



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**DESAIN DIAGRAM LADDER DENGAN METODE CASCADE  
UNTUK LOGIC SEQUENCE TURBINE GENERATOR PADA  
PLTU**

Azrizal Akbar  
NRP 07111745000056

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Mochammad Rameli  
Eka Iskandar, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**FINAL PROJECT - EE 184801**

**LADDER DIAGRAM DESIGN USING CASCADE METHOD FOR  
LOGIC SEQUENCE OF TURBINE GENERATOR ON STEAM  
POWER PLANT**

Azrizal Akbar  
NRP 07111745000056

*Supervisor*  
Dr. Ir. Mochammad Rameli  
Eka Iskandar, S.T., M.T.

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT**  
*Faculty of Electrical Technology*  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Desain Diagram Ladder dengan Metode Cascade untuk Logic Sequence Turbine Generator pada PLTU**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 18 Juni 2019



Azrizal Akbar  
NRP 07111745000056

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**DESAIN DIAGRAM LADDER DENGAN METODE CASCADE  
UNTUK LOGIC SEQUENCE TURBINE GENERATOR PADA PLTU**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Mohammad Rameli  
NIP. 195412271981031002

Eka Iskandar, ST., MT.  
NIP. 198005282008121001

**SURABAYA**  
**JUNI, 2019**



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**DESAIN DIAGRAM LADDER DENGAN METODE CASCADE  
UNTUK *LOGIC SEQUENCE TURBINE GENERATOR* PADA PLTU**

**Nama Mahasiswa** : Azrizal Akbar  
**Pembimbing 1** : Dr. Ir. Mochammad Rameli  
**Pembimbing 2** : Eka Iskandar, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

PLTU merupakan pembangkit listrik terbanyak dan penyedia listrik terbesar yang ada di Indonesia. Terdapat 4 subsistem utama agar PLTU dapat bekerja dengan baik, salah satunya adalah proses konversi energi yang terletak pada *turbine generator*. Proses konversi energi kinetik yang didapatkan dari *boiler* yang dipanaskan kembali melalui *superheater*. Sehingga menghasilkan uap panas yang kering lalu akan memutar turbin yang sebelumnya telah dikopel dengan generator. Generator tersebut akan menghasilkan energi listrik. Banyak PLTU yang belum menggunakan sistem otomasi didalamnya. Untuk menjalankan sistem secara otomatis pada proses PLTU, diperlukan *programmable logic controller* (PLC). Diagram *ladder* merupakan salah satu metode untuk memprogram PLC. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengkonstruksi diagram *ladder*, salah satunya adalah metode cascade. Pada Tugas Akhir ini dibuat desain diagram ladder pada subsistem konversi energi pada PLTU. Hasil yang didapatkan dari tugas akhir ini adalah konstruksi diagram *ladder* didapatkan diagram *ladder* sebanyak 67 *rung* yang terdiri dari 17 *rung* input, 33 *rung* proses dan 17 *rung* output. Pada *rung* proses terdapat 3 buah *timer* dan 79 *flag* atau memori yang digunakan. Rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam 10 kali percobaan adalah 1 menit 18 detik.

**Kata Kunci : PLTU, PLC, Ladder, Otomasi, Cascade**

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**LADDER DIAGRAM DESIGN WITH CASCADE METHOD FOR  
LOGIC SEQUENCE OF TURBINE GENERATOR ON STEAM POWER  
PLANT**

**Student's Name**

**: Azrizal Akbar**

**Supervisor 1**

**: Dr. Ir. Mochammad Rameli**

**Supervisor 2**

**: Eka Iskandar, S.T., M.T.**

**ABSTRACT**

PLTU is the largest power plant and the largest electricity provider in Indonesia. There are 4 main subsystems so that the PLTU can work properly, one of which is the energy conversion process located in the turbine generator. The process of converting kinetic energy obtained from a boiler heated back through superheater. So that it produces dry steam and then rotates the turbine that has previously been coupled with a generator. The generator will produce electrical energy. Many PLTU have not used the automation system in it. To run the system automatically in the power plant process, a programmable logic controller (PLC) is required. The ladder diagram is one method for programming the PLC. There are several methods that can be used to construct a ladder diagram, one of which is the cascade method. In this Final Project a ladder diagram design for the energy conversion subsystem is made in the power plant. The results obtained from this final project are construction of a ladder diagram with 67 ladder diagrams consisting of 17 input stages, 33 process steps and 17 output rung. In the process process there are 3 timer and 79 flags or memory used. The average time needed in 10 trials is 1 minute 18 seconds.

**Keywords : Steam Power Plant, PLC, Ladder, Automation, Cascade**

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

**DESAIN DIAGRAM LADDER DENGAN METODE CASCADE  
UNTUK LOGIC SEQUENCE TURBINE GENERATOR PADA  
PLTU**

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan desain program dengan bahasa pemrograman ladder diagram dengan metode cascade pada *Programmable Logic Controller* yang akan digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu dan Bapak penulis yang memberikan berbagai bentuk doa serta dukungan tulus tiada henti, Bapak Dr. Ir. Mochammad Rameli dan Bapak Eka Iskandar, ST., MT. atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaiannya Tugas Akhir ini, Orang Tua, keluarga, teman yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungannya kepada penulis Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, 18 Juni 2019

