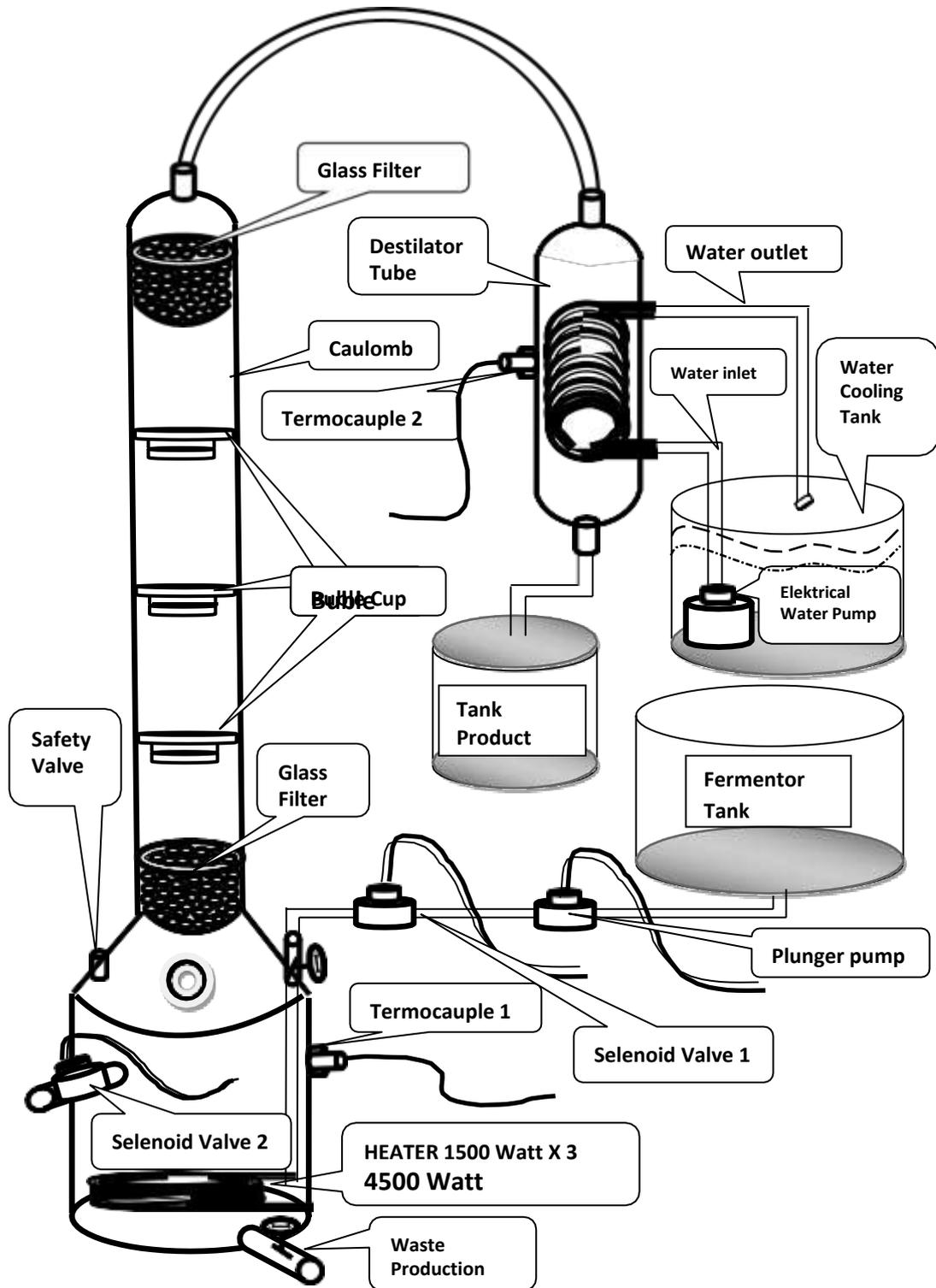
Desain perancangan penelitian aplikasi pemrosesan bioetanol sistem *batch* semi kontinyu dengan kontrol PID, dan PID *Tunner* simulasi *Mathlab* menggunakan PLC Omron CP1H-XA40DT1-D berbasis *NB Designer* dengan tampilan HMI (*Human Machine Interface*). Dengan menggunakan PLC mampu memberikan kinerja yang baik dan akurat untuk setiap perubahan sistem dan HMI dapat memberikan tampilan visual yang *real time* dan presisi untuk setiap respon input dan output dengan rata-rata interval waktu respon sebesar 0.25 second [31].

Desain spesifikasi alat penelitian merupakan desain sendiri yang dijadikan obyek penelitian.

3.3.1. Desain Alat Penelitian

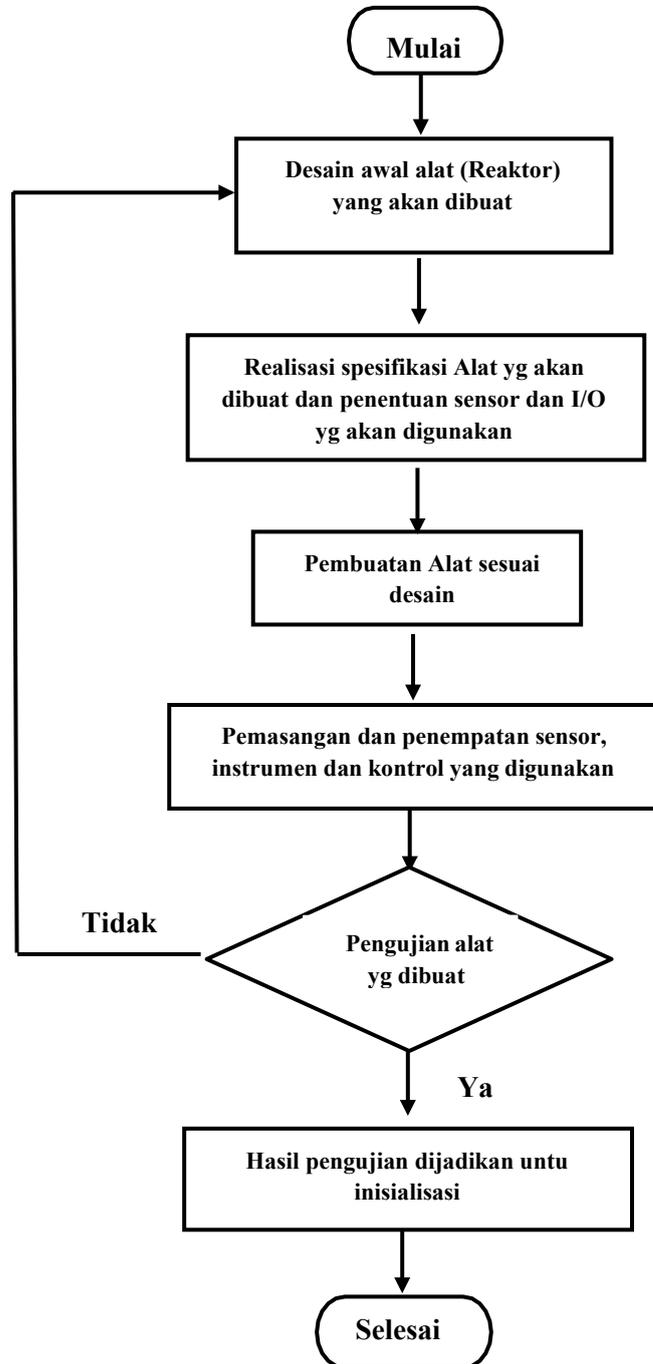
Pada desain reaktor penelitian ini terdapat empat *output* dari aktuator yaitu, elemen pemanas dengan daya total 4500 Watt, pompa pendorong DC 12 Volt dan *solenoid valve* DC 12 Volt yang bekerja bersamaan, pompa rendam AC 220 Volt yang berfungsi untuk *water cooling* destilator, dan *solenoid valve* AC 220 Volt, yang berfungsi untuk mengeluarkan cairan limbah dari reaktor.

Desain reaktor ini didesain sendiri dengan menggunakan bahan dari stainless steel, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 3.1. di bawah ini .



Gambar 3.1. Desain reaktor batch semi kontinyu

Setelah desain reaktor selesai sesuai dengan desain awal maka selanjutnya dilakukan pengujian. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada bagan alir (*flow chart*) desain pembuatan alat dan pengujian alat penelitian di bawah ini.



Gambar 3.2. bagan alir (*flowchart*) desain pembuatan alat (reaktor).

Setelah desain alat selesai maka langkah selanjutnya adalah realisasi pembuatan alat penelitian.

