



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**MODIFIKASI SISTEM OTOMASI SHELL AND COIL HEAT
EXCHANGER MENGGUNAKAN HUMAN MACHINE
INTERFACE AUTONICS LP-A070-T9D6-C5T**

TUGAS AKHIR

MUHAMMAD LUTFI ABSOR

40040219650103

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
SEPTEMBER 2023**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**MODIFIKASI SISTEM OTOMASI SHELL AND COIL HEAT
EXCHANGER MENGGUNAKAN HUMAN MACHINE
INTERFACE AUTONICS LP-A070-T9D6-C5T**

TUGAS AKHIR

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

MUHAMMAD LUTFI ABSOR

40040219650103

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**


**SEMARANG
SEPTEMBER 2023**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

NAMA : Muhammad Lutfi Absor

NIM : 40040219650103

Tanda Tangan : 

Tanggal : 29 September 2023



TUGAS PROYEK AKHIR

No. : 215/PA/RPM/V/2023

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut :

Nama : Muhammad Lutfi Absor

NIM : 40040219650103

Judul Proyek Akhir : **Modifikasi Sistem Otomatis Shell and Coil Heat Exchanger menggunakan Human Machine Interface Autonics LP-A070-T9D6-C5T**

Dosen Pembimbing : Didik Ariwibowo, ST, MT

NIP. : 197007152003121001

Isi Tugas :

1. Memodifikasi aliran pipa *heat exchanger* tipe *Shell and Coil* dengan memanfaatkan *cooling tower* sebagai pendingin air keluaran *heat exchanger* untuk *feed water*.
2. Memodifikasi sistem otomasi menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) Autonics LP-A070-T9D6-C5T.
3. Menguji dan menganalisis performa *heat exchanger* setelah terintegrasi dengan *cooling tower*.
4. Membuat laporan mesin *heat exchanger*.
5. Membuat *testbed heat exchanger* dan/atau paten sederhana dan/atau HAKI hak cipta dan/atau jurnal publikasi.

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 13 April 2023

Ketua PSD IV

Rekayasa Perancangan Mekanik

Sri Utami Handayani, S.T., M.T.

NIP. 197609152003122001

15/05/2023

Tembusan :

1. Sekretaris Prodi
2. Dosen Pembimbing Proyek Akhir


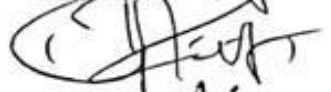

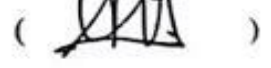
HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

NAMA : Muhammad Lutfi Absor
NIM : 40040219650103
Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Sistem Otomasi Shell And Coil Heat Exchanger Menggunakan Human Machine Interface Autonics LP-A070-T9D6-C5T

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim penguji dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada program Studi ST-r. Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.


TIM PENGUJI

Pembimbing I	: Didik Ariwibowo, S.T., M.T.	()
Penguji I	: Didik Ariwibowo, S.T., M.T.	()
Penguji II	: Sri Utami Handayani, S.T., M.T.	()
Penguji III	: Alaya Fadllu Hadi Mukhammad, S.T., M.Eng.	()

Semarang, 29 September 2023

Mengetahui,

Ketua Program Studi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik


Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP.197609152003122001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Lutfi Absor
NIM : 40040219650103
Jurusan/Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Modifikasi Sistem Otomasi Shell And Coil Heat Exchanger Menggunakan
Human Machine Interface Autonics LP-A070-T9D6-C5T**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Non eksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta

Dibuat di : Semarang

Pada tanggal : 29 September 2023

Yang menyatakan,



Muhammad Lutfi Absor

MOTTO

“Jika selalu menebar cinta dan kasih maka sekitar kita merasakan kebahagiaan”

“Selagi masih muda harus tetap sehat kuat dan taat”

(Muhammad Lutfi Absor)

“Menyesali nasib tidak akan mengubah keadaan. Terus berkarya dan bekerjalah yang membuat kita berharga”

(Abdurrahman Wahid)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan berkat, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan proyek akhir dengan judul “Modifikasi Sistem Otomasi Shell And Coil Heat Exchanger Menggunakan Human Machine Interface Autonics LP-A070-T9D6-C5T”.


Proyek Akhir ini merupakan salah satu syarat kelulusan pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Dalam menyelesaikan laporan proyek akhir ini, penulis mendapatkan banyak sekali doa, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Atas berbagai bantuan dan dukungan tersebut, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si. selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
2. Sri Utami Handayani, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
3. Didik Ariwibowo S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Proyek Akhir.
4. Bambang Setyoko, ST, M.Eng. selaku Dosen Wali selama menjadi mahasiswa Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik.
5. Seluruh Dosen dan Staf Pengajar Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
6. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendukung anaknya sehingga dapat menyelesaikan studi dengan baik.

7. Naufal Irsyad Syarif dan Mochamad Aries Ekaputro Sumarna rekan seperjuangan saya dalam menjalankan proyek akhir ini.
8. Semua teman-teman Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik angkatan 2019 dan semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunan laporan tugas akhir

Penulis menyadari masih banyak yang dapat dikembangkan pada laporan proyek akhir ini. Oleh karena itu penulis menerima setiap masukan dan kritik yang diberikan. Semoga laporan proyek akhir ini dapat memberikan manfaat baik bagi penulis dan semua pihak khususnya bagi mahasiswa Rekayasa Perancangan Mekanik.

Semarang, 29 September 2023



Muhammad Lutfi Absor

ABSTRAK

MODIFIKASI SISTEM OTOMASI SHELL AND COIL HEAT EXCHANGER MENGGUNAKAN HUMAN MACHINE INTERFACE AUTONICS LP-A070-T9D6-C5T

Alat Penukar kalor (*Heat Exchanger*) merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menghantarkan kalor antara dua proses aliran fluida dimana salah satu penerapannya dapat digunakan untuk proses pendinginan, pemanasan, kondensasi maupun evaporasi. *heat exchanger* akan dimodifikasi dengan cara diintegrasikan dengan *cooling tower* untuk menurunkan temperatur air keluaran *heat exchanger* menjadi suhu ambient (30°C). Pada unit *heat exchanger* ini sistem kontrol akan dimodifikasi dengan menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai sistem kendali dan kontrol otomatis. Tujuan penelitian ini adalah untuk evaluasi performa kerja dan efisiensi dari *heat exchanger* setelah terintegrasi dengan *cooling tower* dengan metode *NTU-effectiveness*. *Heat exchanger* diuji dengan menggunakan laju air panas 6 Lpm dan laju air dingin 5, Lpm, serta pengaturan 4 variasi *set point* temperatur 35°C, 40°C, 45°C, dan 50°C. Dari hasil pengujian dan analisa data dapat disimpulkan bahwa harga koefisien perpindahan panas keseluruhan berada pada rentang 1363,414 W/m²°C hingga 2166,333W/m²°C. dan nilai Kapasitas *heat exchanger* berada pada rentang 355,198W sampai 1279,080 W.

Kata kunci: *shell and coil heat exchanger, human machine interface (hmi), programmable logic controller (plc), cooling tower*

ABSTRACT

MODIFIKASI SISTEM OTOMASI SHELL AND COIL HEAT EXCHANGER MENGGUNAKAN HUMAN MACHINE INTERFACE AUTONICS LP-A070-T9D6-C5T

Heat exchanger is a equipment used to transmit heat between two fluid flow processes, one of which can be used for cooling, heating, condensation, or evaporation processes. Heat exchanger will be modified by being integrated with cooling tower to reduce the temperature of the heat exchanger water output to be ambient temperature (30°C). In this heat exchanger unit, the control system will be modified by using HMI (Human Machine Interface) as a control and automatic control system. The aim of this research is to evaluate the work performance and efficiency of the heat exchanger after being integrated with the cooling tower using the NTU-effectiveness method. Heat exchanger was tested by using a hot water rate of 6 Lpm and cold water rate of 5 Lpm. With setting 3 temperature set point variations is 35°C, 40°C, 45°C, and 50°C. From the test results and data analysis it can be concluded that the overall heat transfer coefficient value is in the range of 1363,414W/m²°C until 2166,333W /m²°C. and the heat exchanger capacity value is in the range 355,198W until 1279,080 W.

Keyword: *shell and coil heat exchanger, human machine interface (hmi), programmable logic controller (plc), cooling tower*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Proyek Akhir	3

1.5	Luaran Proyek Akhir.....	4
BAB II.....		5
2.1	Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)	5
2.2	Sistem Terintegrasi	6
2.3	Sistem Otomasi	6
2.4	Programmable Logic Controllers (PLC).....	7
3.1	Metode Penyelesaian Proyek Akhir	18
3.2	Survei Unit Heat Exchanger	20
3.3	Studi Literatur	20
3.4	Desain Modifikasi Heat Exchanger	21
3.5	Alat dan Bahan Perencanaan.....	25
3.6	Prosedur Pembuatan Alat.....	31
3.6.1	Instalasi pipa	31
3.6.2	Penggantian perangkat pengukuran	31
3.6.3	Instalasi HMI (Human Machine Interface).....	32
3.7	Pengujian	32
3.7.1	Tahapan Pengujian.....	32
BAB IV		36
4.1	Hasil Modifikasi	36
4.2	Data Penelitian	36

4.3	Pengolahan Data	37
4.3.1	Perhitungan performa shell and coil heat exchanger	37
4.3.2	Analisa hasil perhitungan performa shell and coil heat exchanger.....	40
4.3.3	Kesetimbangan Energi	41
4.3.4	Kinerja Sistem Otomasi Shell and Coil Heat Exchanger	42
BAB V		44
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....		46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Programmable logic controller (PLC).....	8
Gambar 2. 2 Susunan dasar PLC	8
Gambar 2. 3 Blok Diagram DC Power Supply	9
Gambar 2. 4 Modul Power Suplly Autonics SPB-060-24	10
Gambar 2. 5 Konstruksi Thermocouple.....	13
Gambar 2. 6 HMI Autonics LP-A070-T9D6-C5T.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 7 Modular Multi-Channel PID Temperature Controllers.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 1 Diagram alir metode dan prosedur pelaksanaan proyek akhir	19
Gambar 3. 2 Diagram alir proses sebelum dimodifikasi.....	21
Gambar 3. 3 Rencana Diagram alir proses setelah dimodifikasi	22
Gambar 3. 4 Skema sistem kendali otomasi	23
Gambar 3. 5 Desain rencana modifikasi heat exchanger	24
Gambar 3. 6 HMI Autonics LP-A070-T9D6-C5T.....	26
Gambar 3. 7 Modular Multi-Channel PID Temperature Controllers.....	27
Gambar 3. 8 Power Supply	28
Gambar 3. 9 Thermocouple Type K	28
Gambar 3. 10 Relay	29
Gambar 3. 11 MCB (Miniature Circuit Breaker).....	30
Gambar 3. 12 Box Panel	31

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 keterangan gambar 3.5	24
Tabel 3. 2 Spesifikasi HMI Autonics LP-A070-T9D6-C5T	25
Tabel 3. 3 Spesifikasi MCB Schneider	29

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
A	Luas perpindahan panas	m ²
Cr	Rasio kapaitas panas	(W/°C)
Cp_c	Panas spesifik air <i>shell</i>	(kj/kg.K)
Cp_h	Panas spesifik air <i>coil</i>	(kj/kg.K)
C hot	Kapasitas panas <i>coil</i>	(W/°C)
C cold	Kapasitas panas <i>shell</i>	(W/°C)
C min	Kapasitas panas minimal	(W/°C)
C max	Kapasitas panas maksimal	(W/°C)
m_s	Laju alir massa sisi <i>shell</i>	kg/s
m_c	Laju alir massa sisi <i>coil</i>	kg/s
NTU	<i>Number of Thermal Unit</i>	
T_{in}	Temperatur masuk <i>coil</i>	°C
T_{out}	Temperatur keluar <i>coil</i>	°C
t_{in}	Temperatur masuk <i>shell</i>	°C
t_{out}	Temperatur keluar <i>shell</i>	°C
U	Kapasitas perpindahan panas keseluruhan	W/m ² °C
q	Kapasitas <i>heat exchanger</i>	W
q_c	Kapasitas <i>heat exchanger</i> pada posisi dingin	W
q_h	Kapasitas <i>heat exchanger</i> pada posisi panas	W
ϵ	<i>Effectiveness</i>	
Ψ_s	Laju alir volume sisi <i>shell</i>	Lpm
Ψ_c	Laju alir volume sisi <i>coil</i>	Lpm
ΔT	Perbedaan suhu sisi <i>coil</i>	°C
Δt	Perbedaan suhu sisi <i>shell</i>	°C
ΔT_{max}	Perbedaan suhu maksimal	°C
T_{bt}	Temperatur <i>buffer tank</i>	°C