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR ISI

HALAMAN

I HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vii
ABSTRAK .....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxiii
 BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika .....	4
1.7 Relevansi atau Manfaat .....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap[2] .....	5
2.1.1 <i>Turning Gear</i> [6] .....	7
2.1.2 <i>Drain Valve/ Turbine Drain Valve</i> .....	7
2.1.3 <i>Vent Valve</i> .....	8
2.1.4 <i>Steam Drum Valve</i> .....	8
2.1.5 <i>Main Stop Valve</i> .....	8
2.1.6 <i>Auxiliary Steam Turbine Valve</i> .....	9
2.1.7 <i>Reheat Stop Valve dan Interceptor Control Valve</i> .....	9
2.1.8 <i>Governor Valve</i> .....	9
2.1.9 <i>Boiler Feed Pump</i> .....	9
2.2 <i>Programmable Logic Controller</i> [1] .....	10
2.2.1 Bagian Bagian PLC .....	11
2.2.2 Bahasa Pemrograman PLC[4] .....	12
2.2.3 Pemrograman PLC .....	13
2.3 Metode Cascade[3][5] .....	13
2.3.1 Aturan Metode Cascade .....	14

2.3.2 Cara Pembagian Grup .....	14
2.3.3 Langkah-Langkah Perancangan .....	15
2.4 <i>Human Machine Interface (HMI)</i> .....	16
<b>BAB III PERANCANGAN SISTEM.....</b>	<b>17</b>
3.1 Perumusan Sistem Konversi Energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	17
3.1.1 I/O Sistem .....	17
3.1.2 Langkah Kerja/ Urutan Kerja.....	20
3.2 Perancangan Sistem dengan Metode Cascade .....	22
3.2.1 Inialisasi Aksi <i>Output</i> .....	23
3.2.2 Pembagian Grup.....	24
3.2.3 Perancangan <i>Switching Function</i> .....	25
3.3 Pemrograman <i>Ladder Diagram</i> .....	29
3.3.1 Pengalamatan Komponen .....	30
3.3.2 Konversi <i>Switching Function</i> ke <i>Ladder Diagram</i> .....	34
3.4 Pembuatan Modul <i>Input</i> .....	47
3.4.1 Desain Modul.....	47
3.4.2 <i>Wiring</i> .....	47
3.5 Perancangan HMI .....	48
<b>BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA.....</b>	<b>53</b>
4.1 Proses Pengujian .....	53
4.2 Uji Sistem .....	53
4.2.1 <i>Sequence 1</i> .....	54
4.2.2 <i>Sequence 2</i> .....	55
4.2.3 <i>Sequence 3</i> .....	56
4.2.4 <i>Sequence 4</i> .....	58
4.2.5 <i>Sequence 5</i> .....	59
4.2.6 <i>Sequence 6</i> .....	60
4.2.7 <i>Sequence 7</i> .....	62
4.2.8 <i>Sequence 8</i> .....	63
4.2.9 <i>Sequence 9</i> .....	64
4.2.10 <i>Sequence 10</i> .....	65
4.2.11 <i>Sequence 11</i> .....	67
4.2.12 <i>Sequence 12</i> .....	68
4.2.13 <i>Sequence 13</i> .....	68
4.2.14 <i>Sequence 14</i> .....	69
4.2.15 <i>Sequence 15</i> .....	70
4.2.16 <i>Sequence 16</i> .....	71

4.2.17 <i>Sequence</i> 17 .....	73
4.3 Pengujian dari <i>Timing Chart</i> Sistem .....	74
4.4 Pengujian Sistem Keseluruhan .....	78
4.5 Analisa Hasil .....	79
BAB V PENUTUP .....	81
5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran .....	81
DAFTAR PUSTAKA .....	83
LAMPIRAN A .....	85
A.1 Lampiran Program <i>Ladder Diagram</i> .....	85
A.2 Lampiran Program HMI .....	91
A.3 Lampiran Program FluidSIM .....	95
LAMPIRAN B .....	99
B.1 Dokumentasi .....	99
Riwayat Hidup .....	101

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2.1	Pembangkit Listrik Tenaga Uap .....	5
Gambar 2.2	Bagian <i>Turbine Generator</i> pada PLTU.....	8
Gambar 2.3	Bagian <i>Boiler</i> pada PLTU.....	10
Gambar 2.4	PLC Omron CP1E .....	11
Gambar 2.5	<i>Software Cx-Programmer</i> .....	13
Gambar 2.6	<i>Pneumatic double acting silinder</i> .....	15
Gambar 2.7	<i>Software Cx-Designer</i> .....	16
Gambar 3.1	Keseluruhan Kerja Sistem.....	17
Gambar 3.2	<i>Ladder Input</i> .....	35
Gambar 3.3	<i>Ladder Ouput</i> .....	35
Gambar 3.4	<i>Ladder Diagram CR1</i> .....	36
Gambar 3.5	<i>Ladder Diagram A+</i> .....	36
Gambar 3.6	<i>Ladder Diagram B+</i> .....	36
Gambar 3.7	<i>Ladder Diagram C</i> .....	37
Gambar 3.8	<i>Ladder Diagram D+</i> .....	37
Gambar 3.9	<i>Ladder Diagram E+</i> .....	37
Gambar 3.10	<i>Ladder Diagram F+</i> .....	38
Gambar 3.11	<i>Ladder Diagram G+</i> .....	38
Gambar 3.12	<i>Ladder Diagram CR2</i> .....	38
Gambar 3.13	<i>Ladder Diagram G-</i> .....	39
Gambar 3.14	<i>Ladder Diagram D-</i> .....	39
Gambar 3.15	<i>Ladder Diagram H+</i> .....	39
Gambar 3.16	<i>Ladder Diagram I</i> .....	40
Gambar 3.17	<i>Ladder Diagram J</i> .....	40
Gambar 3.18	<i>Ladder Diagram K+</i> .....	40
Gambar 3.19	<i>Ladder Diagram L</i> .....	41
Gambar 3.20	<i>Ladder Diagram M</i> .....	41
Gambar 3.21	<i>Ladder Diagram A-</i> .....	41
Gambar 3.22	<i>Ladder Diagram CR3</i> .....	42
Gambar 3.23	<i>Ladder Diagram H-</i> .....	42
Gambar 3.24	<i>Ladder Diagram TIMER 1</i> .....	42
Gambar 3.25	<i>Ladder Diagram CR4</i> .....	43
Gambar 3.26	<i>Ladder Diagram K-</i> .....	43
Gambar 3.27	<i>Ladder Diagram N</i> .....	43
Gambar 3.28	<i>Ladder Diagram O</i> .....	43
Gambar 3.29	<i>Ladder Diagram P</i> .....	44