3.3.2. Realisasi Desain Alat Penelitian

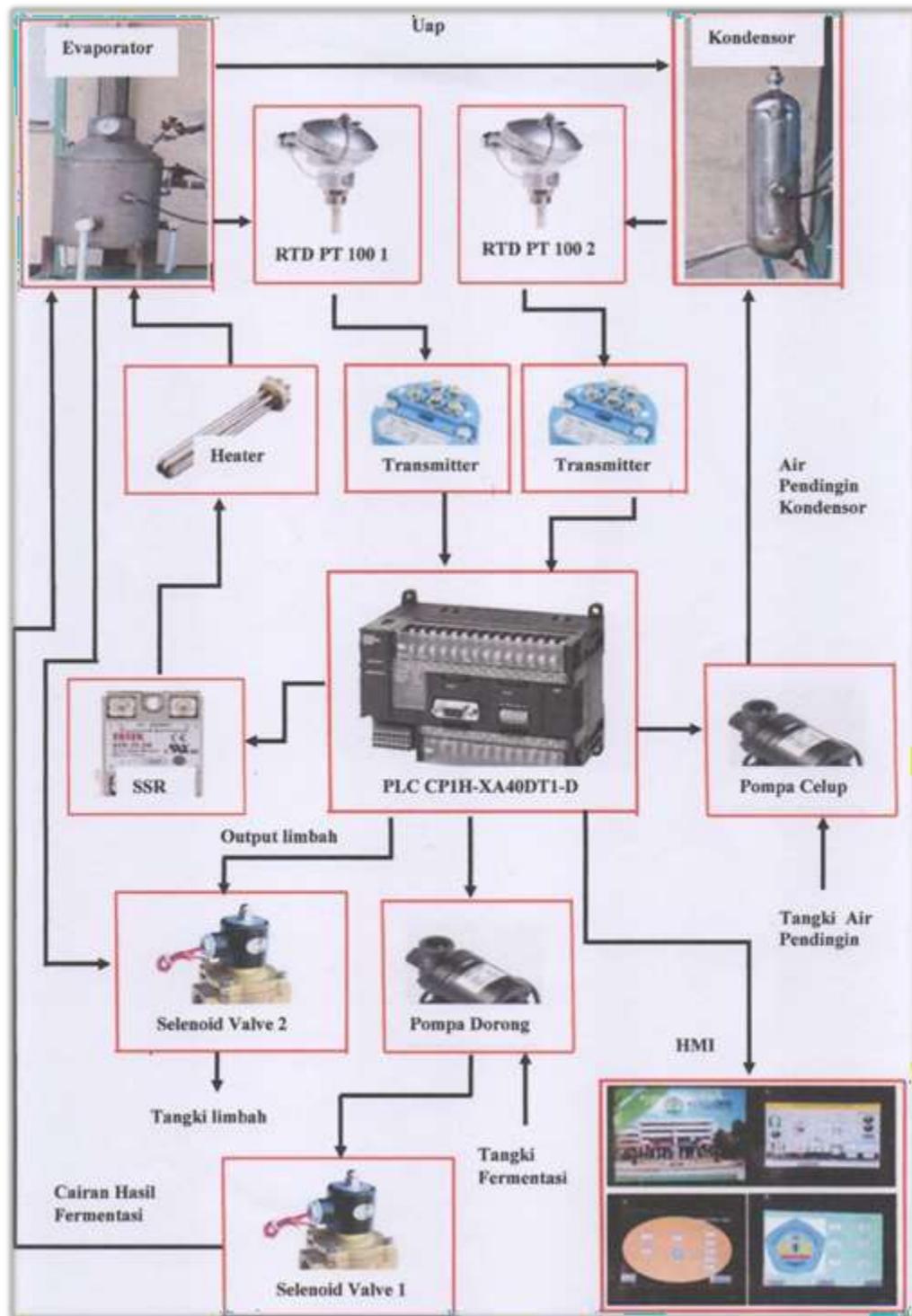
Realisasi pembuatan alat penelitian dilaksanakan di laboratorium Mekanisasi Pertanian Politeknik Negeri Lampung. Adapun material, yang digunakan dalam pembuatan alat penelitian ini adalah stainless steel 304 untuk tabung evaporator dengan kapasitas 25 liter dan tabung destilator menggunakan stainless steel pipa ornament dengan tabung pipa spiral kondensor didalamnya. Adapun desain alat yang akan direalisasikan bisa dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Desain reaktor dan realisasi alat penelitian.

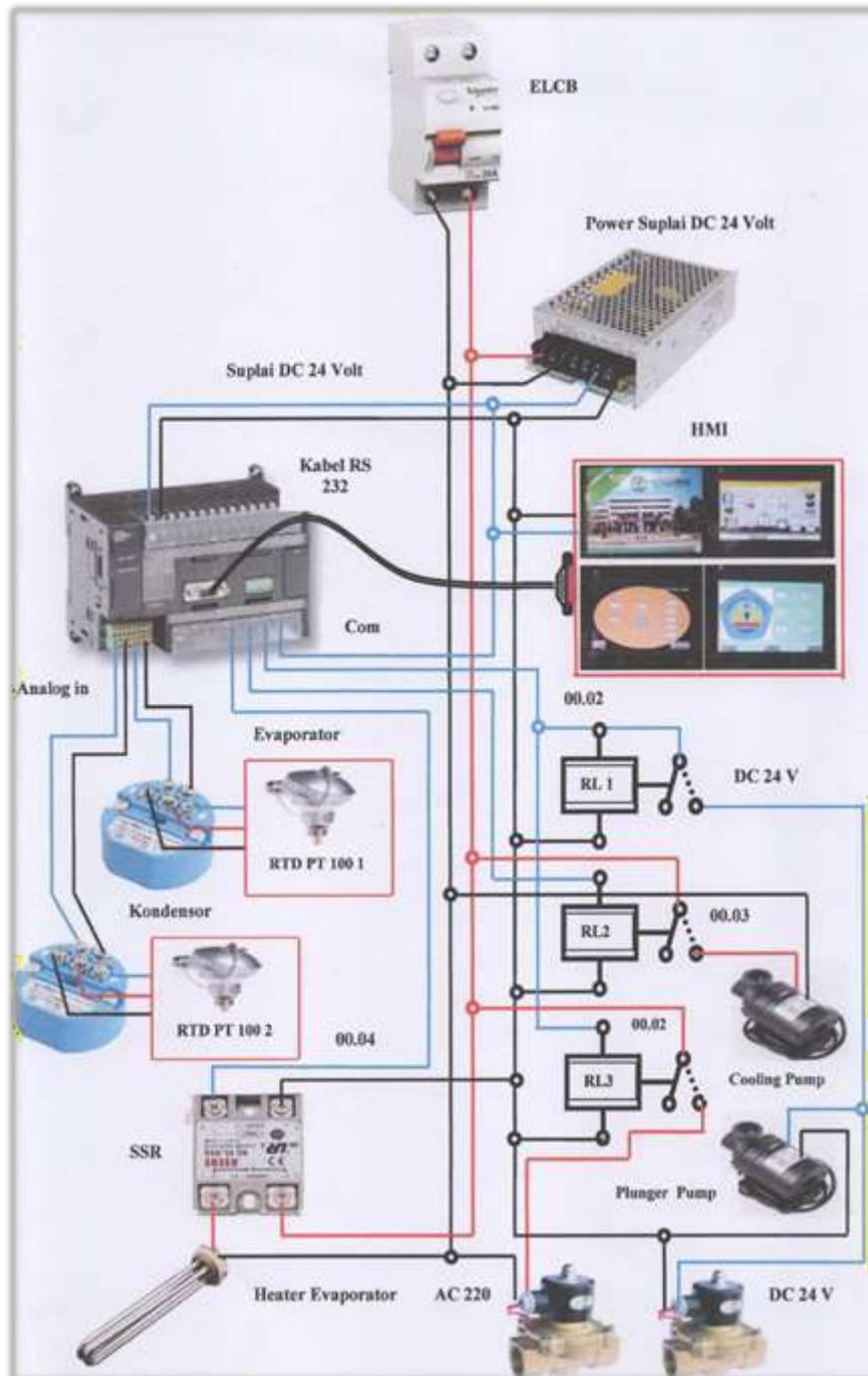
Untuk sensor suhu yang digunakan adalah RTD PT100, dan sistem kontrolnya menggunakan PID kontrol dengan menggunakan PLC Omron CP1H-XA40DT1-D dan HMI Omron NB7W-TW00B sebagai *tools display* desain *layout system*, sedangkan sistem proteksinya menggunakan *Earth-Leakage Circuit Breaker*

(ELCB) 40 A, sebagai antisipasi kebocoran arus pada *heater* ke sistem. Untuk lebih jelasnya, realisasi desain alat penelitian bisa dilihat pada diagram blok realisasi rancangan penelitian.