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil pengujian shell and tube heat exchanger	47
Lampiran 2 Hasil Kalkulasi	47
Lampiran 3 Tabel thermophysical properties of saturated water	48
Lampiran 4 Data geometri heat exchanger	49
<i>Lampiran 5 Heat exchanger sebelum dimodifikasi</i>	49
Lampiran 6 Pemasangan Instalasi pipa	50
Lampiran 7 Modifikasi Reservoir	50
Lampiran 8 Pemasang Komponen dan Instalasi Kelistrikan	51
Lampiran 9 Wiring sistem otomasi	52
Lampiran 10 Saran Diagram Alir Proses Modifikasi Selanjutnya	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam dunia industri saat ini mengalami kemajuan pesat. Hal ini menyebabkan banyaknya teknologi dan temuan baru yang dapat mempermudah dalam aktivitas pekerjaan. Khususnya dalam bidang kontrol dan penerapan otomasi industri, sistem kontrol tidak hanya berupa rangkaian kontrol secara fisik tetapi menggunakan peralatan kontrol dengan pemrograman yang dapat diperbaharui dan modifikasi. Salah satu bentuk sistem otomasi tersebut adalah penggunaan PLC (*Programmable Logic Controller*) yang dapat dipadukan penerapannya dengan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai sistem kendali terpusat yang berfungsi untuk mengontrol suatu proses kerja pada suatu sistem proses secara *real time* yang pengawasan dan pengendalian dapat dilakukan pada jarak jauh dengan tampilan simulasi yang menarik (Syahputra et al. 2022).

Programmable Logic Controller (PLC) adalah peralatan kendali industri yang mempunyai kemampuan menyimpan instruksi-instruksi untuk melaksanakan fungsi kendali atau melaksanakan suatu perintah kerja secara sekuensial, perhitungan aritmatika, proses numerik, sarana komunikasi dari suatu proses menggunakan bahasa pemrograman dengan menggunakan prinsip logika (Sangaji, 2014).

Human Machine Interface (HMI) adalah sebuah alat yang dapat menampilkan proses sistem yang dijalankan oleh PLC. Fungsi dari HMI adalah meningkatkan interaksi antara mesin dengan operator melalui tampilan layar komputer sehingga memenuhi kebutuhan pengguna terhadap informasi sistem yang diberikan dan membantu dalam perekaman data dengan menggunakan data

logger (Mubarroq, 2019).

Di dalam dunia industri heat exchanger berperan sangat penting, misalnya dalam industri pembangkit tenaga listrik, heat exchanger berperan dalam peningkatan efisiensi sistem pembangkit. contohnya melalui heater yaitu alat penukar kalor yang berfungsi memanaskan feed water sebelum masuk ke boiler menggunakan panas dari exhaust steam (uap sisa turbin). selain itu heat exchanger juga merupakan komponen utama dalam sistem mesin pendingin, yaitu berupa evaporator

Di laboratorium Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik terdapat alat peraga *shell and coil heat exchanger* yang memiliki kendala yaitu temperatur air yang keluar dari *shell and coil* menuju *reservoir* masih dalam keadaan panas, sehingga temperatur *feed water* menjadi tinggi. Air pada reservoir seharusnya bersuhu ambient (30°C). Untuk mengatasi kendala tersebut, *heat exchanger* akan dimodifikasi dengan cara diintegrasikan dengan *cooling tower*. *Cooling tower* dimaksudkan untuk menurunkan temperatur *feed water heat exchanger* menjadi suhu ambient agar dapat dipergunakan kembali sehingga tidak perlu menggunakan air yang baru sebagai *feed water*. Pada unit *heat exchanger* ini sistem kontrol akan dimodifikasi dengan menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai sistem kendali dan kontrol otomatis, sehingga proses yang berjalan di *heat exchanger* dapat dimonitor dan dikontrol secara terpusat.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam proses modifikasi *heat exchanger* ini, perubahan desain mengacu pada desain sebelumnya, kemudian terdapat penggantian dan penambahan komponen. Namun, penambahan dan penggantian komponen harus menyesuaikan spesifikasi yang dibutuhkan dalam sistem *heat exchanger* yang terintegrasi

dengan cooling tower. Oleh karena itu muncul beberapa permasalahan antara lain:

1. Bagaimana cara memodifikasi *heat exchanger* agar dapat terintegrasi dengan *cooling tower*?
2. Bagaimana merancang sistem kendali otomatis dan sistem monitoring dari proses di *heat exchanger* yang dapat dimonitor secara terpusat menggunakan HMI (*Human Machine Interface*)?
3. Komponen apa saja yang dibutuhkan untuk memodifikasi *shell and coil heat exchanger*?

1.3 Batasan Masalah

Modifikasi *heat exchanger* dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Konstruksi *shell and coil heat exchanger* tidak berubah.
2. Modifikasi sistem instalasi perpipaan *heat exchanger* tipe *shell and coil* dengan memanfaatkan *cooling tower* sebagai pendingin air keluaran *heat exchanger* untuk *feed water*.
3. Modifikasi sistem otomasi menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) Autonics LP-A070-T9D6-C5T.

1.4 Tujuan Proyek Akhir

Kegiatan Tugas Akhir ini bertujuan untuk :

1. Memodifikasi *heat exchanger* yang terintegrasi dengan *cooling tower* dan menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai sistem kendali terpusat.
2. Mengetahui kinerja sistem otomasi menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai sistem kendali terpusat.
3. Mampu menganalisa performa *heat exchanger* setelah terintegrasi dengan *cooling tower*.

1.5 Luaran Proyek Akhir

Pelaksanaan Tugas Akhir akan menghasilkan luaran, yaitu :

1. Laporan Tugas Akhir.
2. Artikel Ilmiah/HKI/Hak Paten.
3. *Testbed heat exchanger* yang terintegrasi dengan *cooling tower* dan menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai sistem kendali terpusat

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa teori penunjang yang dipaparkan dalam laporan Proyek Akhir ini adalah teori dasar mengenai *heat exchanger*, sistem otomasi menggunakan PLC (*Programmable Logic Controller*) dan HMI (*Human Machine Interface*).

2.1 Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

Alat Penukar kalor (*heat exchanger*) merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menghantarkan kalor antara dua proses aliran fluida dimana salah satu penerapannya dapat digunakan untuk proses pendinginan, pemanasan, kondensasi maupun evaporasi. Perpindahan kalor pada *heat exchanger* berfungsi untuk memindahkan energi fluida bertemperatur panas ke fluida bertemperatur dingin atau sebaliknya tanpa terjadi perpindahan massa didalamnya. Perpindahan kalor pada *heat exchanger* dapat terjadi melalui proses konveksi dan konduksi (Khairuddin, 2018). Laju perpindahan energi pada alat penukar kalor dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: laju aliran fluida, sifat-sifat fisik fluida yang saling dipertukarkan energinya (viskositas, konduktivitas termal, kapasitas panas spesifik, dan lain-lain.), perbedaan temperatur antara kedua fluida, dan sifat permukaan bidang perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida (Pradana, 2015).

Heat exchanger tipe *shell and coil* terdiri dari suatu tabung (*Shell*) dengan diameter cukup besar yang didalamnya terdapat lilitan pipa dengan diameter relatif kecil (*coil*). Dimana salah satu fluida yang dipertukarkan energinya dilewatkan ke dalam pipa kecil (*coil*) sedangkan fluida lainnya dilewatkan di dalam tabung (*shell*) diluar pipa *coil*. Pada alat penukar panas perpindahan panas terjadi

karena dua aliran dengan suhu yang berbeda mengalir di dalam alat penukar panas dimana pada sisi *coil* mengalir suhu panas dan sisi *shell* mengalir suhu dingin sehingga mengakibatkan perpindahan kalor. Suhu yang lebih rendah akan menerima kalor, sedangkan suhu yang lebih tinggi akan melepaskan kalor, sehingga terjadi *heat mass balance*.

2.2 Sistem Terintegrasi

Sistem terintegrasi merupakan hasil penggabungan beberapa komponen yang berbeda untuk menjalankan suatu fungsi tertentu. Dalam sistem terintegrasi, suatu komponen dapat berinteraksi dengan komponen lain yang berbeda sedemikian rupa sehingga meningkatkan nilai setiap komponen. Setiap komponen dari sistem terintegrasi terikat dengan fungsi tertentu, sehingga mengurangi fleksibilitas fungsi dari komponen tersebut. Sistem terintegrasi digunakan dalam industri, dimana dalam sistem tersebut mencakup komponen untuk pemantauan dan mengontrol proses, mengamati rekam jejak proses, komponen pengaman, dan banyak lagi (Mujahid et al. 2017).

2.3 Sistem Otomasi

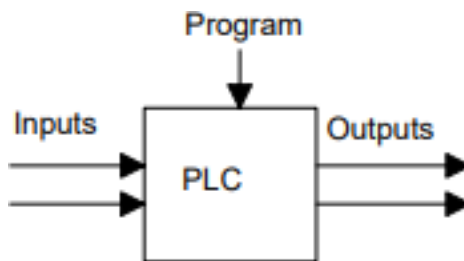
Sistem otomasi Industri dapat diartikan sebagai sistem yang mekanisme kerjanya dikendalikan oleh alat-alat elektronik (*electronic hardware*) berdasarkan urutan-urutan perintah dalam bentuk program perangkat lunak (*electronic software*) yang disimpan dalam unit memori kontroler elektronik. Ketika membangun sistem otomasi industri antara *hardware* dan *software* harus membentuk satu kesatuan dan merupakan *sekuensial* (urutan) pekerjaan atau sering disebut dengan tahapan, yang meliputi pekerjaan tahap pembangunan, yaitu suatu industri yang

dipersiapkan sejak awal meliputi perencanaan, persiapan, perakitan, instalasi, pemrograman, inspeksi dan komisioning (Putranto et al. 2008).

Suatu sistem otomasi tidak dapat dipisahkan dari suatu sistem pengaturan ataupun sistem pengendalian, dan dalam suatu sistem pengaturan bertujuan untuk mengatur dan mengendalikan suatu nilai *output* tertentu dari peralatan sehingga mencapai nilai yang diinginkan. Peralatan yang dikendalikan disebut dengan *Plant*, peralatan yang mengatur atau mengendalikan disebut dengan kontroler dan nilai yang ingin dicapai disebut dengan *input* atau *setting point*. Besaran yang dikendalikan dalam sistem kontrol diantaranya suhu, kecepatan, arus dan tegangan listrik, tekanan dll.