Gambar 3.30	<i>Ladder Diagram TIMER 2</i> .....	44
Gambar 3.31	<i>Ladder Diagram B-</i> .....	44
Gambar 3.32	<i>Ladder Diagram E-</i> .....	45
Gambar 3.33	<i>Ladder Diagram F-</i> .....	45
Gambar 3.34	<i>Ladder Diagram TIMER 3</i> .....	46
Gambar 3.35	<i>Ladder Diagram Q</i> .....	46
Gambar 3.36	<i>Ladder Diagram R</i> .....	46
Gambar 3.37	<i>Ladder Diagram P-</i> .....	47
Gambar 3.38	<i>Modul Input Toggle</i> .....	47
Gambar 3.39	<i>Wiring antara PLC dan Modul Input</i> .....	48
Gambar 3.40	Pengalamatan pada Modul <i>Input</i> .....	48
Gambar 3.41	Halaman Utama HMI .....	49
Gambar 3.42	Halaman Kedua HMI.....	49
Gambar 3.43	Halaman Ketiga HMI .....	50
Gambar 3.44	Halaman Keempat HMI.....	50
Gambar 3.45	Halaman Kelima HMI .....	51
Gambar 4.1	Interkoneksi PLC, HMI, <i>Toggle</i> , <i>Power Supply</i> .....	53
Gambar 4.2	Tampilan HMI Ketika Sistem Belum Berjalan.....	54
Gambar 4.3	Tampilan HMI <i>Sequence 1</i> .....	55
Gambar 4.4	Modul <i>Input Sequence 2</i> .....	56
Gambar 4.5	Tampilan HMI <i>Sequence 2</i> .....	56
Gambar 4.6	Modul <i>Input Sequence 3</i> .....	57
Gambar 4.7	Tampilan HMI <i>Sequence 3</i> .....	58
Gambar 4.8	Modul <i>Input Sequence 4</i> .....	59
Gambar 4.9	Tampilan HMI <i>Sequence 4</i> .....	59
Gambar 4.10	Modul <i>Input Sequence 5</i> .....	60
Gambar 4.11	Tampilan HMI <i>Sequence 5</i> .....	60
Gambar 4.12	Modul <i>Input Sequence 6</i> .....	61
Gambar 4.13	Tampilan HMI <i>Sequence 6</i> .....	61
Gambar 4.14	Modul <i>Input Sequence 7</i> .....	62
Gambar 4.15	Tampilan HMI <i>Sequence 7</i> .....	63
Gambar 4.16	Modul <i>Input Sequence 8</i> .....	63
Gambar 4.17	Tampilan HMI <i>Sequence 8</i> .....	64
Gambar 4.18	Modul <i>Input Sequence 9</i> .....	65
Gambar 4.19	Tampilan HMI <i>Sequence 9</i> .....	65
Gambar 4.20	Modul <i>Input Sequence 10</i> .....	66
Gambar 4.21	Tampilan HMI <i>Sequence 10</i> .....	66
Gambar 4.22	Modul <i>Input Sequence 11</i> .....	67
Gambar 4.23	Tampilan HMI <i>Sequence 11</i> .....	67

Gambar 4.24	Tampilan HMI <i>Sequence</i> 12 .....	68
Gambar 4.25	Modul <i>Input Sequence</i> 13 .....	69
Gambar 4.26	Tampilan HMI <i>Sequence</i> 13 .....	69
Gambar 4.27	Modul <i>Input Sequence</i> 14 .....	70
Gambar 4.28	Tampilan HMI <i>Sequence</i> 14 .....	70
Gambar 4.29	Modul <i>Input Sequence</i> 15 .....	71
Gambar 4.30	Tampilan HMI <i>Sequence</i> 15 .....	71
Gambar 4.31	Modul <i>Input Sequence</i> 16 .....	72
Gambar 4.32	Tampilan HMI <i>Sequence</i> 16 .....	72
Gambar 4.33	Modul <i>Input Sequence</i> 17 .....	73
Gambar 4.34	Tampilan HMI <i>Sequence</i> 17 .....	74
Gambar 4.35	<i>Timing Chart</i> 1 .....	74
Gambar 4.36	<i>Timing Chart</i> 2 .....	75
Gambar 4.37	<i>Timing Chart</i> 3 .....	75
Gambar 4.38	<i>Timing Chart</i> 4 .....	75
Gambar 4.39	<i>Timing Chart</i> 5 .....	76
Gambar 4.40	<i>Timing Chart</i> 6 .....	76
Gambar 4.41	<i>Timing Chart</i> 7 .....	77
Gambar 4.42	<i>Timing Chart</i> 8 .....	77