Gambar 3.4. Diagram blok rancangan penelitian.

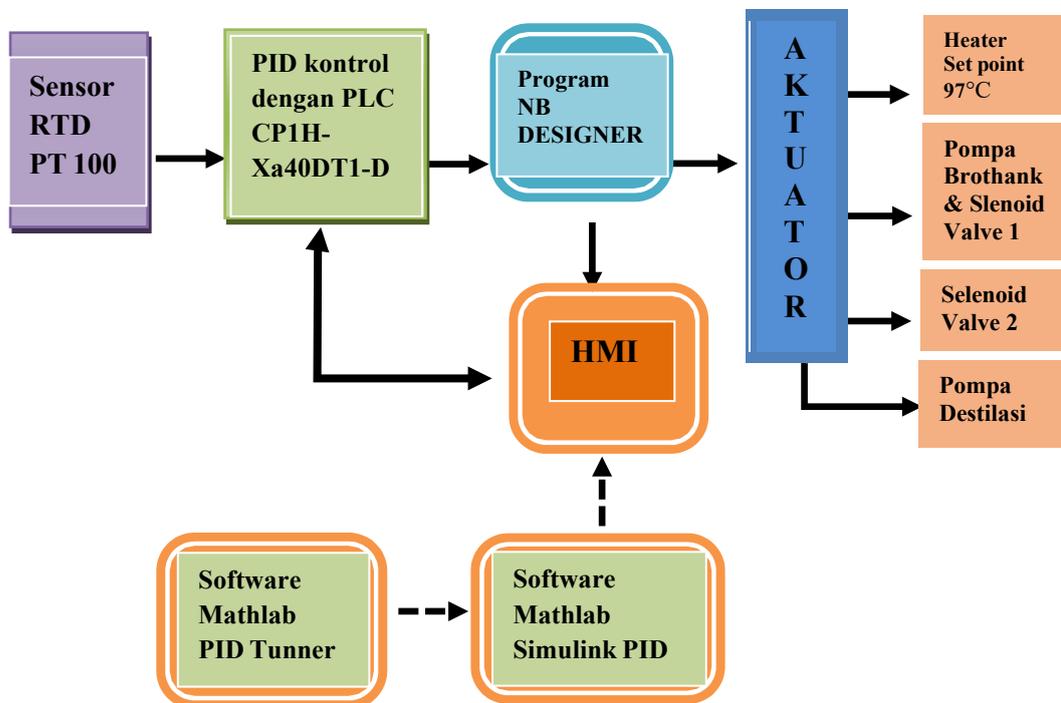
Pada penelitian ini juga digambarkan diagram pengawatan untuk memudahkan dalam hal *trouble shooting*, ketika terjadi kerusakan dan perbaikan pada alat penelitian. Adapun diagram pengawatan (*wiring diagram*) realisasi rancangan penelitian bisa dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. *Wiring diagram* rancangan penelitian.

3.3.3. Spesifikasi Alat Penelitian

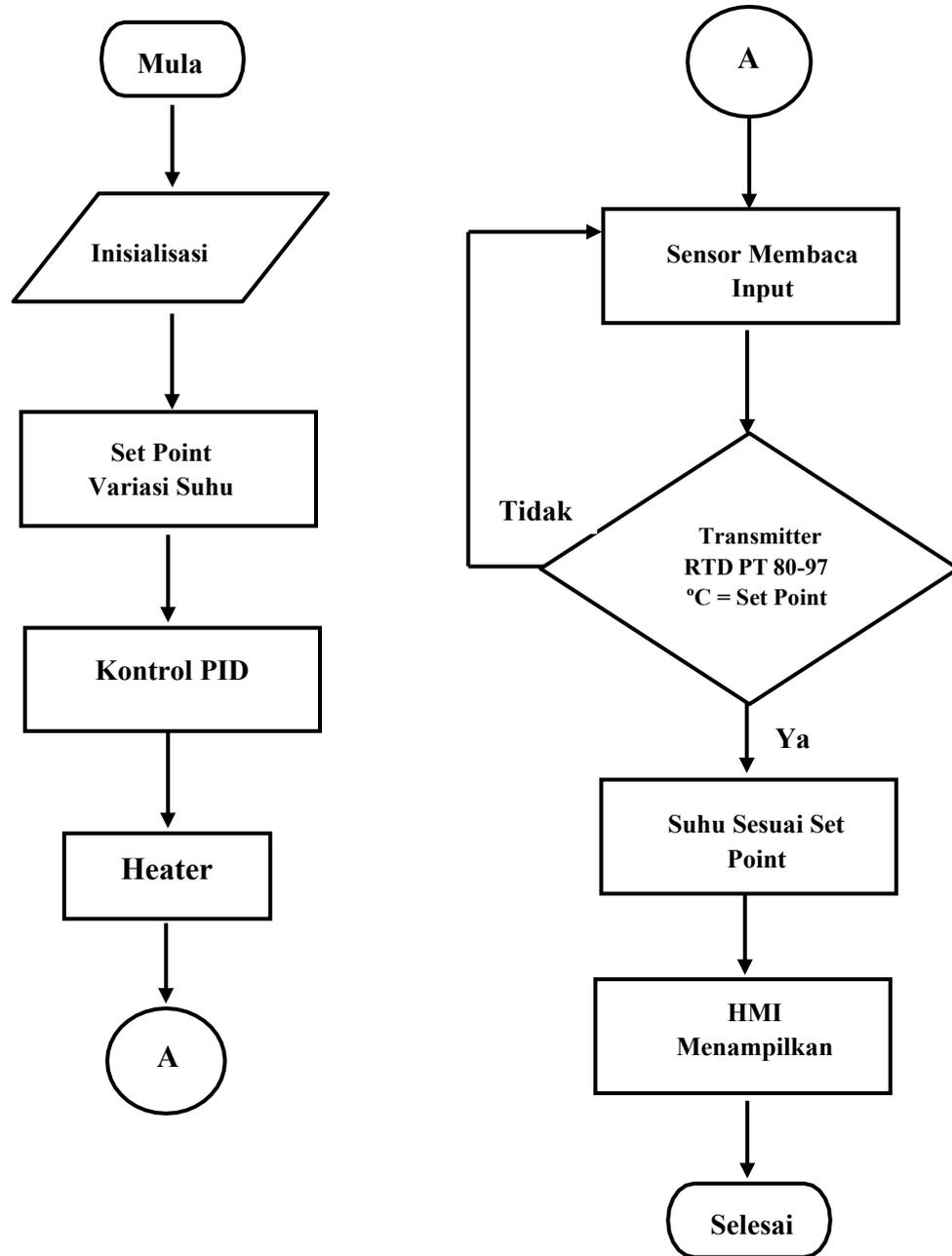
Secara umum, penelitian ini memfokuskan pada sistem PID kontrol, yang menggunakan sensor RTD PT 100 sebagai pengendalian suhu pada proses pembuatan bioetanol sistem *batch* semi kontinyu, sekaligus sebagai sinyal input PID kontrol pada PLC Omron CP1H-XA40DT1-D dan tampilan HMI Omron NB7W-TW00B. Sistem blok diagram penelitian tugas akhir ini bisa digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3.6. Blok diagram rangkaian alat dan skema penelitian

Gambar di atas dapat dijelaskan sebagai berikut, sensor RTD PT100 merupakan sensor suhu yang memberikan masukan pada PLC. Dengan menggunakan *software* CX Programmer dan PID kontrol sebagai sistem untuk mengatur suhu yang digunakan untuk pemrosesan bioethanol. Pada penelitian ini pengambilan data awal menggunakan kontrol suhu yang ada dipasaran, data tersebut digunakan mencari laju aliran dan hasil bioetanol yang dijadikan referensi untuk *input* dan *output* dari sistem yang akan dibuat. Untuk lebih jelasnya selain blok diagram

penelitian juga menampilkan diagram alir desain *Software* reaktor yang digunakan pada penelitian ini.