2.4 Programmable Logic Controllers (PLC)

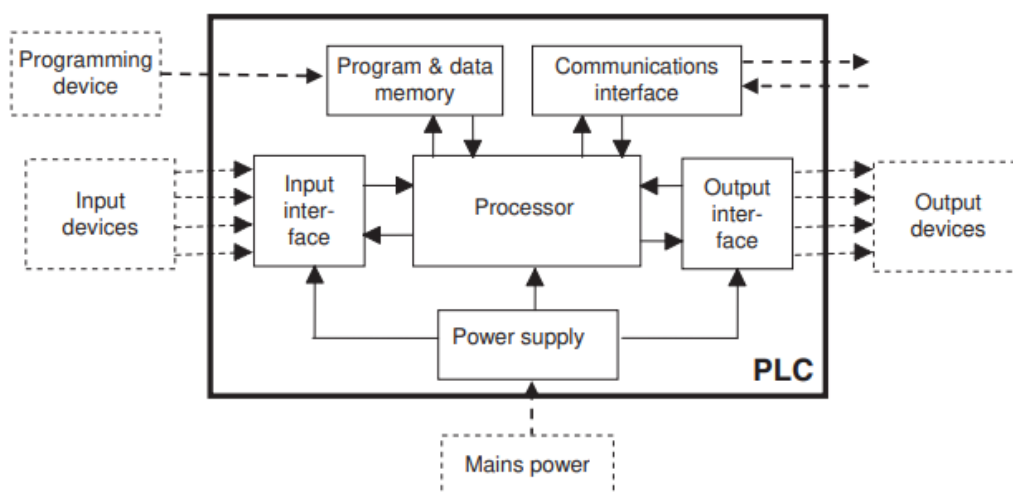
Programmable Logic Controller (PLC) adalah alat kendali berbasis mikroprosesor dengan memanfaatkan memori yang dapat diprogram untuk menyimpan instruksi serta untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi logika seperti, pengurutan (*sequencing*), pengaturan waktu (*timing*), perhitungan (*counting*) dan aritmatika untuk mengontrol mesin atau proses secara otomatis (W. Bolton, 2006). Istilah logika dalam PLC digunakan karena pemrograman berfokus pada implementasi logika dan operasi *switching*, misalnya jika terjadi A atau B aktifkan C, jika terjadi A dan B aktifkan D. *Input device*, misalnya sensor dan *output device* merupakan sistem yang dikendalikan, contohnya motor, pompa, *heater*, dll., yang terhubung ke PLC. *Controller* akan memantau *input* ataupun *output* dan menjalankan aturan kontrol sesuai dengan program yang sebelumnya telah dimasukkan oleh operator ke dalam memori PLC, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 *Programmable logic controller (PLC)*

(Sumber: W. Bolton, 2006, *Programmable Logic Controllers. 4th edt.*)

Dalam sistem PLC terdapat beberapa komponen fungsional dasar seperti unit prosesor, memori, catu daya (*power suplly*), konektor *input/output interface section*, dan *programming device*. Susunan dasar PLC dapat kita lihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Susunan dasar PLC

(Sumber: W. Bolton, 2015, *Programmable Logic Controllers. 6th edt.*)

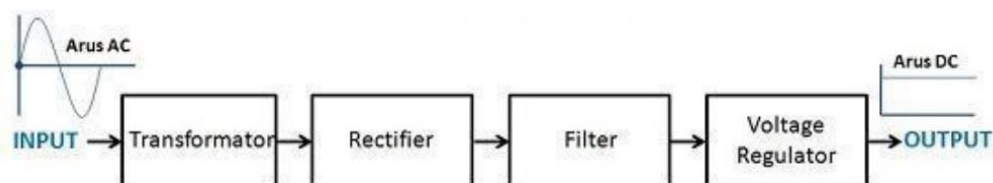
Berikut ini merupakan penjelasan singkat komponen-komponen dasar *Programmable Logic Controllers (PLC)*:

1. *Processor Unit* atau CPU (*Central Processing Unit*)

Bagian ini merupakan otak atau jantung PLC, karena bagian ini merupakan bagian yang melakukan operasi/pemrosesan program yang tersimpan dalam PLC. Disamping itu CPU juga berfungsi untuk melakukan pengawasan atas semua operasional kerja PLC, *transfer* informasi melalui *internal* bus antara PLC, memori dan unit I/O.

2. *Catu Daya (Power Supply)*

Catu Daya (*Power supply*) merupakan suatu alat atau perangkat elektronik yang berfungsi untuk merubah arus AC (*Alternating Current*) menjadi arus DC (*Direct Current*) yang bisa digunakan untuk menyediakan daya bagi peralatan *Input/Output PLC*. Besarnya listrik yang mampu ditangani *power supply* ditentukan oleh dayanya dan dihitung dengan satuan Watt. Sebuah DC *Power Supply* atau *Adaptor* pada dasarnya memiliki 4 bagian utama agar dapat menghasilkan arus DC yang stabil. Keempat bagian utama tersebut diantaranya adalah Transformer, Rectifier, Filter dan Voltage Regulator. Berikut diagram blok DC *power supply* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Blok Diagram DC *Power Supply*

(Sumber: Harikusuma, 2018.)

Catu daya menyediakan komponen dengan daya listrik. Istilah ini biasanya berkaitan dengan perangkat yang terintegrasi dalam komponen yang didukung.

Catu daya memiliki bermacam-macam tegangan dan arus *output*. Catu daya mamiliki bentuk seperti yang ditunjukkan seperti gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Modul Power Suplly Autonics SPB-060-24

(Sumber: *Autonics Catalogue*)

3. Programming Device

Programming Device adalah alat untuk membuat atau mengedit program PLC. Pada mulanya berupa *handheld programmer* namun, dengan perkembangan zaman, sekarang PC atau laptop lebih sering digunakan. PC dapat terhubung dengan PLC melalui *programming port* (umumnya RS232) atau melalui kabel *ethernet*.

4. Memori Unit

Unit memori berfungsi sebagai tempat menyimpan program yang akan digunakan untuk mengontrol proses yang akan dilakukan oleh mikroprosesor dan tempat penyimpanan *input* proses dan *output* sebagai keluaran.

5. Input dan Output Device

PLC harus dihubungkan dengan *input device* sebagai pengendali dan *output device* sebagai sesuatu yang dikendalikan, sementara PLC bekerja sebagai pemroses.

5.1 Input Device

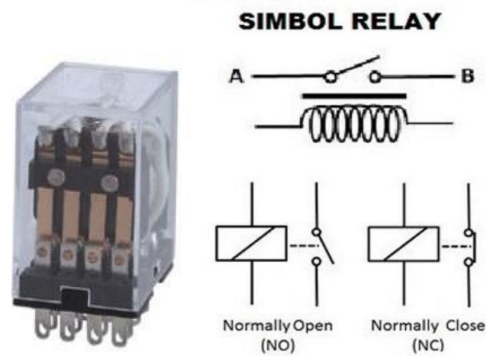
Input Device merupakan bagian PLC yang berhubungan dengan perangkat luar yang memberikan masukan kepada CPU, *input device* dapat berupa tombol, *Switch*, Saklar, Sensor atau perangkat pengukur lainnya. *Input device* memicu eksekusi logika/program pada PLC.

Perangkat masukan PLC terbagi dua yaitu : *Discrete Input Device* dimana hanya dapat menghasilkan sinyal 0 dan 1 atau dasarnya hanyalah sinyal-sinyal *on/off*, sedangkan *analog input device* menghasilkan sinyal dengan range tertentu (0, 1, 2, 3, 4,...) yang amplitudonya mempresentasikan magnitude kuantitas yang dideteksi.

Salah satu perangkat keras masukan yang termasuk discrete (*Discrete Input Device*) yang digunakan pada proyek akhir ini adalah relay.

5.1.1 Relay

Relay merupakan suatu komponen dalam rangkaian elektronika berupa saklar (*switch*) berfungsi untuk mengontrol sebuah rangkaian listrik dengan cara mengaktifkan atau menonaktifkan kontak saklar. *Relay* terdiri dari elektromagnet (*coil*) yang berfungsi sebagai alat penarik kontak point agar dapat terhubung atau terputus disesuaikan dengan *relay* yang digunakan dan mekanikal (perangkat saklar) yang berguna sebagai kontrol penggunaan. Apabila saklar dalam kondisi *ON* maka arus listrik akan mengalir, sedangkan apabila saklar dalam kondisi *OFF* maka arus listrik berhenti mengalir. Berikut adalah gambar dan juga simbol dari komponen relay.



Gambar 2. 4 Relay (kiri), Simbol Relay (kanan)

(Sumber: <https://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/>)

Sedangkan perangkat keras masukan analog (*Analog Input Device*) yang digunakan pada Proyek Akhir ini adalah temperature sensor.

5.1.2 *Temperature sensors*

Temperature Sensors adalah sebuah komponen dalam elektronika yang berfungsi untuk merespon perubahan suhu atau temperatur disekitar komponen tersebut. Fungsi sensor suhu adalah untuk mengubah besaran panas menjadi besaran listrik yang berfungsi untuk mendeteksi gejala perubahan suhu pada objek tertentu. Sensor suhu merupakan salah satu keluarga dari transduser yang memungkinkan untuk melakukan pengukuran jumlah energi panas dalam suatu objek dan mendeteksinya dalam bentuk output maupun digital. Sensor suhu dapat kita temui pada sistem otomasi dan proses kontrol adalah *Thermocouple*.

Thermocouple adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek "*Thermo-electric*". Pada dasarnya Termokopel terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada

Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas. Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan Elektronika yang berkaitan dengan Suhu (*Temperature*). Beberapa kelebihan Termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga $+2000^{\circ}\text{C}$. Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan.

Termokopel (Thermocouple)



Gambar 2. 5 Konstruksi *Thermocouple*

(Sumber: <https://blog.unnes.ac.id/antosupri/pengertian-termokopel-thermocouple-dan-prinsip-kerjanya/>)

Terdapat beberapa tipe thermocouple yang sering digunakan antara lain:

- a) Tipe K (Chromel (Ni-Cr alloy) / Alumel (Ni-Al alloy))

Termokopel ini berfungsi sebagai pendeteksi suhu umum dan memiliki harga lebih murah dibanding dengan thermocouple tipe lainnya. Tersedia untuk rentang suhu -200°C hingga $+1200^{\circ}\text{C}$.

b) Tipe E (Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy))

Tipe E memiliki output yang besar ($68 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah. Properti lainnya tipe E adalah tipe non magnetik.

c) Tipe J (*Iron/Constantan*)

Rentangnya terbatas (-40 hingga $+750 \text{ }^\circ\text{C}$) membuatnya kurang populer dibanding tipe K. Tipe J memiliki sensitivitas sekitar $\sim 52 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

d) Tipe N (Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy))

Stabil dan tahan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. Sensitifitasnya sekitar $39 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ pada 900°C , sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K

e) Type T (*Copper/Constantan*)

Cocok untuk pengukuran suhu antara -200 to $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Konduktor positif terbuat dari tembaga, dan yang negatif terbuat dari constantan. Sering dipakai sebagai alat pengukur alternatif sejak penelitian kawat tembaga. Type T memiliki sensitifitas $\sim 43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

5.2 Output Device

Output Device merupakan bagian PLC yang berhubungan dengan perangkat luar yang berfungsi memberikan keluaran dari CPU, *output device* dapat berupa Motor AC/DC, lampu, katup dan lain-lain. Perangkat keluaran tersebut akan bekerja sesuai dengan perintah yang telah diprogram kedalam PLC.

Perangkat keluaran PLC juga terbagi dua yaitu: Perangkat Keluaran Diskrit (*Discrete Output Device*) dan Perangkat Keluaran Analog (*Analog Output Device*).

Perangkat keras keluaran yang termasuk *discrete* (*Discrete Output Device*) adalah:

- a. *Alarms*
- b. *Control relays*
- c. *Fans, lights, horns, valves*
- d. *Motor starters, solenoids*

Perangkat keras keluaran yang termasuk *analog* (*Analog Output Device*) adalah:

- a. *Analog Valves*
- b. *Actuators*
- c. *Chart Recorders*
- d. *Electric Motor Drives*
- e. *Analog Meters*
- f. *Pressure Sensors*

6. *Communications Interface/Human Machine Interface (HMI)*

HMI (*Human Machine Interface*) merupakan sebuah sarana komunikasi antara manusia dengan mesin. Konsep HMI meliputi, mengumpulkan informasi dari proses, menampilkan informasi, serta sebagai sarana bagi operator untuk mengakses sistem otomasi di lapangan dan mengumpulkan informasi dari proses dengan cara berkomunikasi dengan I/O modul dan komponen lain lalu menampilkan informasi melalui GUI (*Graphical User Interface*) sehingga informasi sampai ke operator secara *real time* (Yunita, 2018). HMI berfungsi

sebagai sarana operator mengakses sistem otomasi dari lapangan dengan menerjemahkan instruksi dari operator ke mesin. HMI juga dapat berfungsi sebagai stasiun pengoperasian (*Operator Work Station*) dan bagian dari stasiun perancangan (*Engineering Work Station*). HMI menyediakan berbagai fitur untuk keperluan kemudahan dalam mengoperasikan tampilan. Fitur-fitur ini adalah animasi, grafik atau tampilan skematik.