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 2.1	Daftar Alamat I/O PLC Omron CP1E .....	12
Tabel 3.1	<i>Input</i> Sistem.....	18
Tabel 3.2	<i>Output</i> Sistem .....	19
Tabel 3.3	Urutan Kerja Sistem.....	21
Tabel 3.4	Inisialisasi Aksi <i>Output</i> Sistem.....	23
Tabel 3.5	Alamat Komponen ke Pin <i>Input</i> PLC .....	30
Tabel 3.6	Alamat Pin <i>Input</i> PLC ke <i>memory</i> .....	31
Tabel 3.7	Alamat <i>Memory</i> ke Pin <i>Output</i> PLC .....	32
Tabel 3.8	Alamat Pin <i>Ouput</i> PLC ke Aktuator .....	33
Tabel 4.1	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 1 .....	54
Tabel 4.2	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 2 .....	55
Tabel 4.3	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 3 .....	57
Tabel 4.4	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 4 .....	58
Tabel 4.5	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 5 .....	59
Tabel 4.6	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 6 .....	61
Tabel 4.7	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 7 .....	62
Tabel 4.8	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 8 .....	63
Tabel 4.9	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 9 .....	64
Tabel 4.10	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 10 .....	65
Tabel 4.11	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 11 .....	67
Tabel 4.12	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 12 .....	68
Tabel 4.13	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 13 .....	68
Tabel 4.14	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 14 .....	69
Tabel 4.15	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 15 .....	71
Tabel 4.16	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 16 .....	72
Tabel 4.17	Perubahan Warna <i>Output</i> Sistem <i>Sequence</i> 17 .....	73
Tabel 4.18	Pengujian Sistem Keseluruhan.....	78
Tabel 4.19	Pengujian Sistem 10 kali.....	79

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik adalah suatu alat yang dapat membangkitkan dan memproduksi tegangan listrik dengan cara mengubah suatu energi tertentu menjadi energi listrik. Selain itu, pembangkit listrik bisa disebut juga dengan semua mesin yang mengubah tenaga gerak, cahaya, dan minyak bumi atau benda kimia lainnya menjadi tenaga listrik. Pembangkit listrik telah menjadi salah satu kebutuhan primer manusia karena kehidupan manusia pada zaman modern ini sangat tergantung dengan listrik. Beberapa contoh jenis pembangkit tenaga listrik yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dan lainnya. Bagian utama dari pembangkit listrik ini adalah generator, yakni mesin berputar yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin generator ini diaktifkan dengan menggunakan berbagai sumber energi yang sangat bermanfaat dalam suatu pembangkit listrik.

Pada statistik Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2017, PLTU merupakan pembangkit listrik terbanyak dan penyedia listrik terbesar yang ada di Indonesia. PLTU adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator dengan turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering.

Pada prinsip *start-up* PLTU, terdapat 3 macam jenis *start* yaitu *start* seporos dingin (*cold start*), *start* hangat (*warm start*) dan *start* panas (*hot start*). Saat ingin menjalankan PLTU, terlebih dahulu harus ditentukan jenis *start* apa yang akan dilaksanakan. Lalu terdapat beberapa langkah proses melakukan *start-up* PLTU sehingga PLTU dapat menghasilkan listrik, pada tiap langkah tersebut banyak aturan aturan yang harus terpenuhi untuk dapat melanjutkan ke langkah berikutnya. Proses produksi tersebut berasal dari pengolahan air laut sebagai air umpan *boiler* hingga menjadi *steam* yang dapat menggerakkan turbin, di mana poros turbin dikoppel dengan generator. Ketika telah menjadi

putaran nominal pada rotor generator maka generator tersebut akan membangkitkan tenaga listrik.

Semua proses tersebut membutuhkan waktu, perhatian yang lebih dan membutuhkan banyak sumber daya manusia agar tidak terjadi kesalahan kesalahan yang dapat menyebabkan bahaya ataupun kegagalan proses *start-up* PLTU. Untuk mempermudah semua proses *start-up* PLTU maka dibuat sistem otomasi untuk menjalankan proses *start-up* PLTU. Pada awalnya sistem otomasi masih menggunakan *relay* elektromekanik yang dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat menjalankan sistem tersebut. Tapi penggunaan rangkaian *relay* banyak memiliki kekurangan seperti *relay* mudah rusak, jika terdapat perubahan sistem kita harus merubah rangkaian tersebut. Dari sekian banyak sistem otomasi yang telah ada, sistem otomasi yang paling umum digunakan di industri adalah PLC (*Programmable Logic Controller*), karena jika dibandingkan dengan mikrokontroler dan mikroprosesor, PLC memiliki beberapa keunggulan yang dibutuhkan untuk industri. Keunggulan PLC yaitu memiliki jumlah *input* dan *output* yang banyak, lebih handal, dan bentuk lebih ringkas.