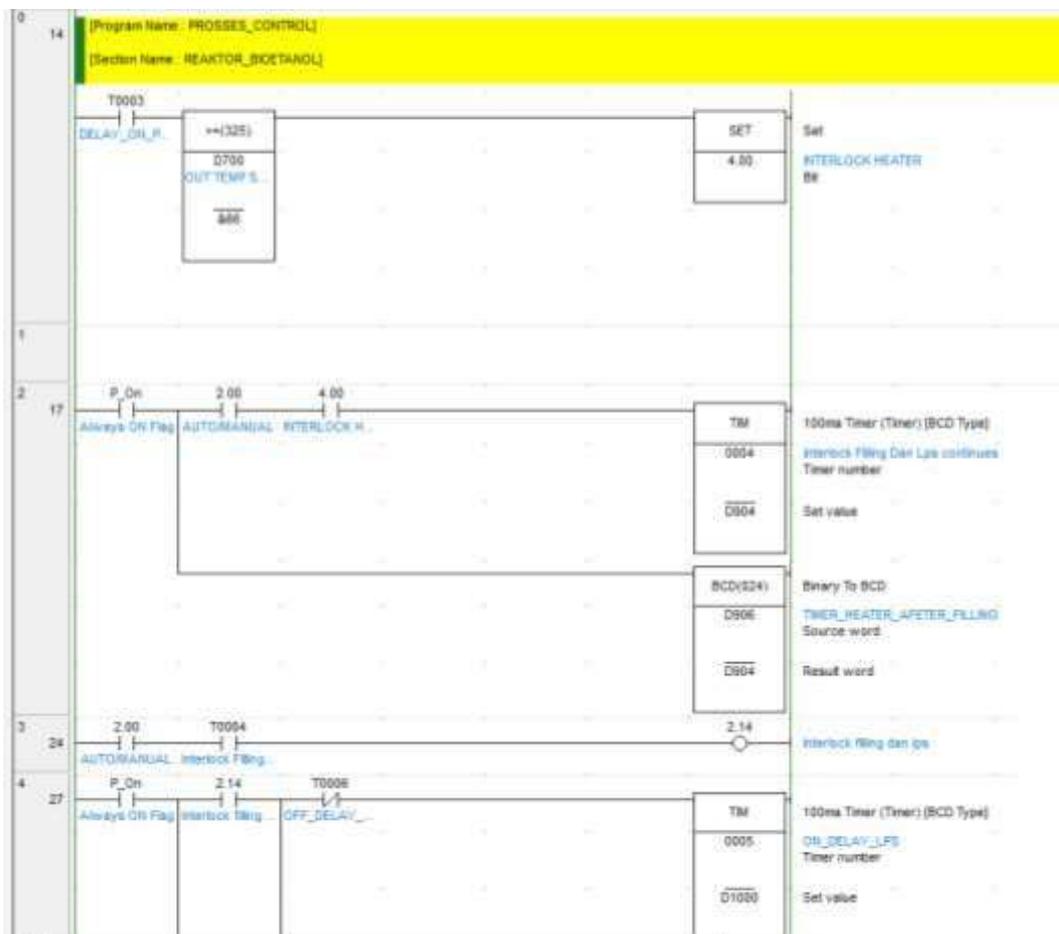


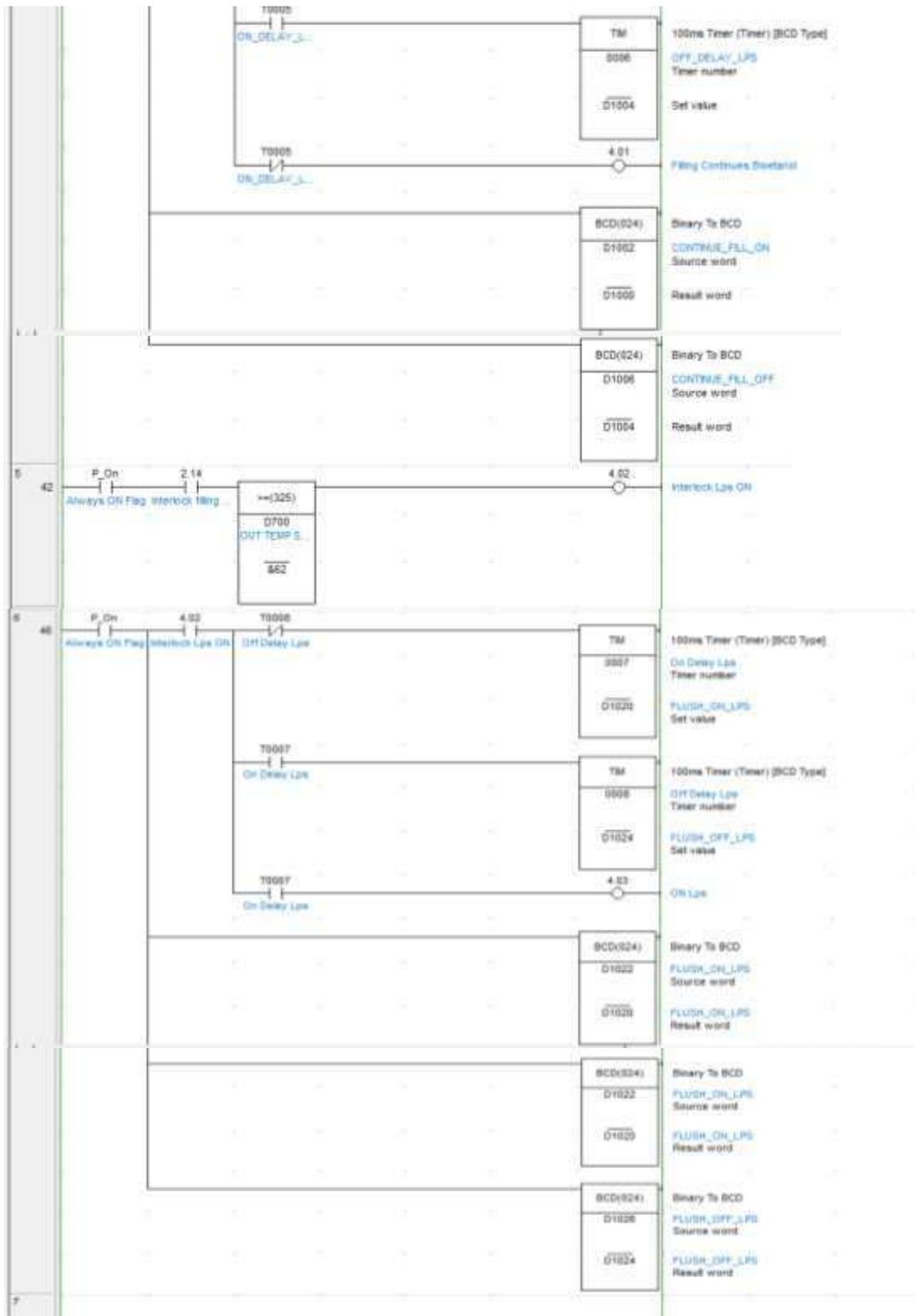
Gambar 3.7. Bagan alir desain *Software* reaktor

3.3.4. Desain Pemrograman Software Pada Penelitian

Pertama kali yang dilakukan dalam mendesain pemrograman adalah inialisasi *input* dan *output* sistem kontrol, kemudian dengan menggunakan *Software CX Programmer* dilakukan penulisan program *ladder* diagram sistem kontrol PID yang disesuaikan dengan *input* dan *output* sistem. Tahapan penulisan *ladder* diagram keseluruhan antara lain:

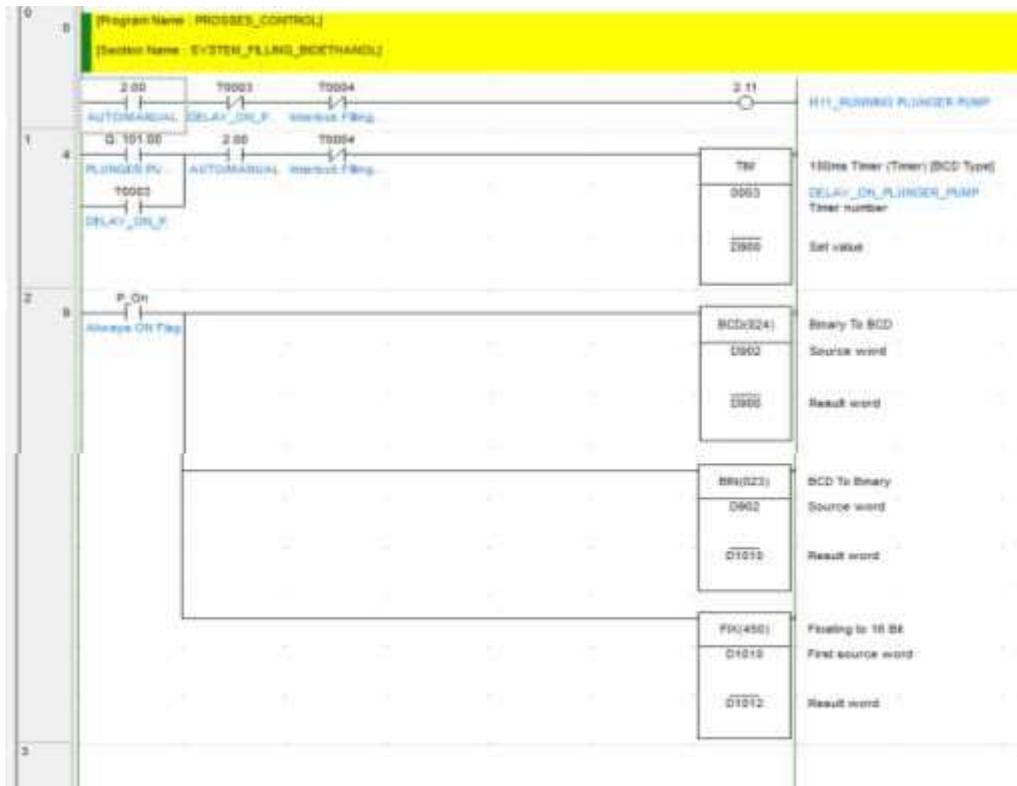
1. *Ladder* diagram proses kontrol pada reaktor bioetanol.