Gambar 2. 6 HMI Autonics LP-A070-T9D6-C5T

(Sumber: *Autonics Catalogue*)

7. *Modular Multi-Channel PID Temperature Controller*

Temperature controller berfungsi untuk mengontrol suhu yang diterima dari sensor suhu seperti *thermocouple* atau RTD (*Resistance Temperature Detector*) sebagai masukan, lalu membandingkan suhu sebenarnya untuk kontrol suhu yang diinginkan atau *setting point* dan menyediakan *output* untuk mengontrol element.



Gambar 2. 7 Modular Multi-Channel PID Temperature Controllers

(Sumber : Autonics Catalogue)

BAB III

METODE DAN PROSEDUR

PELAKSANAAN PROYEK AKHIR

Bab ini berisi perencanaan dan prosedur pelaksanaan Proyek Akhir Modifikasi Sistem Otomasi *Shell and Coil Heat Exchanger* Menggunakan *Human Machine Interface Autonics LP-A070-T9D6-C5T*, yang terdiri dari: (i) metode penyelesaian proyek akhir, (ii) survei unit *heat exchanger*, (iii) studi literatur, (iv) desain modifikasi *heat exchanger*, (v) alat dan bahan perekayasaan, (vi) prosedur pembuatan alat, dan (vii) pengujian.

3.1 Metode Penyelesaian Proyek Akhir

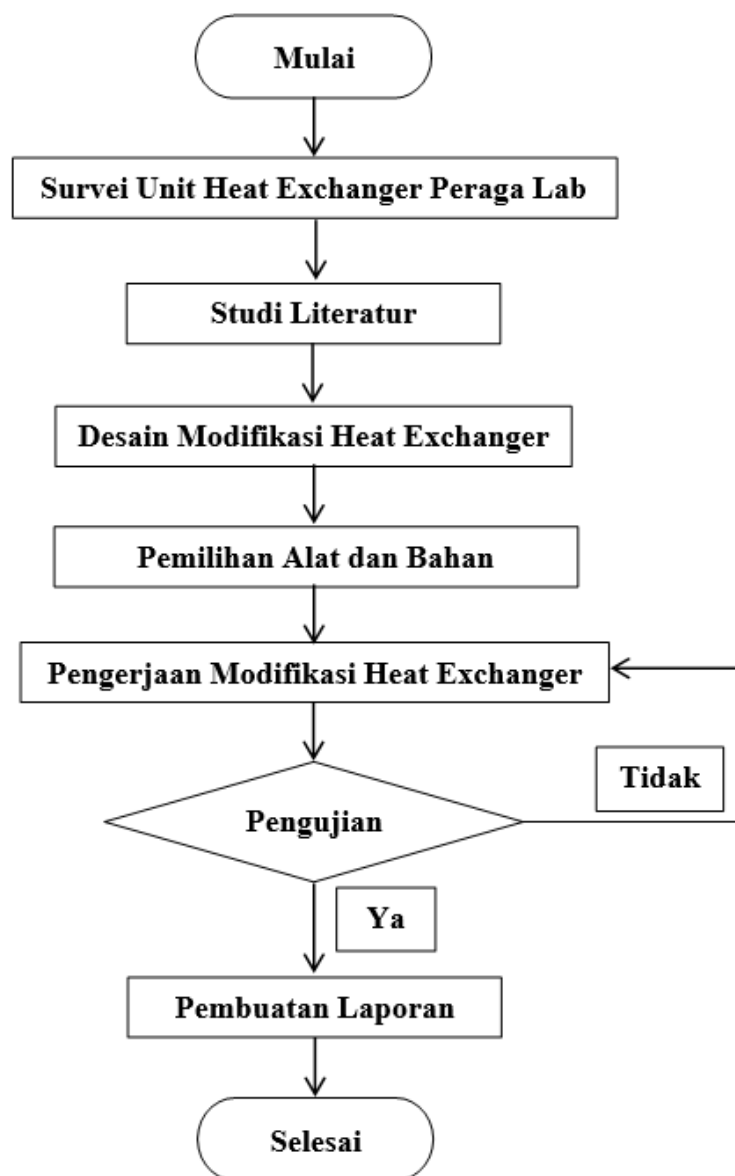
Metode perekayasaan merupakan kerangka dasar pada tahapan penyelesaian proyek akhir. Metodologi mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk menyelesaikan masalah pada permasalahan proyek akhir. Berikut merupakan tahapan dalam proses menyelesaikan masalah:

1. Penulis mengumpulkan data permasalahan dan spesifikasi alat peraga *shell and coil heat exchanger*.
2. Selanjutnya, dilakukan proses modifikasi desain menggunakan *software CAD (Computer-aided design)* yang memiliki fungsi sebagai konsep utama dalam proses modifikasi desain alat peraga *shell and coil heat exchanger* yang terintegrasi dengan *cooling tower*.
3. Melakukan proses modifikasi alat peraga *shell and coil heat exchanger* berdasarkan data permasalahan yang telah dikumpulkan.
4. Menjalankan proses pengujian yang dilakukan pada alat peraga *shell*

and coil heat exchanger.

5. Selanjutnya, memeriksa hasil pengujian pada alat peraga *shell and coil heat exchanger*.
6. Setelah semua langkah dipastikan benar, penulis menarik kesimpulan.

Tahapan penyelesaian proyek akhir dapat digambarkan pada diagram alir yang tersaji pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir metode dan prosedur pelaksanaan proyek akhir

3.2 Survei Unit *Heat Exchanger*

Survei merupakan tahapan awal yang sangat penting dalam suatu kegiatan perencanaan, dimana dalam survei tersebut kita dapat mengetahui keadaan mesin yang akan dimodifikasi sehingga perencanaan dapat semaksimal mungkin untuk dilakukan.

Survei dilakukan pada alat pendukung laboratorium *shell and coil heat exchanger* yang terletak di Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik. Hasil temuan survei terdapat beberapa kendala dimana suhu air yang keluar dari *shell and coil* menuju *reservoir* masih dalam keadaan panas, sehingga mempengaruhi temperatur *feed water* menjadi tinggi. Dimana suhu pada *reservoir* seharusnya bersuhu *ambient* (30°C). Untuk mengatasi kendala tersebut, pada tugas akhir ini akan dilakukan modifikasi *heat exchanger* yang terintegrasi dengan *cooling tower* untuk membuat suhu *feed water heat exchanger* menjadi suhu normal agar dapat dipergunakan kembali sehingga tidak perlu menggunakan air yang baru sebagai *feed water*. Pada unit *heat exchanger* ini sistem kontrol akan dimodifikasi dengan menggunakan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai sistem kendali dan kontrol otomatis, sehingga proses yang berjalan di *heat exchanger* kemudian dapat dimonitor dan dikontrol secara terpusat.

3.3 Studi Literatur

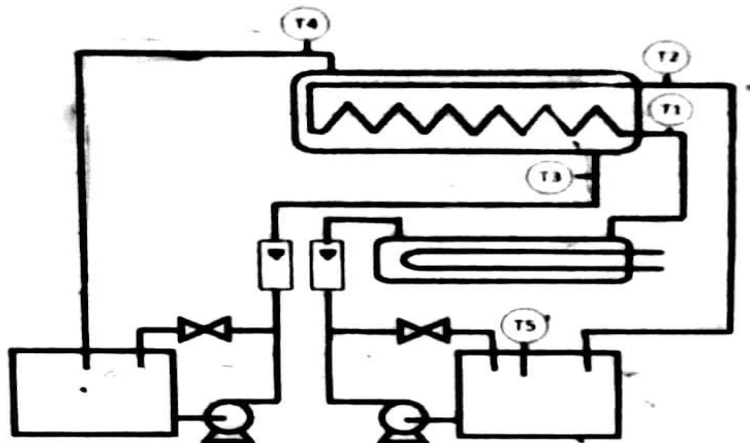
Studi literatur merupakan suatu proses studi melalui pengumpulan berbagai data yang diperoleh dari buku, materi perkuliahan, buku proyek akhir, jurnal dan juga melalui berbagai sumber dari internet untuk mendalami pemahaman tentang materi yang berhubungan dengan modifikasi sistem otomasi *shell and coil heat exchanger* menggunakan *human machine interface*.

3.4 Desain Modifikasi Heat Exchanger

Desain modifikasi *heat exchanger* merupakan sebuah proses perancangan mesin secara 3D menggunakan CAD (*Computer Aided Design*) yang berfungsi sebagai konsep utama dalam proses rancang bangun atau modifikasi alat. Rancangan dan desain modifikasi *heat exchanger* proyek akhir ini dapat dilihat pada gambar dibawah berikut:

3.4.1 Diagram Alir Proses *Existing*

Alat peraga *shell and coil heat exchanger* di laboratorium Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik memiliki diagram alir proses seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram alir proses sebelum dimodifikasi

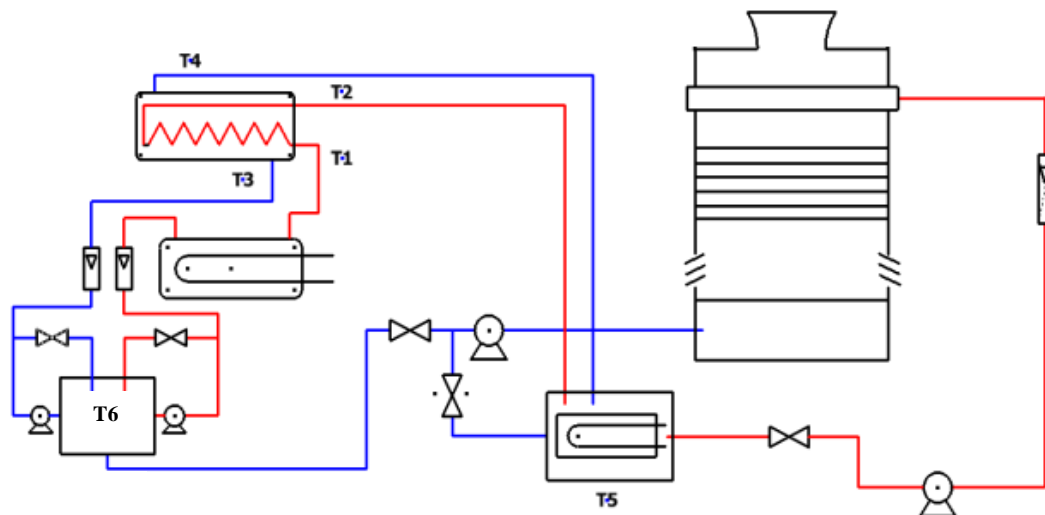
(Sumber: Dokumen pribadi)

Diagram alir proses *existing* memiliki proses kerja dimana awal mula *feed water* dari reservoir dipompa menuju *shell* (aliran dingin) dan menuju *heater* kemudian masuk kedalam *coil* (aliran panas). selanjutnya kedua aliran dengan suhu yang berbeda mengalir didalam *shell and coil heat exchanger* mengakibatkan perpindahan kalor. Suhu yang lebih rendah akan menerima kalor,

sedangkan suhu yang lebih tinggi akan melepaskan kalor, sehingga terjadi *heat mass balance*. Namun pada proses diagram *existing* memiliki kendala yaitu temperatur air yang keluar dari *shell and coil* masuk ke *reservoir* masih dalam keadaan panas hal tersebut mempengaruhi temperatur *feed water* menjadi tinggi dimana pada *reservoir* seharusnya bersuhu ambient (30°C). Untuk mengatasi kendala tersebut, *heat exchanger* akan dimodifikasi dengan cara diintegrasikan dengan *cooling tower*.

3.4.2 Rencana Diagram Alir Proses Setelah Modifikasi

Alat peraga *shell and coil heat exchanger* di laboratorium Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik akan dimodifikasi seperti diagram alir proses yang ditunjukkan pada gambar 3.3.