## 1.2 Permasalahan

Pada proses *start-up* konversi energi pada PLTU akan melalui banyak tahapan (*sequence*) yang cukup kompleks. Jika melakukan pemrograman langsung dari urutan tersebut akan menjadikan program yang dibuat tidak sistematis, sehingga akan sulit ketika akan melakukan *troubleshooting* atau perubahan urutan pada program. Oleh karena itu untuk menghindari kesulitan tersebut dan untuk mempermudah dalam pembuatan program, digunakanlah metode untuk konstruksi bahasa pemrograman PLC yaitu konstruksi *Ladder Diagram*. Pada konstruksi *Ladder Diagram* terdapat berbagai macam metode yang dapat digunakan untuk merancang dan menganalisis *Ladder Diagram*.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah melakukan desain *Ladder Diagram* dengan metode *Cascade* untuk *logic sequence* dari pembangkit listrik tenaga uap, kemudian mengimplementasikan hasil dari pemodelan tersebut pada konstruksi *Ladder Diagram*. Diharapkan hasil konstruksi *Ladder Diagram* dapat mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap sesuai dengan fungsinya setelah diimplementasikan pada PLC.

## **1.4 Batasan Masalah**

Dari permasalahan tersebut, batasan masalah dalam sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap yang dibuat adalah:

1. Hanya membahas mengenai proses starting PLTU
2. Proses starting yang dibahas mengenai konversi energi pada PLTU
3. Proses pada subsistem pada PLTU ini tidak dijelaskan secara detail karena data yang didapat dan rahasia perusahaan.
4. Proses konstruksi *Ladder Diagram* hanya menggunakan metode Cascade dan tidak dibandingkan dengan metode lainnya.
5. Tidak membahas prinsip kerja masing-masing perangkat secara detail.

## **1.5 Metodologi**

Pada penggeraan Tugas Akhir, hal pertama yang dilakukan adalah mempelajari mengenai program PLC yang sesuai dengan merek PLC yang digunakan. Hal yang dipelajari berupa *set-up* PLC dan fungsi fungsi dari *Ladder Diagram* yang ada. Lalu dipelajari mengenai metode *Cascade* untuk merancang *Ladder Diagram* pada PLC. Setelah itu dilakukan pengumpulan data mengenai cara kerja dari proses *start-up* di PLTU, yaitu apa saja tahapan yang dilalui, ketentuan apa saja yang harus dipenuhi, dan komponen instrumen *input-output* apa saja yang digunakan. Setelah semua itu dipelajari lalu teori tersebut mulai diterapkan, metode *Cascade* dengan komponen *input-output* tertentu dan syarat tertentu dirancang dengan metode *Cascade* lalu setelah selesai maka hasil rancangan tersebut akan dituangkan ke dalam bahasa pemrograman PLC yaitu *Ladder Diagram*. Selanjutnya dilakukan pengujian berupa simulasi pada program PLC yang digunakan terhadap program *Ladder Diagram* yang telah dibuat sebelumnya dan dilakukan analisa dari hasil pengujian yang telah dilakukan apakah hasil desain *Ladder Diagram* sudah sesuai dengan yang diinginkan atau masih terdapat ketidaksesuaian. Lalu setelah semua sudah sesuai dengan apa yang telah dirancang maka hasil *Ladder Diagram* tersebut akan diimplementasikan pada *Human Machine Interface* (HMI), karena keterbatasan dari *real plant* yang tidak mungkin disediakan. Setelah diimplementasikan maka akan dilakukan uji coba kembali melalui HMI yang telah dibuat, jika terdapat ketidaksesuaian dari rancangan awal maka akan dilakukan analisa sampai sistem berjalan dengan baik. Semua hal itu dituliskan kedalam buku Tugas Akhir terkait

hasil proses Tugas Akhir yang telah dilakukan. Penyusunan buku Tugas Akhir dilakukan sebagai bentuk laporan tertulis dari proses dan hasil kerja terkait topik yang diusulkan.

### **1.6 Sistematika**

Pembahasan tugas akhir ini akan dibagi menjadi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut:

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan, sistematika laporan, serta relevansi tugas akhir yang dibuat.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan teori yang berisi teori-teori penunjang yang dijadikan landasan prinsip dasar dan mendukung dalam perencanaan, diantaranya adalah teori pemodelan metode *Cascade*, teori Pembangkit Listrik Tenaga Uap, teori otomasi sistem mengenai pemrograman *Ladder Diagram* pada PLC, teori HMI.

#### **BAB III : PERANCANGAN SISTEM**

Bab ini membahas perancangan sistem yang membahas mengenai perancangan langkah Pembangkit Listrik Tenaga Uap, pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan metode *Cascade*, perancangan *Ladder Diagram* yang akan membantu memahami setiap tahapan aksi atau *event* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap.

#### **BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA**

Bab ini membahas pengujian sistem dan menganalisa data yang didapat dari perancangan sistem yang berupa hasil konstruksi *Ladder Diagram*.