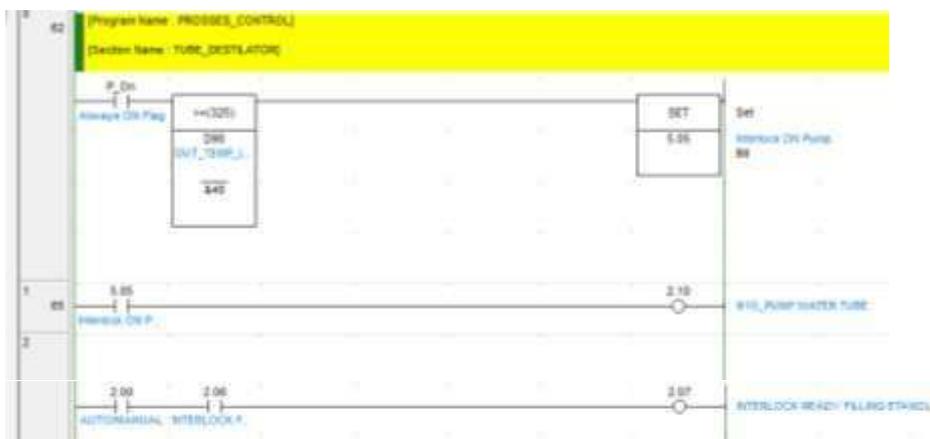
Gambar 3.8. Ladder diagram proses kontrol pada reaktor

2. *Ladder* diagram proses kontrol pengisian ulang (kontinyu) reaktor bioetanol



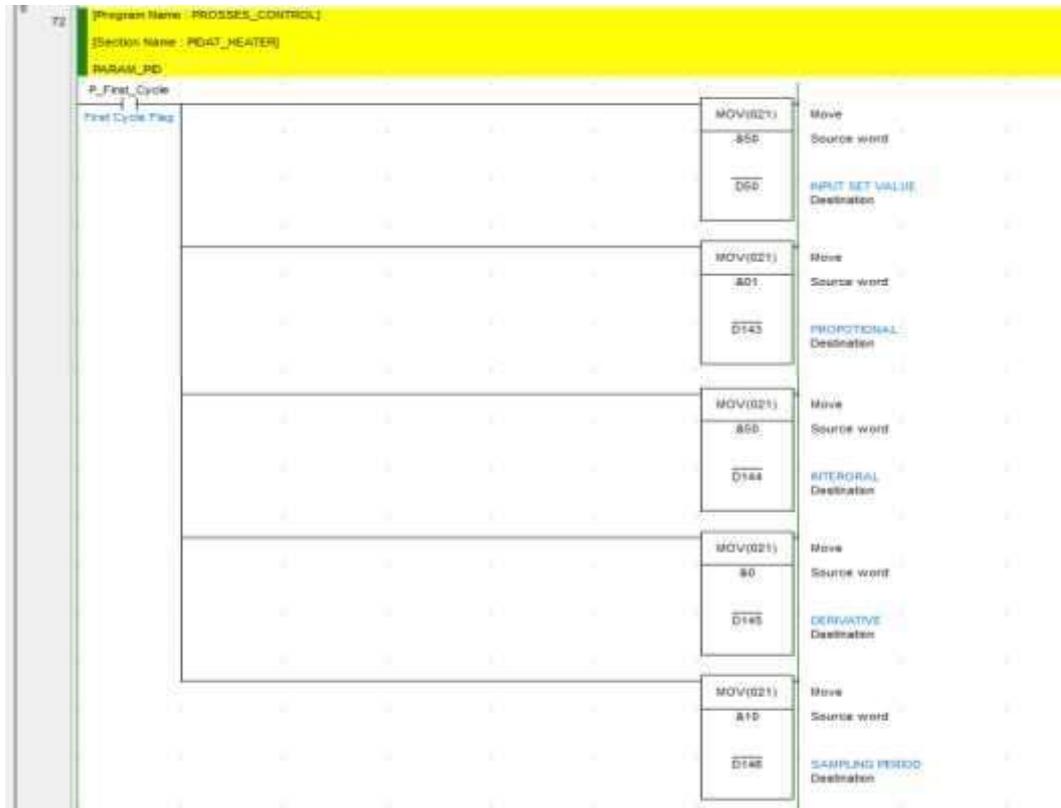
Gambar 3.9. *Ladder* diagram proses kontrol pengisian ulang (kontinyu) reaktor Bioetanol

3. *Ladder* diagram proses kontrol pada pendinginan destilator proses kondensasi reaktor bioetanol dan sistem *interlock* pengisian ulang Ketika *set point* tercapai.



Gambar 3.10. *Ladder* diagram proses kontrol pada pendinginan destilator proses kondensasi reaktor bioetanol.

4. Ladder diagram proses kontrol pada *heater* untuk *on/ off* dan seting suhu pada reaktor bioetanol dan *tunning* PID *heater*.



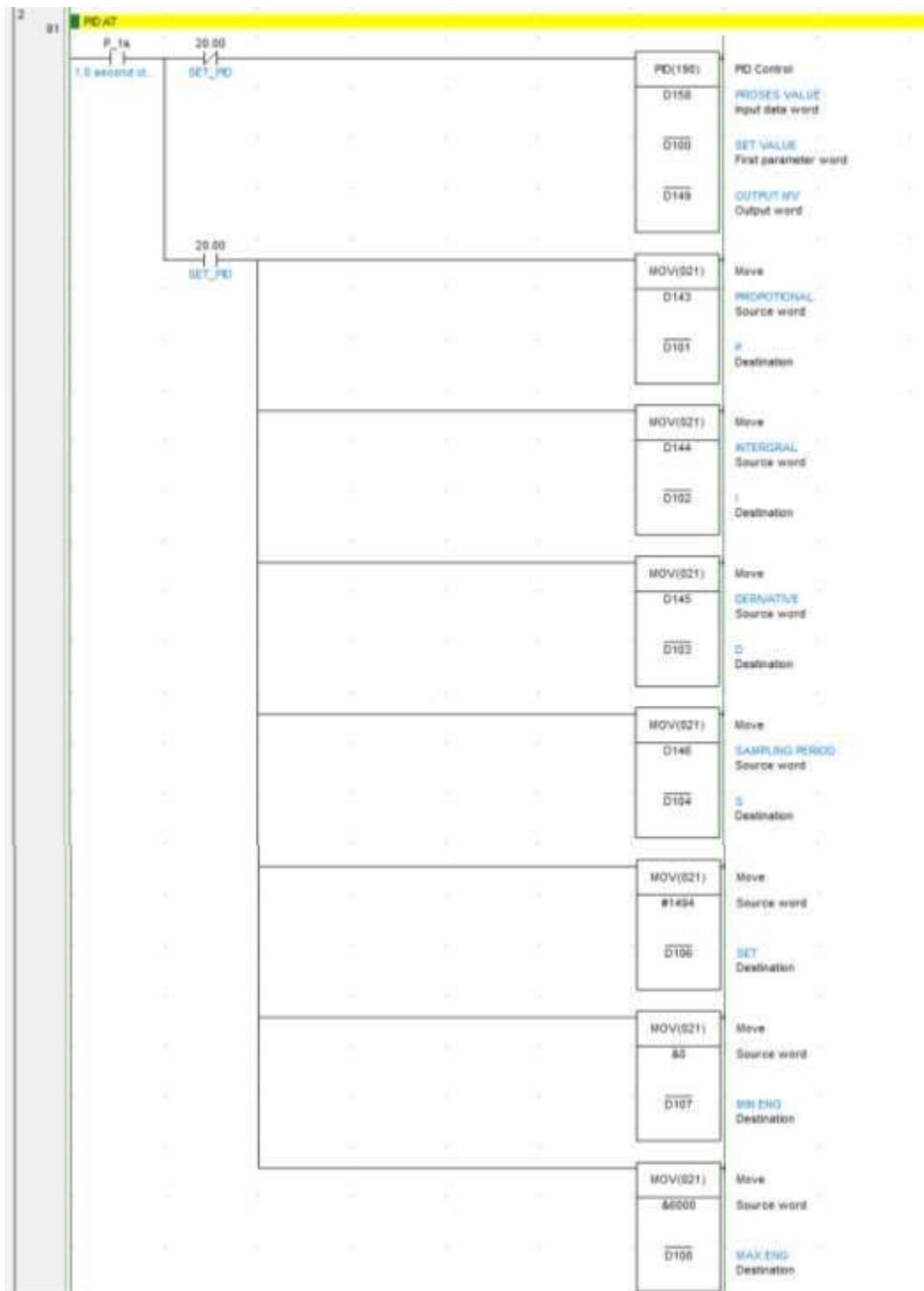
Gambar 3.11. Ladder diagram proses kontrol pada *heater* untuk *on/ off* dan seting suhu pada reaktor bioetanol dan *tunning* PID *heater*.