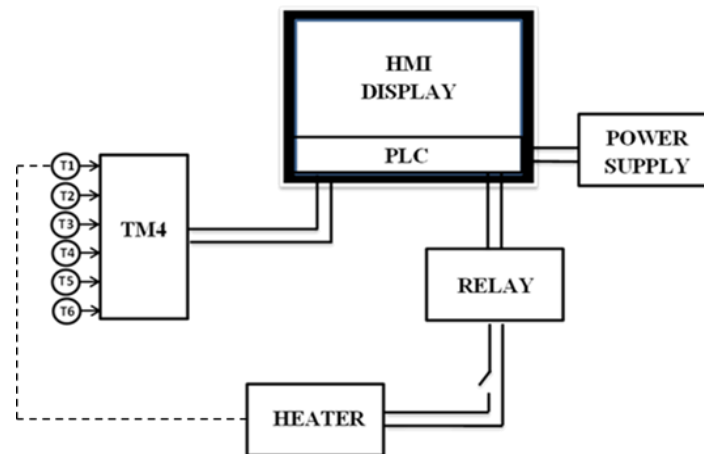
Gambar 3. 3 Rencana Diagram alir proses setelah dimodifikasi

(Sumber: Dokumen pribadi)

Proses modifikasi terjadi perubahan skema aliran pipa keluaran dari aliran air panas (T2) dan keluaran air dingin (T4) yang sebelumnya kembali menuju *reservoir* akan ditampung pada *buffer tank* (T5) untuk nantinya di pompa menuju

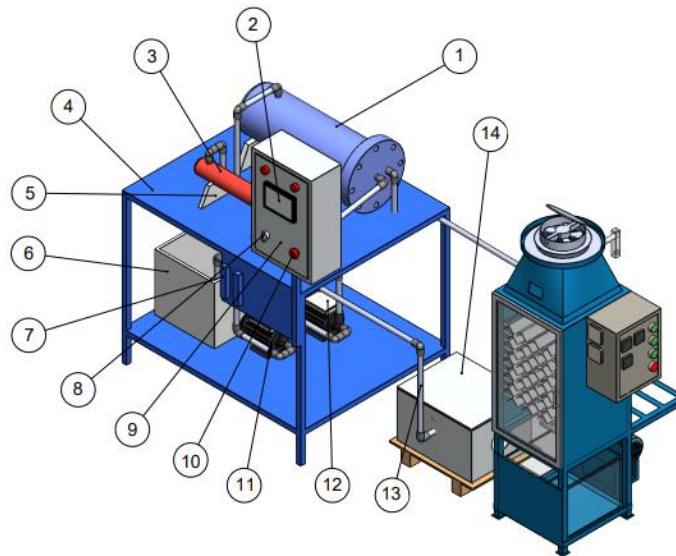
cooling tower. *Cooling tower* dimaksudkan untuk menurunkan temperatur air keluaran *heat exchanger* menjadi suhu ambient agar dapat dipergunakan kembali sehingga tidak perlu menggunakan air yang baru sebagai *feed water*.

Lalu pada unit *heat exchanger* ini sistem kontrol akan dimodifikasi dengan penambahan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai sistem kendali dan kontrol otomatis, sehingga proses yang berjalan di *heat exchanger* dapat dimonitor dan dikontrol secara terpusat. Rencana skema sistem kendali otomatis dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Skema sistem kendali otomatis

(Sumber: Dokumen pribadi)



Gambar 3. 5 Desain rencana modifikasi *heat exchanger*
(Sumber: Dokumen pribadi)

Tabel 3. 1 keterangan gambar 3.5

No	Keterangan
1	Tabung Shell & Coil
2	HMI
3	Tabung Heater
4	Meja Heat Exchanger
5	Dudukan Tabung Heater
6	Reservoir
7	Flowmeter
8	Switch On/Off
9	Box Panel
10	Emergency Stop
11	Pompa Aliran Air Panas
12	Pompa Aliran Air Dingin
13	Pipa 1"
14	Buffer Tank

3.5 Alat dan Bahan Perencanaan

Alat dan bahan yang digunakan dalam modifikasi *heat exchanger shell and coil* ini terdiri dari:

3.5.1 HMI (*Human Machine Interface*)

HMI yang digunakan dalam Proyek Akhir ini menggunakan Autonics LP-A070-T9D6-C5T dimana pada HMI tersebut dilengkapi dengan fungsi modul *Programmable Logic Controller (PLC)* yaitu pengembangan dari pengontrol berbasis mikroprosesor yang dapat diprogram menggunakan *software* atDesigner dan atLogic untuk menyimpan intruksi-intruksi dan mengimplementasikan fungsi-fungsi. Berikut spesifikasi HMI yang digunakan antara lain :

Tabel 3. 2 Spesifikasi HMI Autonics LP-A070-T9D6-C5T

Spesifikasi Tampilan_Tipe LCD	LCD TFT Berwarna
Spesifikasi Tampilan_Resolusi	800×480 dot
Spesifikasi Tampilan_Area Tampilan	154.4×93.44 mm
Spesifikasi Tampilan_Warna	16,777,216 warna
Memori Penggambaran Grafis	64MB
Metode Sentuh	Pressure sensitive type
Interface_RS232C	1 EA
Interface_RS422	1 EA
Interface_Ethernet	IEEE802.3(U), 10/100Base-T
Catu daya	24VDC
Tingkat proteksi	IP65 (panel depan, standar IEC)
Software Khusus	atDesigner, atLogic
Interface_USB(Host)	1 EA
Interface_USB(Device)	1 EA
Performa Grafis_Bahasa	Bahasa Inggris, Bahasa Korea

Performa graphic drawing_teks	Bitmap ASCII dan font vektor
Performa Grafis_Jumlah layar pengguna	100 pages
Kontrol real-time	RTC tertanam
Aksesoris	Fixing bracket: 4, Battery (included)
Lingkungan_kadar suhu	0 hingga 50°C, ruang tertutup: -20 hingga 60°C
Lingkungan_kadar kelembaban	35 ~ 85%RH, ruang tertutup: 35 ~ 85%RH
Berat	Kurang lebih 742g(kurang lebih 540g)



Gambar 3. 6 HMI Autonics LP-A070-T9D6-C5T

(Sumber: *Autonics Catalogue*)

3.5.2 *Temperature Modular Multi Channel*

Temperature modular (TM) yang dipergunakan dalam Proyek Akhir ini menggunakan temperature modular multi channel. Berikut spesifikasi Temperature Modular yang digunakan antara lain:

- Metode tampilan : Non-display
- Metode kontrol : ON/OFF, P, PI, PD, PID
- Jumlah channel I/O : 4 channel dapat expand hingga 125 channel
- Spesifikasi *Input* : Thermocouple: K(CA), J(IC), E(CR), T(CC), B(PR), R(PR), S(PR), N(NN), C(TT), G(TT),

L(IC), U(CC), Platinel IIRTD:DPt100Ω,
JPt100Ω

- Siklus sampling : 100ms(4-CH synchronous sampling)
- Output kontrol : Relay(250VAC~ 3A)
- Catu daya :24VDC



Gambar 3. 7 *Modular Multi-Channel PID Temperature Controllers*
(Sumber : *Autonics Catalogue*)

3.5.3 **Catu Daya (*Power Supply*)**

Power Supply yang dipergunakan dalam Proyek Akhir ini menggunakan Autonics SPB-060-24. Berikut spesifikasi *power supply* yang digunakan antara lain:

- Daya output : 60W
- Tegangan input : 100-240VAC~ 50/60Hz
- Tegangan diizinkan : 85-264VAC~ 50/60Hz, 120 370VDC
- Output tegangan : 24VDC
- Output arus : 2.5A
- Tipe pemasangan : DIN Rail



Gambar 3. 8 *Power Supply*

(Sumber: *Autonics Catalogue*)

3.5.4 Sensor Temperatur

Sensor temperatur pada proyek akhir ini menggunakan sensor suhu *Thermocouple* tipe K keluaran Autonics TW-N PT100 dengan spesifikasi berikut:

- Diameter stick : 6,4mm
- Panjang : Stick 150mm
- Drat : 1/8'
- Panjang Kabel : 2M
- Range suhu : 0°C sampai 400°C



Gambar 3. 9 *Thermocouple Type K*

(Sumber: <https://www.tokopedia.com/erlanggaajaya/screw-thermocouple-tipe-k-0-400ctheemocouple-2mtr?txsc=google>)

3.5.5 Relay

Dalam Proyek Akhir ini menggunakan relay merk Fort tipe MY4N dengan Tegangan 24V DC dan kuat arus 5A.



Gambar 3. 10 Relay

(Sumber: https://www.tokopedia.com/vinshopbnk/relay-my4n-220v-24v-dc-fort?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=pdp-seo)

3.5.6 MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) pada proyek akhir kali ini menggunakan MCB Schneider dengan spesifikasi berikut:

Tabel 3. 3 Spesifikasi MCB Schneider

<i>Device application</i>	<i>Distribution</i>
<i>Range</i>	<i>Domae</i>
<i>Product or component type</i>	<i>Miniature circuit-breaker</i>
<i>Poles description</i>	1P
<i>Number of protected poles</i>	1
<i>[In] rated current</i>	10.00 AM
<i>Network type</i>	AC
<i>Curve code</i>	C

<i>Breaking capacity</i>	4500 A at 230 V AC 50 Hz <i>conforming to IEC 60898-1</i>
Complementary	
<i>Network frequency</i>	50 Hz
<i>[Ue] rated operational voltage</i>	220...240 V AC 50 Hz
<i>control type</i>	<i>Toggle</i>
<i>Mounting mode</i>	<i>Clip-on</i>
<i>Mounting support</i>	<i>DIN rail</i>
<i>Comb busbar and distribution block compatibility</i>	YES
<i>9 mm pitches</i>	2



Gambar 3. 11 MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

(Sumber: <https://www.monotaro.id/items/s025748109.html>)

3.5.7 Box panel

Box panel pada proyek akhir ini berfungsi sebagai wadah wiring untuk menyambungkan komponen listrik dan sebagai tempat kontrol kendali HMI dari *heat exchanger* nantinya. Box panel yang digunakan berukuran 50x40x20 cm.



Gambar 3. 12 Box Panel

(Sumber: <https://www.blibli.com/amp/p/box-panel-outdoor-40x50x20>)

3.6 Prosedur Pembuatan Alat

untuk mendapatkan indikator performa *testbed heat exchanger* maka langkah-langkah penelitian ditetapkan sebagai berikut :

1. Instalasi pipa
2. penggantian perangkat pengukuran
3. Instalasi HMI (*Human Machine Interface*)
4. Persiapan pengujian
5. Langkah-langkah pengujian dan pengambilan data

3.6.1 Instalasi pipa

Testbed shell and coil heat exchanger yang sudah ada pada laboratorium konversi energi dilakukan instalasi pipa ulang, hal ini bertujuan supaya *heat exchanger* dapat terintegrasi dengan *testbed cooling tower*.

3.6.2 Penggantian perangkat pengukuran

Setelah melakukan observasi secara langsung terdapat temuan bahwa beberapa alat pengukuran (termometer) yang sudah ada memiliki spesifikasi yang

tidak dapat terintegrasi dengan HMI (*Human Machine Interface*) sehingga perlu adanya penggantian perangkat pengukuran yang dapat terintegrasi dengan HMI.

3.6.3 Instalasi HMI (*Human Machine Interface*)

Langkah berikutnya adalah proses instalasi seluruh alat dan bahan seperti HMI, *Temperature Controllers*, *power supply*, MCB (*Miniature Circuit Breaker*), dan Relay. Alat dan bahan tersebut dirangkai satu persatu ke *box panel* sampai terinstal semua lalu dilakukan pemrograman (*teaching*) pada unit HMI sebagai sistem kendali otomatis.

3.7 Pengujian

Tahap selanjutnya adalah persiapan proses pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi *testbed* sebelum digunakan dan untuk mengetahui kelayakan dari *testbed*, pemeriksaan terhadap kondisi dan kesiapan sistem kelistrikan, instrument, sistem pipa, *receiver tank* dan sistem kendali HMI.

3.7.1 Tahapan Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara menjalankan *testbed heat exchanger* menggunakan sistem kendali otomatis pada layar monitor HMI, setelah *Testbed* beroperasi normal pengambilan data dimulai. Pengambilan data dilakukan dengan cara melihat fungsi komponen otomatis dan seberapa besar suhu aliran yang dapat dipindahkan dari sisi *coil* ke sisi *shell* dengan variabel terkontrol yaitu laju aliran. Dalam melakukan pengumpulan data dengan 3 *set point* yang berbeda pada suhu 45°C, 55 °C, dan 65°C lalu mencatat hasil pengujian pada lembar pencatatan yang telah disiapkan.