#### **BAB V : PENUTUP**

Bab ini berisi penutup yang menjelaskan tentang kesimpulan yang didapat dari tugas akhir ini dan saran-saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

### **1.7 Relevansi atau Manfaat**

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan menjadi referensi pada implementasi pada proses *start-up* konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap dan pengembangan sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

## BAB II

## TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap[2]

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar seperti: gas (LNG, PLG maupun gas lainnya), minyak (minyak ringan hingga minyak berat), batu bara (berkualitas tinggi hingga rendah), MFO, biomass lainnya (bahan lain yang bisa dibakar). Pada Gambar 2.1 merupakan pembangkit listrik tenaga uap



**Gambar 2.1** Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Proses produksi pada PLTU untuk menghasilkan listrik merupakan proses yang panjang yang berasal dari pengolahan air laut sebagai air umpan boiler hingga menjadi *steam* yang dapat menggerakkan turbin, dimana poros turbin dikopel dengan generator. Ketika telah menjadi putaran nominal pada rotor generator maka generator tersebut akan membangkitkan tenaga listrik.

Pada pembangkit listrik tenaga uap dibagi menjadi beberapa sub sistem, terdapat 4 sub sistem yang utama agar pembangkit listrik tenaga

uap ini dapat bekerja. 4 sub sistem tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

1. *Feed Water*
2. *Fuel Handling*
3. Konversi energi
4. *Lubricating and Sealing*

Pada tugas akhir ini akan membahas mengenai sub sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap. Proses konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap adalah proses dimana konversi energi kinetik menjadi energi listrik berlangsung. Hasil pengolahan air laut dirubah menjadi uap oleh *boiler* lalu melewati beberapa tahap pemanasan kembali agar memastikan uap tersebut menjadi uap kering, uap kering tersebut akan dihembuskan ke turbin yang mana turbin tersebut akan dikopel dengan generator sehingga ketika hembusan uap kering tersebut memutar turbin juga memutar generator sehingga generator dapat menghasilkan listrik.

Proses pembangkitan listrik di generator dimulai ketika *turning gear* aktif, ketika uap hasil pembakaran dari *boiler* mengalir ke *steam drum* maka *vent valve* dan *steam drum valve* akan menutup untuk menjaga tekanan didalam *steam drum*, dan *boiler circulating water feed pump* menyala. *Drain valve* pada turbin terbuka untuk memastikan tidak ada air sisanya kondensasi dari uap ketika proses pembangkitan listrik sebelumnya. Ketika tekanan pada *steam drum* mencapai 7kg/cm<sup>2</sup> maka *boiler circulating water feed pump* akan mati dan *steam drum valve* akan terbuka sehingga uap tersebut akan mengalir ke *primary superheater*, dan dipanaskan kembali melalui *secondary superheater*. Ketika tidak terdapat getaran dan gesekan yang berlebih antara rotor dan stator maka *main stop valve* akan terbuka dilanjutkan dengan *auxiliary steam high pressure turbine valve* dan *interceptor control valve* terbuka.

Ketika *governor valve* terbuka penuh uap dari *secondary superheater* akan mengalirkan menuju *high pressure turbine* sehingga akan menggerakkan baling baling. Uap yang keluar dari *high pressure turbine* akan dipanaskan kembali melalui *reheater* sampai suhu mencapai 568C sehingga membuka *reheat stop valve* dan *auxiliary low pressure turbine valve* sehingga uap dapat mengalir melalui *interceptor control valve* menuju *intermediate pressure turbine*. Ketika kecepatan turbin mencapai 5rpm maka *turning gear* dimatikan dan ketika kecepatan mencapai 400rpm *main stop valve* akan menutup selama 20 menit untuk periode *rub check* lalu akan membuka kembali. Uap dari *intermediate*

*pressure turbine* akan dilirik menuju *low pressure turbine* lalu uap tersebut akan dialirkan ke *condenser*.

Ketika putaran turbin mencapai 2800rpm *governor valve* akan berubah menjadi bukaan minimum dan ketika putaran turbin mencapai 3000rpm maka pemutus tenaga sistem eksitasi generator akan menutup dan mengaktifkan *cooling system transformator*. Naikkan arus eksitasi sampai tegangan generator mencapai 27kV. Lalu mengatur putaran turbin agar frekuensi dan sudut fasa tegangan sesuai dengan sistem. Ketika frekuensi dan sudut fasa sudah sesuai maka pemutus tenaga ditutup. Tambahkan beban hingga mencapai 3 MW dan ditahan selama 30 menit lalu tutup *drain valve* 1, ketika mencapai 10 MW tutup *drain valve* 2, ketika mencapai 20 MW tutup *turbine drain valve*, ketika mencapai 25 MW tahan selama 2 jam untuk memastikan sistem stabil, ketika mencapai 45 MW aktifkan *boiler feed pump* yang kedua. Listrik keluaran generator akan dialirkan menuju *transformator*. Ketika rasio sistem mendeteksi ketidaksamaan maka akan mengaktifkan *protection relay* sebagai pengaman. Berbagai jenis aktuator pada sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap tersebut akan dijelaskan lebih lanjut setelah ini.

### **2.1.1    *Turning Gear*[6]**

Motor yang dihubungkan dengan poros turbin dan berfungsi memutar poros turbin. Pada saat terjadi *black out*, suhu metal rotor turbin masih sangat tinggi, apabila rotor turbin langsung berhenti maka akan terjadi lendutan pada rotor sehingga rotor menjadi bengkok dan tidak lurus lagi. Untuk mengatasi hal itu, rotor harus tetap diputar pada kecepatan 3 rpm secara terus menerus sampai sebelum berhenti total. Begitu pula pada saat starting, sebelum turbin diputar dengan uap, turbin harus diputar dulu dengan *turning gear*.