5. Ladder diagram proses kontrol pada pembacaan sensor suhu RTD PT 100 (1) untuk sistem kontrol pada tabung evaporator reaktor bioetanol



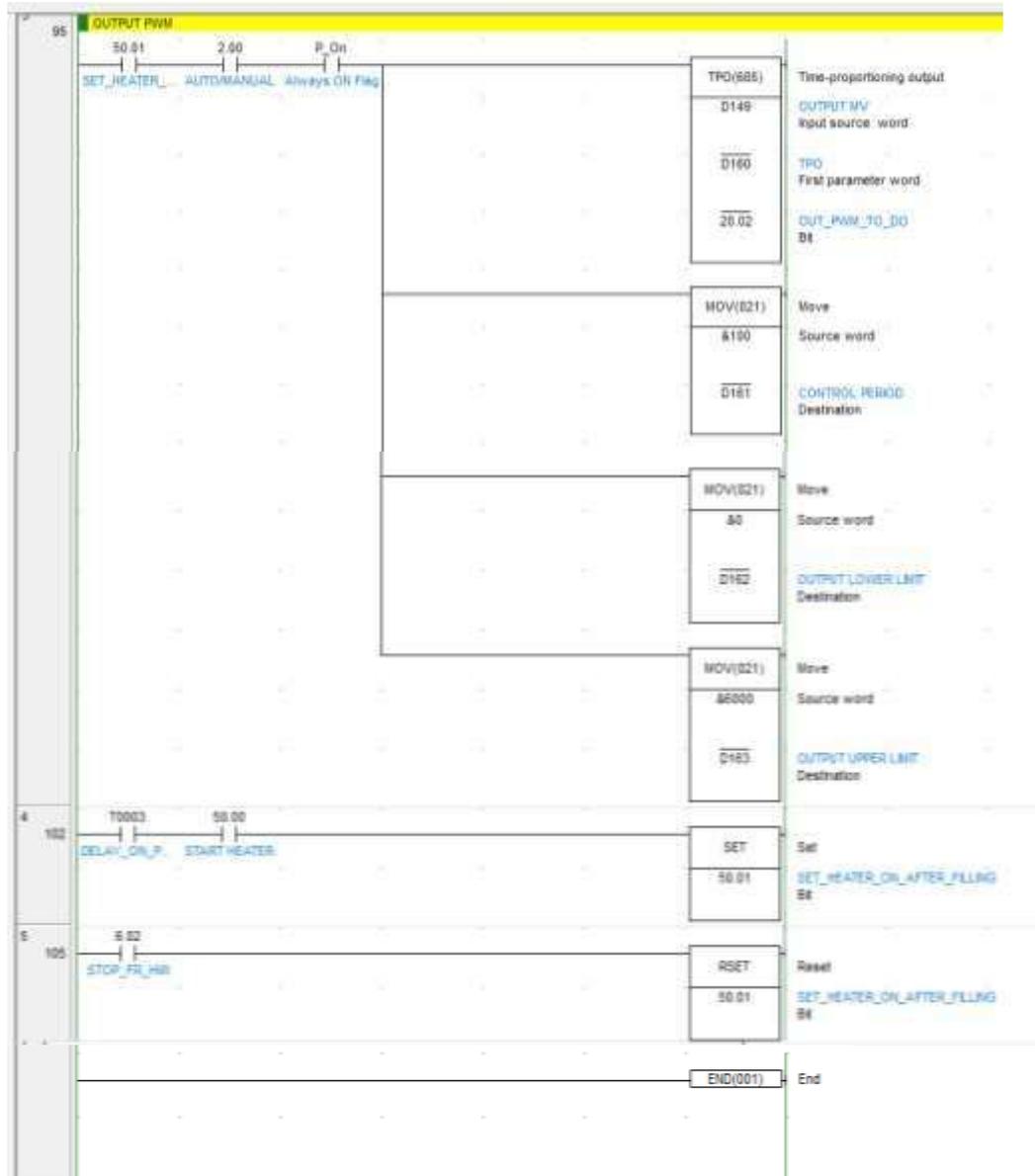
Gambar 3.12. Ladder diagram proses kontrol pada pembacaan sensor RTD PT 100 (1) untuk sistem kontrol suhu pada tabung evaporator reaktor bioetanol.

6. Ladder diagram proses PID kontrol reaktor bioetanol dan *tunning* PID reaktor.



Gambar 3.13. Ladder diagram proses PID kontrol reaktor bioetanol dan *tunning* PID reaktor.

7. Ladder diagram *output pulse wave modulation* (PWM) kontrol pada reaktor.



Gambar 3.14. Ladder diagram *output pulse wave modulation* (PWM) kontrol pada reaktor.

3.4. Analisis Data Penelitian

Analisa pengambilan data penelitian dibagi menjadi 3 (tiga) bagian antara lain:

1. Data pra-penelitian yang dijadikan referensi I/O sistem pada penelitian ini.
2. Mencari data simulasi dengan menggunakan *Software Mathlab Simulink* *PID* dan *tunning* *PID* sebagai data pengujian sistem *PID* pada alat

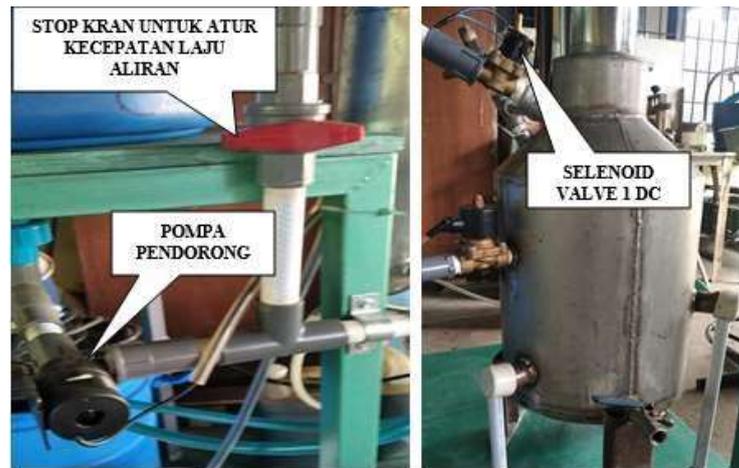
penelitian (*real testing on research tools*), yang ditampilkan pada HMI secara *real time*.

3. Dari ke-3 data diatas hanya data 2 yang digunakan sebagai pembandingan untuk mencari pola dan sistem yang bagus dan handal sesuai dengan tujuan dan manfaat penelitian ini.