Berikut merupakan tahap-tahap pengujian *heat exchanger* menggunakan variabel laju aliran 6 Lpm (aliran panas) & 5 Lpm (aliran dingin)

1. Isi reservoir dengan air hingga penuh.
2. Pasang *jack power* dan pastikan MCB jalur listrik utama telah “ON”.
3. Nyalakan HMI dengan mencabut tombol *emergency*, lalu putar *switch power* pada posisi “ON”.
4. Nyalakan pompa dengan cara menekan gambar pompa pada tampilan HMI.
5. Atur laju alir air yang mengalir menuju sisi *shell* 5 lpm dengan mengatur valve pengatur laju alir.
6. Atur laju alir air yang mengalir menuju sisi *coil* 6 lpm dengan mengatur valve pengatur laju alir.
7. Masukkan *Set Value* suhu yang diinginkan untuk menyalakan *heater*.
8. Jalankan *cooling tower* dan atur laju alir sesuai dengan keluaran *shell* & *coil* sebesar 11 Lpm.
9. Catat hasil pengukuran yang ditampilkan pada layar HMI kedalam tabel hasil pengukuran seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.4. dibawah berikut:

proses analisa performa *heat exchanger* dihitung menggunakan rumus dibawah berikut:

- a. Menghitung perbedaan suhu sisi *coil*

$$\Delta t = T_i - T_o \dots\dots\dots (3.1)$$

- b. Menghitung perbedaan suhu sisi *shell*

$$\Delta t = t_o - t_i \dots\dots\dots (3.2)$$

- c. Menghitung perbedaan suhu maksimal

$$\Delta t_{max} = T_i - t_i \dots \dots \dots (3.3)$$

- d. Menghitung kapasitas kalor sisi *coil*

$$C_{hot} = m_h \cdot c_{ph} \dots \dots \dots (3.4)$$

- e. Menghitung kapasitas kalor sisi *shell*

$$C_{cold} = m_c \cdot c_{pc} \dots \dots \dots (3.5)$$

kemudian kapasitas kalor sisi *coil* terhadap kapasitas kalor sisi *shell* dibandingkan. nilai kalor yang lebih besar diansumsikan sebagai C_{max} dan yang bernilai kecil diansumsikan sebagai C_{min} .

- f. Menghitung nilai effectiveness

$$\varepsilon = \frac{C_{min} (\Delta T)}{C_{min} (\Delta T_{max})} \dots \dots \dots (3.6)$$

- g. Menghitung nilai Cr

$$C_r = \frac{C_{min}(\Delta T)}{C_{min}(\Delta T_{max})} \dots \dots \dots (3.7)$$

- h. Mencari nilai NTU (*Number Thermal Unit*)

$$(NTU) = -(1 + Cr)^{-1/2} \ln \left(\frac{E-1}{E+1} \right) \dots \dots \dots (3.8)$$

$$E = \frac{\frac{2}{\varepsilon_1} - (1 + Cr)}{(1 + Cr^2)^{1/2}} \dots \dots \dots (3.9)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{F-1}{F-C_r} \dots \dots \dots (3.10)$$

$$F = \left(\frac{\varepsilon C_r - 1}{\varepsilon - 1} \right)^{1/n} \dots \dots \dots (3.11)$$

- i. Menghitung koefisien perpindahan kalor keseluruhan pada effectiveness max dan min

$$U = \frac{NTU.C_{min}}{A} \dots\dots\dots (3.12)$$

- j. Menghitung kapasitas *heat exchanger* pada U_{min} dan U_{max}

$$q = m.C_p.\Delta T \dots\dots\dots (3.13)$$

- k. Kalkulasi temperatur *buffer tank*

$$T_{bt} = \frac{(m_2.T_2 + m_4.T_4)}{(m_2 + m_4)} \dots\dots\dots (3.14)$$

- l. Presentase ΔT_{bt}

$$\text{Presentase } \Delta T_{bt} = \frac{(T_{bt} \text{ aktual} - T_{bt} \text{ kalkulasi})}{T_{bt} \text{ aktual}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.15)$$

- m. menghitung kesetimbangan energi

$$\text{Energi yang masuk} - \text{Energi yang Keluar} \dots\dots\dots (3.16)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Modifikasi

Hasil modifikasi *shell and coil heat exchanger* dapat dilihat pada gambar 4.1. *testbed heat exchanger* ini terintegrasi dengan *testbed cooling tower* dan dilengkapi dengan HMI (*Human Machine Interface*) Autonics LP-A070-T9D6-C5T sebagai sistem kendali dan kontrol otomatis secara terpusat.



Gambar 4. 1 Hasil modifikasi testbed heat exchanger
(Sumber: Dokumen pribadi)

4.2 Data Penelitian

Setelah dilakukan pengujian pada *testbed shell and coil heat exchanger*, maka didapatkan hasil pengujian meliputi temperatur air *inlet coil* (T1), temperatur air *outlet coil* (T2), temperatur air *inlet shell* (T3), temperatur air *outlet shell* (T4), temperatur air *buffer tank* (T5), dan temperatur air reservoir (T6).

Pengujian ini dilakukan dengan laju alir sisi *coil* sebesar 6 Lpm sedangkan laju alir sisi *shell* sebesar 5 Lpm dan menggunakan 3 variasi *set point* suhu yaitu 45°C, 55°C, dan 65°C. Hasil data yang diperoleh dari pengujian dapat dilihat pada lampiran 1 Data hasil pengujian.

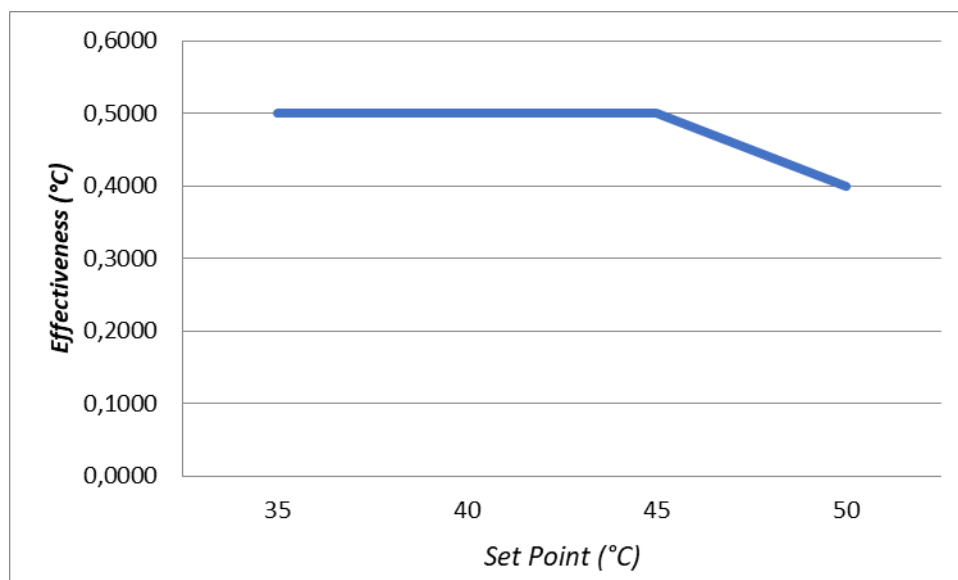
4.3 Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan bentuk kalkulasi dari data yang telah didapat menggunakan perhitungan rumus maupun melalui uji coba. Model pengolahan tersebut telah dikelompokkan sesuai tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini. dari hasil pengujian tersebut diperoleh data sebagai berikut:

4.3.1 Perhitungan performa *shell and coil heat exchanger*

1. Nilai *effectiveness* hasil kalkulasi

Setelah dilakukan pengujian dengan laju alir 6 Lpm (aliran panas) dan laju alir 5 Lpm pada (aliran dingin) dengan *set point* suhu yaitu 35°C, 40°C, 45°C dan, 50°C maka nilai *effectiveness* dari hasil kalkulasi dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.

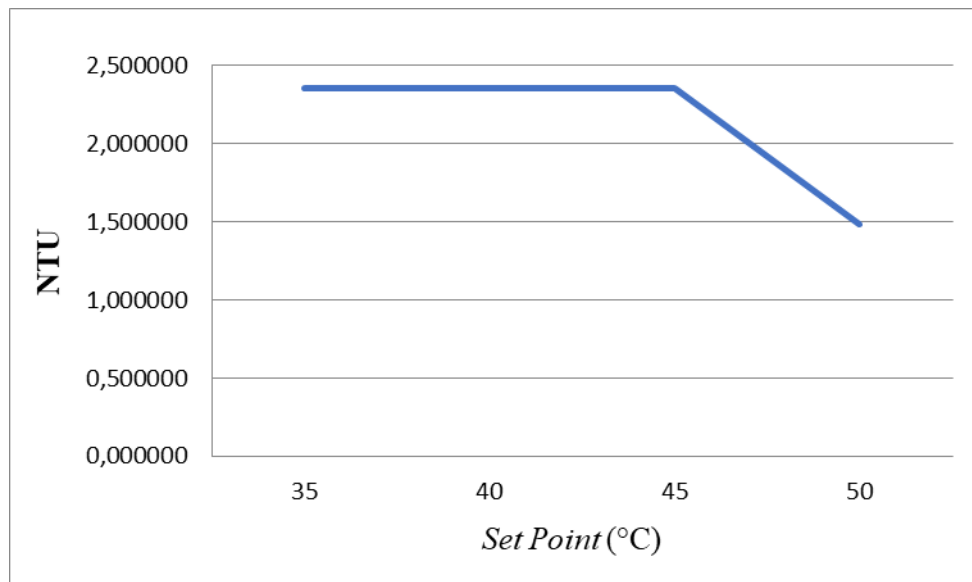


Gambar 4. 2 Grafik Effectiveness

Dari gambar diatas dapat dilihat *trendline* pada menit *set point* 35°C sampai dengan *set point* 45°C mengalami Kestabilan diangka 0,5000. Kemudian pada *set point* 50°C mengalami penurunan. *Effectiveness* tertinggi terjadi pada *set point* 35°C menit ke- *set point* 45°C dengan laju fluida panas 6 lpm dan fluida dingin 5 lpm yaitu sebesar 0,5000. *Effectiveness* terendah terjadi pada *set point* 50° dengan laju fluida panas 6 lpm dan fluida dingin 5 lpm yaitu sebesar 0,4000. Hal tersebut dikarenakan untuk nilai mass flowrate exhaust gas terendah memiliki nilai q_{max} yang rendah juga, sehingga akan meningkatkan nilai *effectiveness*.

2. Nilai NTU

Setelah dilakukan pengujian dengan laju alir 6 Lpm (aliran panas) dan laju alir 5 Lpm pada (aliran dingin) dengan *set point* suhu yaitu 45°C,55°C dan, 65°C maka nilai koefisien perpindahan kalor keseluruhan pada *effectiveness* max dan min hasil kalkulasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

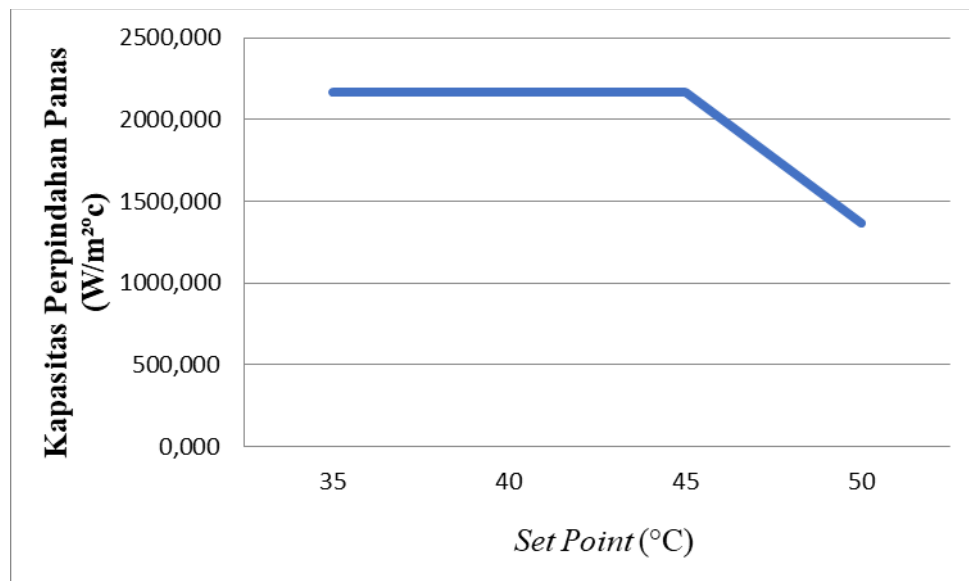


Gambar 4. 3 NTU

Dari hasil grafik di atas nilai NTU mengalami peningkatan seiring dengan

peningkatan dari nilai *effectiveness*, hal ini dikarenakan nilai NTU *heat exchanger* sangat dipengaruhi oleh nilai *effectiveness*. NTU tertinggi terjadi pada set point 35 °C, 40 °C dan, 45 °C dengan nilai 2,353177 sedangkan NTU terendah terjadi pada set point 50°C dengan nilai NTU 1,480582.