### **2.1.2    *Drain Valve/ Turbine Drain Valve***

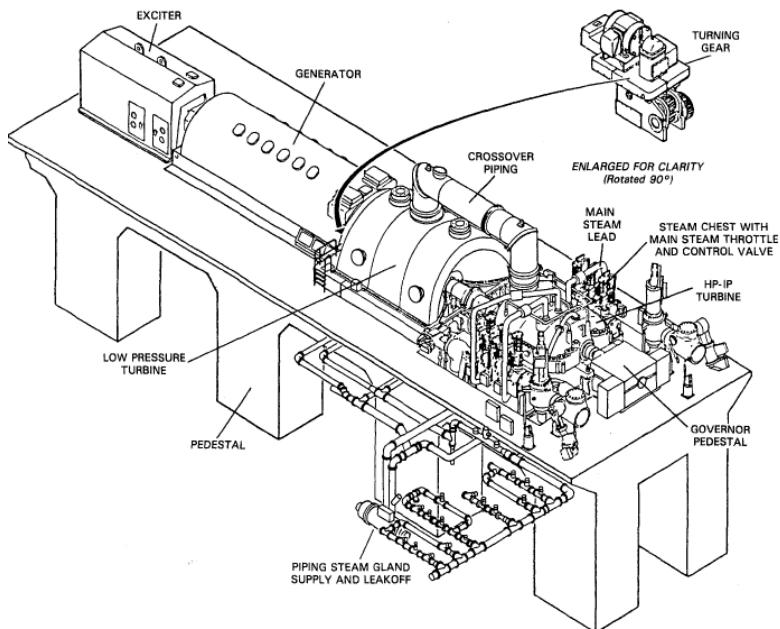
*Drain valve* dan *turbine drain valve* merupakan katup untuk membuang sisa air yang terdapat pada turbin. Air yang terdapat pada turbin jika tidak dikeluarkan dapat merusak sudu-sudu dari turbin. Untuk mendapat tekanan yang lebih maka ketika proses *start-up* maka *drain valve* dan *turbine drain valve* akan menutup sehingga turbin dapat berputar lebih cepat karena tekanan yang dihasilkan.

### **2.1.3 Vent Valve**

*Vent valve* merupakan sebuah perangkat yang dipasang pada titik tertinggi pada *steam drum*. *Vent valve* digunakan untuk membuang udara pada *steam drum* dan untuk memastikan *steam drum* kosong. *Vent valve* juga digunakan untuk membuang tekanan berlebih pada *steam drum*.

### **2.1.4 Steam Drum Valve**

*Steam drum valve* adalah katup untuk mengalirkan uap panas ke *superheater*. Katup akan terbuka ketika tekanan didalam *steam drum* telah mencapai  $7\text{kg}/\text{cm}^2$ .



**Gambar 2.2** Bagian *Turbine Generator* pada PLTU

### **2.1.5 Main Stop Valve**

*Main stop valve* merupakan katup utama yang berada di dalam turbin dan berguna untuk mengalirkan atau menutup aliran uap yang masuk ke dalam turbin. *Main stop valve* mengalirkan uap panas yang kering dari *steam drum* yang dipanaskan kembali melalui *superheater* untuk memastikan uap benar-benar kering,

### **2.1.6    *Auxiliary Steam Turbine Valve***

*Auxiliary steam* adalah uap pembantu yang terdapat dalam operasi pembangkit listrik tenaga uap. Dimana *Auxiliary Steam* diperoleh dari uap sisa pengoperasian pembangkit listrik tenaga uap. Uap sisa yang diberikan dari boiler disalurkan dari dua saluran pada turbin uap dari *high pressure turbine* dan *low pressure turbine*.

### **2.1.7    *Reheat Stop Valve dan Interceptor Control Valve***

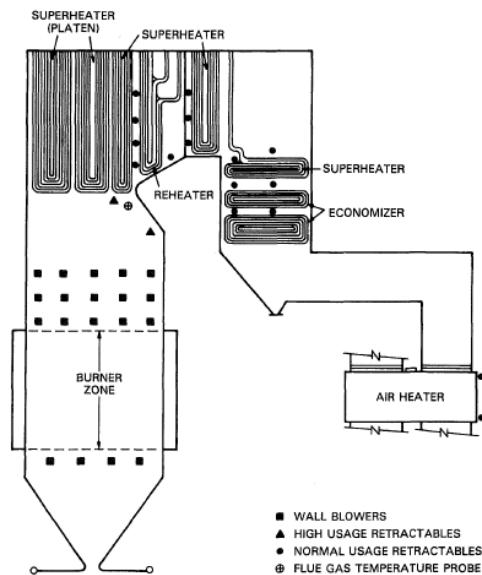
*Reheat stop valve* dan *interceptor control valve* merupakan katup yang berguna untuk mengatur aliran uap dari *reheater* menuju ke turbin. Pada kondisi normal, katup tersebut terbuka sedangkan pada saat *shutdown valve* tersebut akan menutup untuk menghindari tekanan balik *steam* dari *reheater* yang dapat membuat kecepatan turbin tidak dapat dikontrol.