3.4.1. Data Pra-penelitian

Data pra-penelitian ini didapat dari percobaan pengujian pada reaktor bioetanol. Pengujian dilakukan dengan menggunakan fungsi waktu (*timer*) pada PLC, dan data pengujian ini meliputi :

1. Pengujian *level* cairan dalam tabung evaporator menggunakan fungsi waktu (pengisian awal tabung reaktor bioetanol) dengan volume 25 liter. Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali dengan menggunakan *stop watch* untuk mencari waktu volume pengisian tabung. Pompa pendorong dihidupkan dan *debit* aliran dihitung berdasarkan waktu terukur dan data yang didapat sebagai berikut:
 Pengambilan data ke 1 dengan volume 25 Liter didapat nilai 2,33 menit.
 Pengambilan data ke 2 dengan volume 25 liter didapat nilai 2,30 menit.
 Pengambilan data ke 3 dengan volume 25 liter didapat nilai 2,31 menit.
 Dari data yang diambil rata-rata pengisian tabung evaporator dengan volume 25 liter didapat nilai 2,31 menit, Pada pengambilan data, pompa yang digunakan adalah pompa pendorong DC 12 Volt yang dihubungkan paralel dengan *solenoid valve* DC 12 Volt yang hidup bersamaan, adapun untuk mengatur debit aliran digunakan *stop* kran yang terhubung pada pipa saluran *inlet* evaporator dan pipa saluran *by pass* yang masuk kembali ke tangki fermentor. Sistem *level* kontrol pengisian pada tabung evaporator reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15. Perangkat kontrol pengujian *level* cairan fermentasi dengan menggunakan fungsi waktu.

2. Pengujian waktu pengisian ulang (sistem kontinyu).

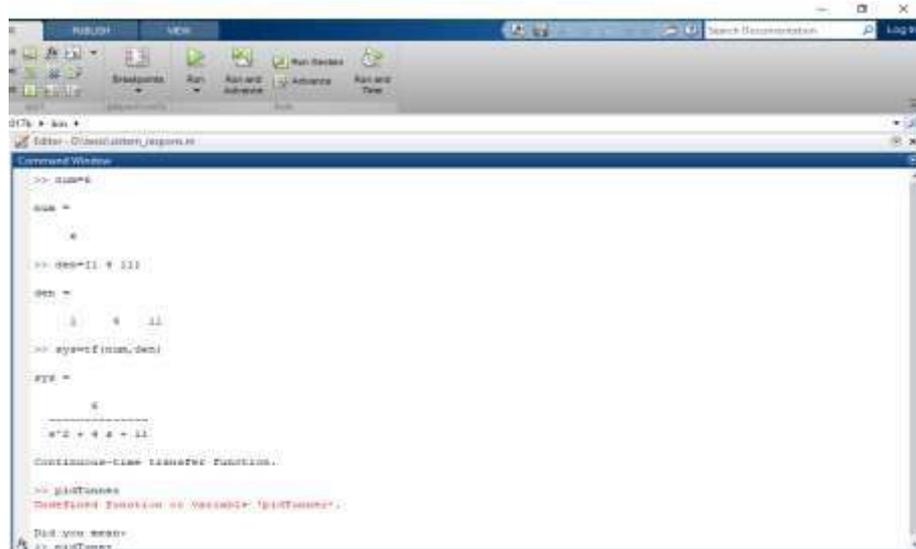
Pada pengisian ulang sistem kontinyu didapat dari percobaan reaktor dengan menggunakan fungsi waktu, untuk menentukan kapan pengisian ulang dilakukan pada tabung evaporator. Pengisian dilakukan secara otomatis dengan durasi 1,5 jam (54000 *second*) setelah elemen pemanas dihidupkan. Pengujian ini didasarkan pada data keluarannya bioetanol di menit ke 43 sampai menit ke 68. Pengujian hasil bioetanol rata-rata setiap 500 mili liter dengan waktu tempuh laju aliran 12-14 menit per 500 mili liter (0,5 liter), dan volume pengisian sebesar 1,7 liter dengan durasi waktunya 20 detik untuk pengisian ulang (sistem *batch* semi kontinyu).

3. Sistem pendinginan destilator pada proses kondensasi berjalan ketika sensor suhu mencapai *set point* 35°C, dan pompa *water cooling* akan hidup sampai proses produksi berakhir (*open loop*).

3.4.2. Data simulasi dengan menggunakan *Software Matlab Simulink PID Tunner*.

Untuk mempermudah pengamatan sistem kontrol PID digunakan metode *trial and error*. Dengan menggunakan *Software Matlab Simulink PID Tunner* metode *trial and error* dilakukan, untuk mencari persamaan fungsi alih sistem.

Persamaan fungsi alih yang digunakan dimasukkan dalam sistem PID *Tuner* melalui *editor command window* pada *Mathlab* simulasi, dalam bentuk metrik seperti yang terlihat pada Gambar 3.16.



```

>> sys =
      *

>> den=11 * 111
den =
     0     0    11

>> sys=tf(num,den)
sys =
      1
  -----
  s^2 + 0 s + 11

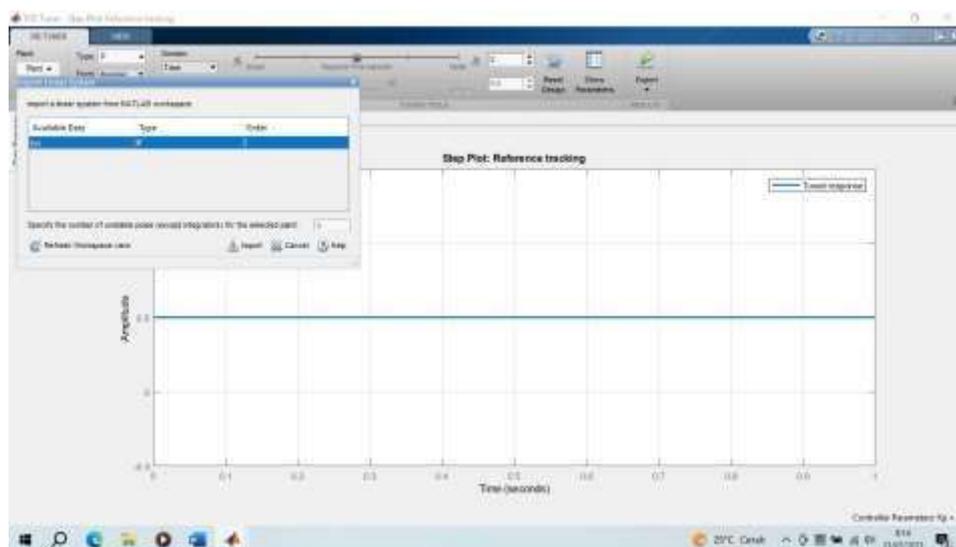
CONTINUOUS-TIME LTI SYSTEM.

>> pidTuner
Discontinued Function in 'toolbox/pidTuner'.

Did you mean?
>> pidTuner
  
```

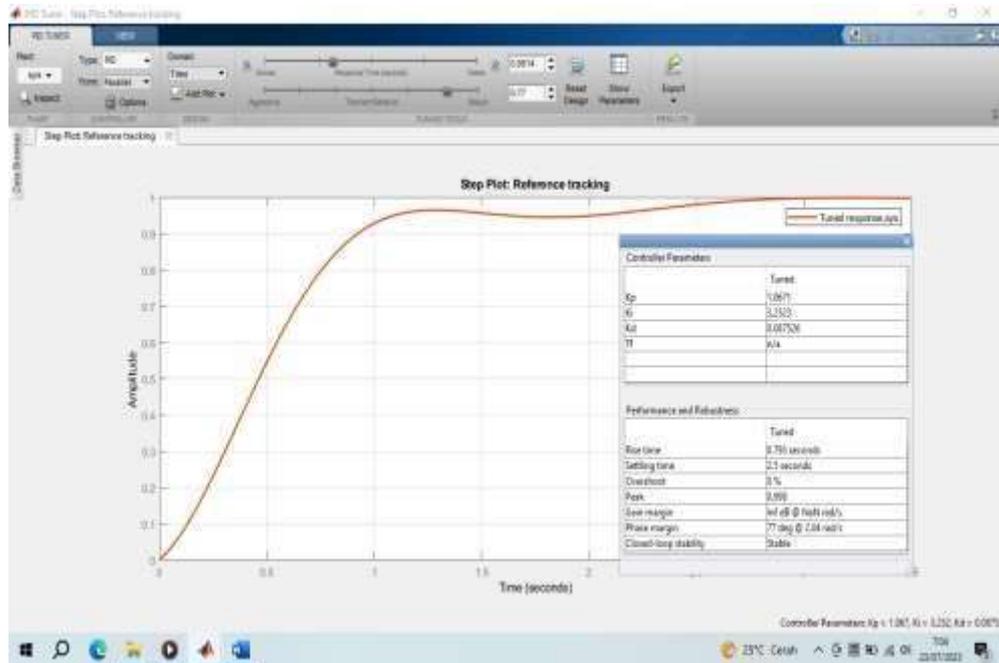
Gambar 3.16. Komunikasi *Editor Command Window* pada *Mathlab* simulasi

Tampilan data di atas disimpan dalam variabel *Sys*, kemudian buka data sistem PID *Tuner* pada *dashboard*, dan data tersebut diimport, dengan memilih menu *Plant* dan pilih menu *import*, maka tampilan akan berubah seperti pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17. Tampilan PID *Tuner* import data *sys* pada *Mathlab* simulasi.