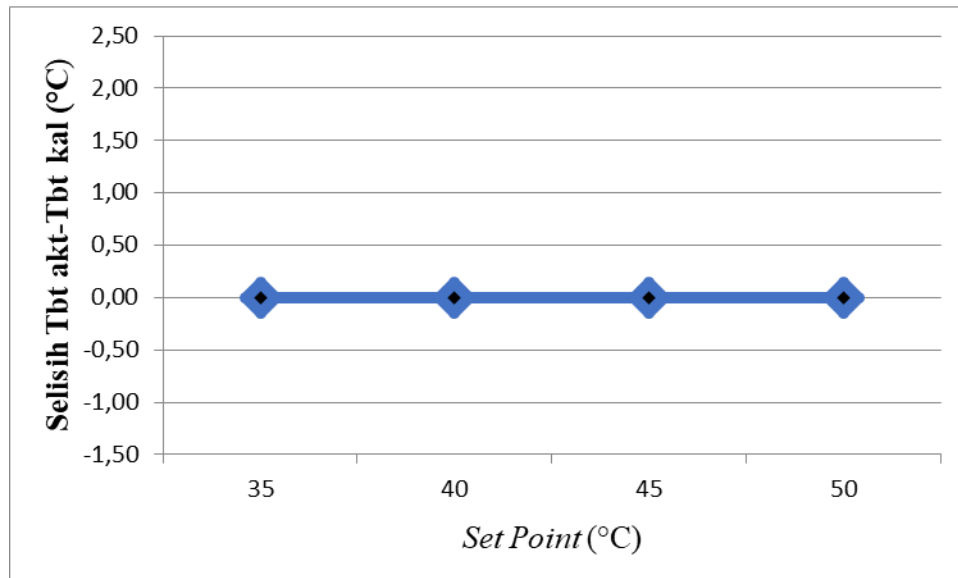
3. Nilai Kapasitas Perpindahan Panas Keseluruhan heat exchanger



Gambar 4. 4 Grafik Perpindahan Panas Keseluruhan heat exchanger

Dari hasil grafik di atas nilai kapasitas perpindahan panas *heat exchanger* mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan dari nilai NTU, hal ini dikarenakan nilai kapasitas perpindahan panas *heat exchanger* sangat dipengaruhi oleh nilai NTU berdasarkan persamaan (3.12). Nilai kapasitas perpindahan panas *heat exchanger* tertinggi terjadi pada set point 35°C dengan nilai 2166,333W/m²°C sedangkan yang terendah terjadi pada set point 50 °C dengan nilai 1363,414W/m²°C.

4. Selisih Temperatur *Buffer tank* Kalkulasi dengan Temperatur Aktual

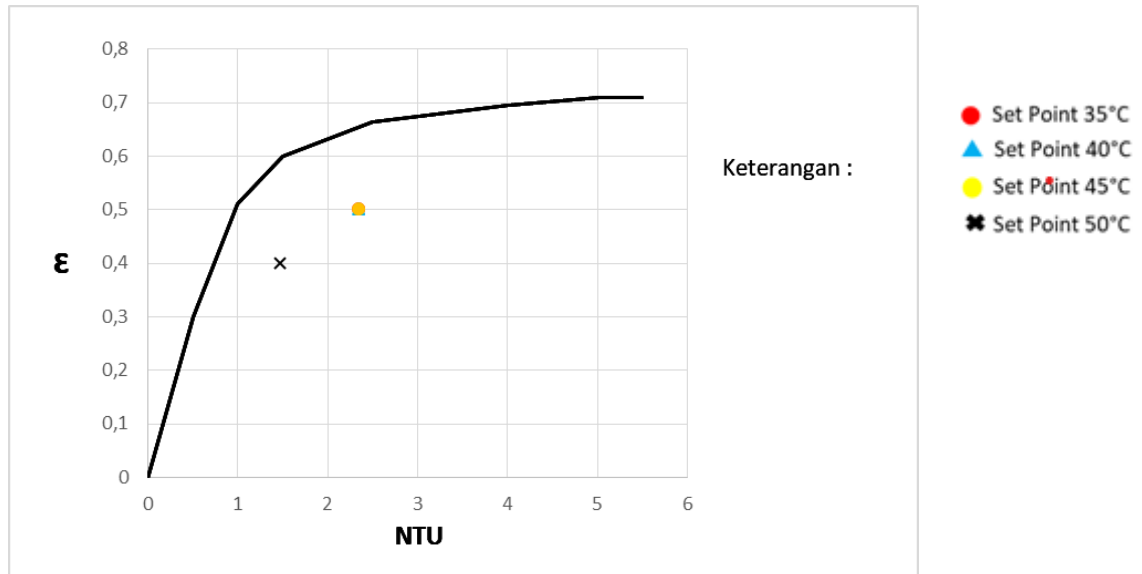


Gambar 4. 5 Grafik selisih temperatur buffer tank kalkulasi dengan temperatur aktual

Berdasarkan gambar 4.5 diatas dapat diketahui bahwa tidak ada selisih antara temperatur *buffer tank* kalkulasi dengan temperatur aktual hasil pengukuran termokopel, dimana temperatur *buffer tank* kalkulasi dan temperatur aktual memiliki temperatur yang sama.

4.3.2 Analisa hasil perhitungan performa *shell and coil heat exchanger*

Berdasarkan hasil perhitungan $\epsilon\sim NTU$, dapat disajikan grafik yang menggambarkan performa *shell and coil heat exchanger* seperti pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4. 6 Perbandingan antara nilai NTU terhadap effectiveness

Pada gambar 4.2 titik-titik hasil pengolahan data ϵ -NTU memiliki trend dibawah dari grafik standar teori *effectiveness of a shell and tube heat exchanger with one shell and any multiple of two tube passes* (*Fundamental of heat and mass transfer. 6th edition. halaman 691*). berdasarkan gambar 4.3 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai NTU maka semakin besar nilai *effectiveness* dari *heat exchanger*. semakin kecil nilai Cr maka semakin besar efektifitas dari *heat exchanger*. Hal tersebut berkaitan dengan temperatur keluaran pada fluida panas. Semakin kecil nilai Cr maka temperatur keluaran fluida panas semakin kecil yang berarti bahwa dengan laju panas yang sama, dengan menggunakan fluida yang memiliki rasio kapasitas panas rendah akan menghasilkan perbedaan temperatur yang besar sehingga performa *heat exchanger* dapat dikatakan lebih baik.

4.3.3 Kestimbangan Energi

kesetimbangan energi pada heat exchanger berdasarkan pada hukum Termodinamika I dimana energi tidak dapat diciptaan atau dihancurkan pas

suatu sistem massa konstan, tetapi energi dapat dirubah dari bentuk satu ke bentuk yang lainnya, berdasarkan persamaan (3.16) maka didapat tabel hasil kalkulasi sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Hasil kalkulasi kesetimbangan energi

Set Point	Q_{in} (W)	Q_{out} (W)	Heat Loss (W)
35°C	426,238	355,198	71,040
40°C	852,363	710,303	142,061
45°C	852,363	710,303	142,061
50°C	1279,080	710,600	568,480

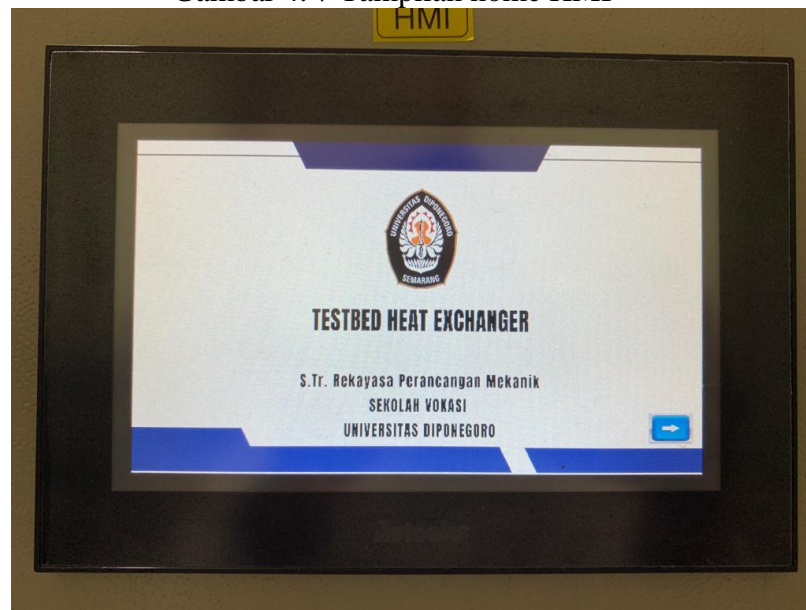
Berdasarkan data hasil kalkulasi pada tabel 4.1 diatas dapat diketahui kehilangan energi terbesar terjadi pada set point 50°C dengan nilai 568,480W, hal tersebut dikarenakan adanya perpindahan energidari sistem ke lingkungan.

4.3.4 Kinerja Sistem Otomasi *Shell and Coil Heat Exchanger*

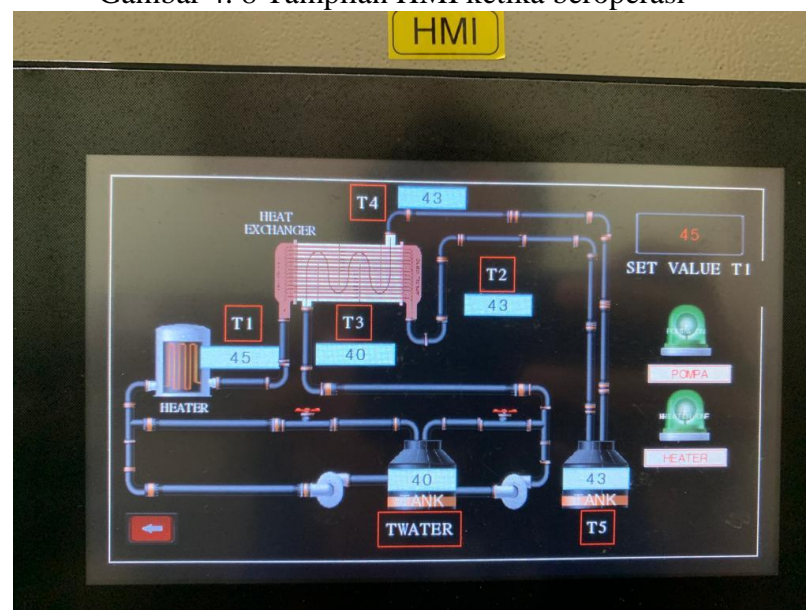
Pada hasil proyek Akhir ini terdapat beberapa parameter keberhasilan sistem otomasi diantaranya:

- a) Semua hasil pengukuran sensor termokopel dapat terbaca pada tampilan HMI seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.
- b) Pompa dapat dinyalakan dan dimatikan melalui HMI
- c) Ketika nilai T1 lebih tinggi dari *set value* maka PLC akan otomatis mematikan heater yang merupakan *output device* yang dikendalikan pada sistem otomasi proyek akhir ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.

Gambar 4. 7 Tampilan home HMI



Gambar 4. 8 Tampilan HMI ketika beroperasi



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang diperoleh maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Effectiveness* tertinggi terjadi pada setting point 35°C , 40°C ,45°C, dan terendah pada setting point 65°C
2. Harga koefisien perpindahan panas keseluruhan berada pada rentang 2166,333 W/m²°C hingga 1363,414 W/m²°C.
3. Kapasitas *heat exchanger* berada pada rentang 355,151W sampai 426,360W.
4. *Cooling tower* belum dapat menurunkan temperatur air keluaran *heat exchanger* kembali ke suhu ambient (30°C). hal ini dapat dilihat dari data hasil pengujian pada pembacaan temperatur air reservoir (T6) yang memiliki suhu hingga 45°C.
5. Terdapat selisih antara temperatur prediksi dengan temperatur aktual di *buffer tank*, selisih tertinggi pada *set point* 45°C dengan rata-rata 3,55°C dan terendah pada *set point* 65°C dengan rata-rata selisih 0°C. Selisih tertinggi terjadi dikarenakan adanya heat loss.
6. Pada *set point* 65°C memiliki trend mendekati grafik standar teori *effectiveness of a shell and tube heat exchanger with one shell and any multiple of two tube passes* namun pada *set point* 45°C dan *point* 55°C

terdapat anomali terhadap grafik standar yang diduga dikarenakan oleh sensitivitas pembacaan termokopel atau terdapat shock aliran ketika pengujian.

7. Semua hasil pengukuran sensor *thermocouple* dapat terbaca pada tampilan HMI, dan nilai pembacaan pada T1 yang digunakan sebagai acuan tidak melebihi dari *set point*, lalu untuk pengoperasian pompa juga dapat melalui HMI.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang diberikan untuk memaksimalkan kinerja dari *testbed shell and coil heat exchanger* kedepannya adalah:

1. Perlu dilakukan penggantian pada rangkaian instalasi pipa menggunakan pipa galvanis supaya lebih kuat terhadap temperatur tinggi.
2. Perlu dilakukan riset lebih mendalam terkait pendinginan air keluaran *heat exchanger* pada *cooling tower* agar temperatur air keluaran *heat exchanger* dapat diturunkan sesuai dengan target yang diharapkan.
3. Pada pengembangan alat selanjutnya disarankan menggunakan pengatur laju aliran otomatis.
4. Perlu dilakukan pembersihan secara berkala yang nantinya berguna untuk menjaga kestabilan *testbed Heat Exchanger*.

DAFTAR PUSTAKA

- Syahputra, K. A., Ferry R A Bukit, dan Suherman. 2022. *Perancangan HMI (Human Machine Interface) Sebagai Pengontrol dan Pendeteksi Dini Kerusakan Kapasitor Bank Berbasis PLC*. *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)* Vol. 3 (2): 101-108. e-ISSN: 2720-989X.
- Sangaji. C. S. 2014. *Perancangan Program, PLC Siemens S7-200 Untuk Kontrol Mesin Vertikal Boring Proyek PT. Boma Bisma Indra*. Sistem Komputer. Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya.
- Mubarroq, R. 2019. *Rancang Bangun Sistem Kendali Otomatis Silo Dengan Metode Sortasi Berdasarkan Jenis Kemasan Produk Menggunakan HMI-PLC*. Skripsi. Teknik Elektro. Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Khairuddin, H. I. 2018. *Rancang Bangun Heat Exchanger Tipe Shell and Tube*. Skripsi. Teknologi Instrumentasi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Pradana, G. A. 2015. *Rancang Bangun dan Evaluasi Performa Shell and Coil Heat Exchanger*. Skripsi. Universitas Diponegoro.
- Mujahid, U. I., dkk. 2017. *Studi Otomasi Dasar pada Sistem Miniplant Boiler dan Heat Exchanger serta Pengamatan Sistem Melalui HMI dan Database*. Teknik Fisika. Institut Teknologi Bandung.
- Putranto, A., dkk. 2008. *TEKNIK OTOMASI INDUSTRI SMK JILID 1*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- W. Bolton. 2006. *Programmable Logic Controllers*. 6th ed. Oxford: Elsevier Newnes.
- Frank, P. I., dkk. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6th ed. John Wiley & Sons. United States of America.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil pengujian *shell and tube heat exchanger*

Set Point	Coil			Shell			Tbt aktual	Twater
	Laju Alir (Lpm)	T1 (°C)	T2 (°C)	Laju Alir (Lpm)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)
35°C	6	37	36	5	35	36	36	35
40°C	6	40	38	5	36	38	38	35
45°C	6	45	43	5	41	43	43	41
50°C	6	50	47	5	45	47	47	45

Lampiran 2 Hasil Kalkulasi

Set Point	ΔT	Δt	ΔT_{max}	C_h (W/°C)	C_c (W/°C)	C_r	ϵ
35°C	1	1	2	426,238	355,198	0,833	0,5000
40°C	2	2	4	426,182	355,151	0,833	0,5000
45°C	2	2	4	426,182	355,151	0,833	0,5000
50°C	3	2	5	426,360	355,300	0,833	0,4000

Set Point	F	ϵ_1	E	NTU	U	q_h	q_c
35°C	1,17	0,5	1,66448	2,353177	2166,333	426,238	355,198
40°C	1,17	0,5	1,66448	2,353177	2166,048	852,363	710,303
45°C	1,17	0,5	1,66448	2,353177	2166,048	852,363	710,303
50°C	1,11	0,4	2,43270	1,480582	1363,414	1279,080	710,600

Set Point	TBT kalkulasi	TBT Aktual	Selisih Tbt akt-Tbt kal	% Δ TBT
35°C	36,0	36	0	0
40°C	38,0	38	0	0
45°C	43,0	43	0	0
50°C	47,0	47	0	0

Lampiran 3 Tabel *thermophysical properties of saturated water*

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water^a

Temperature, T (K)	Pressure, p (bars) ^b	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vaporization, h_{fg} (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Expansion Coefficient, $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temperature, T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2	430	430

Lampiran 4 Data geometri *heat exchanger*

DATA GEOMETRI HEAT EXCHANGER				
No	Deskripsi	Notasi	Nilai	Satuan
1	Diameter <i>Inside Shell</i>	Ds	254	mm
2	Diameter <i>Outside Coil Pipe</i>	Dt o	11	mm
3	Diameter <i>Inside Coil Pipe</i>	Dt i	9	mm
4	Panjang <i>Coil</i>	Lti	14700	mm
5	Luas Perpindahan Kalor	A	0,463	m ²
6	luas penampang <i>inside coil</i>	A	0,00006	m ³
7	Luas penampang <i>inside shell</i>	A	0,0506	m ⁴

Lampiran 5 *Heat exchanger* sebelum dimodifikasi

Lampiran 6 Pemasangan Instalasi pipa



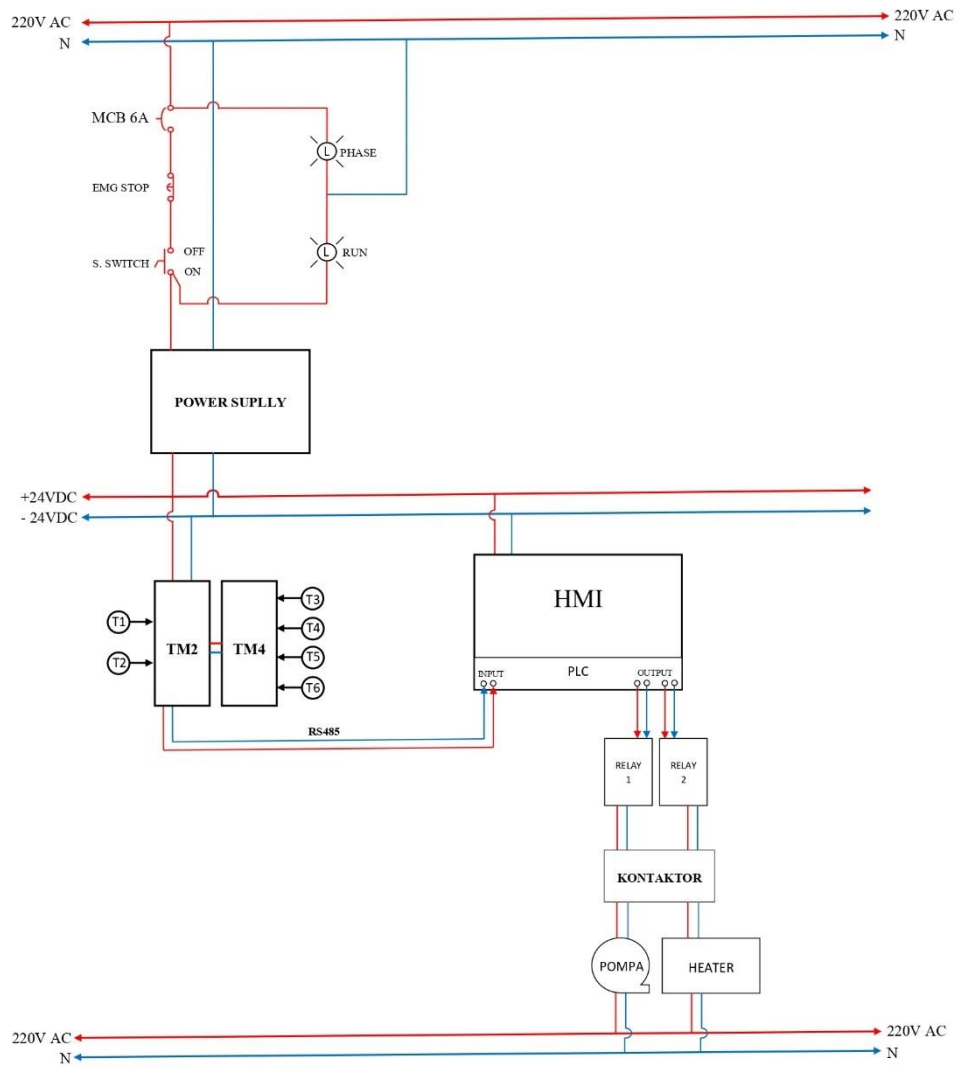
Lampiran 7 Modifikasi Reservoir



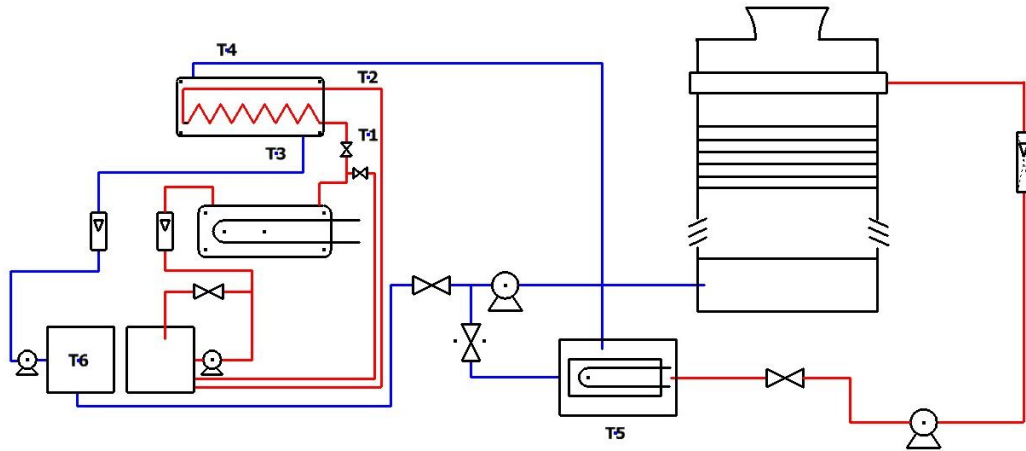
Lampiran 8 Pemasang Komponen dan Instalasi Kelistrikan



Lampiran 9 Wiring sistem otomasi



Lampiran 10 Saran Diagram Alir Proses Modifikasi Selanjutnya



Lampiran 11 Saran Diagram Alir Proses Modifikasi Selanjutnya