Setelah data *sys* diimport langkah selanjutnya adalah memilih menu simulasi PID maka tampilan akan berubah seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18. Tampilan PID *Tuner* dan *Parameter tuning* pada *Mathlab* simulasi.

3.4.3. Tampilan HMI

Pada penelitian ini terdapat *Human Machine Interface* (HMI) yang berfungsi untuk menghubungkan manusia dengan mesin di plant yang menampilkan, mengawasi, dan mengontrol proses yang sedang berlangsung, baik pengaturan waktu (*timer*), dan pengaturan kontrol PID . Pada penelitian ini menggunakan HMI Omron NB7W-TW00B, dan *software* NB Designer versi 1.23 yang merupakan *software* HMI milik Omron. Pada penelitian data yang ditampilkan adalah *lay out* diagram proses pembuatan bioetanol, seting waktu pengisian tabung evaporator, (*timing filling pump*), *setting* PID, *set point setting* suhu, menyalakan dan mematikan *heater* pada proses evaporasi (pengontrolan suhu), serta buka dan tutup *solenoid valve* sistem kontinyu, dengan menggunakan fungsi pewaktu (*timer*). Untuk lebih jelasnya bisa dilihat tampilan HMI dari mulai halaman depan, *lay out* diagram,

seting pengisian tabung evaporator, *set point* suhu, dan *setting* PID pada Gambar di bawah ini.



Gambar 3. 19. Tampilan HMI dilihat searah jarum jam, tampilan halaman depan penelitian, *lay out* diagram proses, tampilan seting waktu, seting PID kontrol, dan *set point* suhu reaktor.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan pengujian, pengamatan dan pengambilan hasil data penelitian keseluruhan maka, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil merancang sebuah reaktor bioetanol sistem *batch* semi kontinyu dengan kontrol PID, untuk menjaga suhu evaporator pada set point 97°C menggunakan PLC Omron CP1H-XA40DT1-D dan PID *Tunner* simulasi *Mathlab* dengan tampilan HMI (*Human Machine Interface*).
2. Dari pengambilan data penelitian keseluruhan membuktikan bahwa dengan kontrol PID dapat meningkatkan kadar bioetanol dan mempersingkat waktu produksi awal proses pembuatan bioethanol, yaitu pada variable $K_p=1$, $K_i=1$, dan $K_d=1$, diperoleh waktu produksi awal pada menit ke-57 dengan kadar bioetanol 83% sampai dengan 84%.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian alat, kandungan kadar bioetanol dapat lebih ditingkatkan lagi dengan variabel K_p , K_i dan K_d , serta set point suhu yang lebih bervariasi pada kontrol PID, serta penggunaan fungsi waktu (*timer*) pada PLC, karena fungsi *timer* lebih akurat untuk aplikasi sistem *hardware* pada penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jeon, B.Y. (2007). *Development of a serial bioreactor system for direct ethanol production from starch using Aspergillus niger and Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 12: 566- 573.
- [2] Mc. Ketta, John, 1983, “*Encyclopedia Chemical Process and Design*”, Marchell Dekker Inc., New York.
- [3] Evi Lestari Putri dan Winny Hardani, 2010 “ *Study Perpindahan Panas dan Massa Pada Evaporasi Nira di dalam Falling Film dengan Adanya Aliran udara* “. ITS 2010.
- [4] Bohnet, Matthias et al, 2003, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 6th Completely Revised Edition Vol. 12, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. K Ga A, Weinheim.
- [5] Rr. Kartika Kusuma Winahyu , Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono, “*Desain HMI (Human Machine Interface) Omron Nb7w-Tw00b Pada Plant Filtrasi Menggunakan Modul Ultrafiltrasi*”, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro . *Jurnal TRANSIENT*, VOL.4, NO. 3, SEPTEMBER 2015, ISSN: 2302-9927, 865 Semarang Jalan Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia.
- [6] Paulus Tofan Rapiyanta, dkk, “*Pengaturan Suhu Destilator Pada Proses Destilasi Bio-Etanol Berbasis Kendali Proporsional Menggunakan PLC Omron CPM2A* “, AMIK Yogyakarta 2012
- [7] Akhmad Salmi Firsyari, (2013) “*Sistem Pengendalian Suhu Pada Proses Distilasi Vakum Bioetanol Dengan Menggunakan Arduino* “. , Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2013.
- [8] Akhbar Prachaessardhi Rusdi (2014), “*Sistem Pengendalian Suhu Pada Proses Distilasi Vakum Bioetanol Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy* “. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2014.
- [9] Muhammad Aziz Muslim and Goegoes Dwi Nusantoro dalam, “ *Fuzzy Logic based Temperature Control of a Vacuum Distiller*”, *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 10, Number 17 (2015)\ pp 38504-38508 © Research India Publications.
- [10] Yani Sudiyani, Syahrul Aiman dan Dieni Mansur (Ed), *Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif*, Jakarta : LIPI Press 2008.

- [11] Rizal Arifin dan Paradita Kiki Kursitasary “*Optimisasi Energi Proses Pemurnian Pabrik Bioetanol Dari Molases Dengan Simulasi Beberapa Konfigurasi Proses*.” DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2018.
- [12] Musanif. 2012. “*Bioetanol*.” Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- [13] Prihandana, Rama. 2007. *Bioenergi Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- [14] Joseph Callverley, William B. Zimmerman, David J. Leak, H.C. Hemaka Bandulasena, “ *Continuous Removal of Ethanol From Dilute Ethanol-Water Mixtures Using Hot Microbubbles*. “ , Chemical Engineering Journal (United Kingdom, May 2021) www.elsevier.com/locate/cej.
- [15] Evi Lestari Putri dan Winny Hardani, 2010 “ *Study Perpindahan Panas dan Massa Pada Evaporasi Nira di dalam Falling Film dengan Adanya Aliran udara* “. ITS 2010.
- [16] Departemen Teknik Kimia ITB, *Modul 2.05 Distilasi*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [17] Bambang Purnomo, *Asosiasi Pengusaha Bioetanol Indonesia (APBI) presentasi Distilasi Bioetanol Sederhana*.
- [18] Manual Book PLC Omron Program and Application.
- [19] Manual Book PLC Omron All CP1H Program and Application.
- [20] Manual Book Hardware HMI Omron NBTW-TW00B.
- [21] Katsuhiko Ogata “ *Modern Control Engineering* “ University Minsesota 1997.
- [22] [plc.mipa.ugm.ac.id/outhor/b-alidino-as/Omron learning.jagootomati.com](http://plc.mipa.ugm.ac.id/outhor/b-alidino-as/Omron%20learning.jagootomati.com) akses 10/05/2023 pukul 09.50 WIB.
- [23] <https://www.mathworks.com> automated tuning of Simulink PID controller block.html. akses 10/05/2023 pukul 09.34 WIB
- [24] Modul praktikum sensor dan transduser Politeknik Negeri Manado diakses tanggal 23/03/2022 pukul 18.39 WIB.
- [25] @ installasi listrik TV.com “*Temperature transmitter*” Diakses tanggal 1 Mei 2023 pukul 08.45 WIB.

- [26] <https://panduanteknisi.com/solid-state-relay-ssr.html> Akses 12/05/2023 pukul 09.00 WIB.
- [27] <https://www.immersa-lab.com/pengertian-relay-fungsi-dan-cara-kerja-relay.htm>
- [28] <https://blog.unnes.ac.id/antosupri/pengertian-dan-prinsip-kerja-solenoid-valve/> akses 12/05/2023 pukul 08.33 WIB.
- [29] <https://www.kelistrikanku.com/2021/06/jenis-pompa-air.html>. Akses 12/05/2023 pukul 08,28.WIB.
- [30] [Balai Besar Pelatihan Vokasi dan Produktivitas \(BBPVP\) Serang > Ruang Belajar > Belajar Listrik: Apa Itu ELCB \(Earth-Leakage Circuit Breaker\)](#) diakses tanggal 1 Mei 2023. 08.24 WIB.
- [31] Braman Setya , Muhammad Rifa'I, Edi Sulistio Budi," *Modul Sistem Pengaturan Suhu Mini Boiler Dengan Metode PID Menggunakan PLC dan HMI,*" JURNAL ELKOLIND, SEPTEMBER 2021 , VOL.06, N0. 3.
- [32] B. Hekimoglu," *Optimal Tuning Of Fractional Order PID Controller For DC Motor Speed Control Via Chaotic Atom Search Optimazation Algorithm,* " (IEEE Journal 2019), page 38100-38114.