### **2.1.8    *Governor Valve***

Salah satu komponen penting dalam sistem pembangkit listrik tenaga uap adalah adanya sistem *governor valve*. *Governor valve* adalah alat yang digunakan untuk memodifikasi aliran fluida atau laju tekanan pada sebuah sistem proses. Pada sistem pembangkit listrik tenaga uap, *governor valve* digunakan untuk mengatur jumlah volume uap di dalam pipa sebelum menuju ke turbin uap.

### **2.1.9    *Boiler Feed Pump***

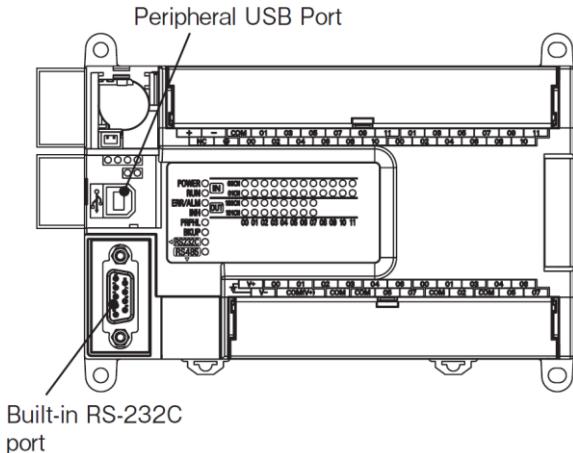
*Boiler Feed Water Pump* merupakan salah satu aplikasi penggunaan pompa sentrifugal berukuran besar pada industri pembangkit listrik tenaga uap. Pompa ini berfungsi untuk mengontrol dan mensupply air pada jumlah tertentu yang berasal dari tanki air (*Feed Water Tank*) menuju boiler dengan spesifikasi tekanan tertentu. Air tersebut sebelum masuk ke boiler biasanya mengalami pemanasan awal (*pre-heating*). Sehingga air yang dipompa oleh boiler feed pump juga memiliki temperatur tertentu yang cukup panas.



**Gambar 2.3** Bagian Boiler pada PLTU

## 2.2 Programmable Logic Controller[1]

*Programmable logic controller* (PLC) adalah komputer elektronik yang mudah digunakan (*user friendly*) yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam. Definisi *Programmable Logic Controller* lain adalah sistem elektronik yang beroperasi secara digital dan didisain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan *memory* yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital maupun analog. Pada tugas akhir ini digunakan PLC merek Omron CP1E-N30SDR-A. Pada PLC Omron ini metode komunikasi yang digunakan adalah *half duplex*. Terdapat maksimal 256 fungsi timer (T0 sampai dengan T255) dan 256 fungsi counter ( C0 sampai dengan C255). Pada Gambar 2.4 ditunjukkan tampilan dari PLC Omron CP1E yang akan digunakan.



**Gambar 2.4** PLC Omron CP1E

### 2.2.1 Bagian Bagian PLC

Pada umumnya baik PLC tipe *compact* ataupun *modular* memiliki tiga bagian utama yaitu *power supply*, *central processing unit* dan modul *input/output*.

1. *Power Supply*

Bagian *power supply* berfungsi sebagai penyuplai daya untuk PLC dan sebagai konverter listrik agar sesuai dengan *rating* yang dimiliki PLC.

2. *CPU*

*Central Processing Unit* (CPU) merupakan pusat pemrosesan data pada PLC, CPU juga mengatur seluruh logika *input*, *output* dan menyimpan *memory*.

3. *Modul I/O*

Dalam pengoperasiannya CPU tidak dapat bekerja sediri, dibutuhkan modul yang dapat berfungsi sebagai masukan atau keluaran dari PLC. Sinyal masukan dan keluaran dapat berupa digital atau analog dan masing – masingnya terhubung pada satu alamat sendiri. Pada PLC omron CP1E yang digunakan terdapat pin I/O digital sebanyak 30 buah dimana 18 dapat digunakan sebagai pin *input* dan 12 dapat digunakan sebagai pin *output*. Pada Tabel 2.1 berikut adalah daftar alamat I/O yang dapat digunakan dalam melakukan pengalamanan *input* dan *output* pada Cx-Programmer.

**Tabel 2.1** Daftar Alamat I/O PLC Omron CP1E

No.	Alamat <i>Input</i>	Alamat <i>Output</i>
1.	I: 0.00	Q: 100.00
2.	I: 0.01	Q: 100.01
3.	I: 0.02	Q: 100.02
4.	I: 0.03	Q: 100.03
5.	I: 0.04	Q: 100.04
6.	I: 0.05	Q: 100.05
7.	I: 0.06	Q: 100.06
8.	I: 0.07	Q: 100.07
9.	I: 0.08	Q: 101.00
10.	I: 0.09	Q: 101.01
11.	I: 0.10	Q: 101.02
12.	I: 0.11	Q: 101.03
13.	I: 1.00	
14.	I: 1.01	
15.	I: 1.02	
16.	I: 1.03	
17.	I: 1.04	
18.	I: 1.05	

## 2.2.2 Bahasa Pemrograman PLC[4]

Untuk dapat melakukan pemrograman pada PLC terdapat beberapa jenis bahasa yang dapat digunakan. Menurut IEC 61131-3 terdapat lima bahasa pemrograman yaitu antara lain:

1. *Ladder Diagram (LAD)*

*Ladder Diagram* pada awalnya diprogram dengan kontak sederhana yang mensimulasikan pembukaan dan penutupan *relay*, pemrograman *ladder logic* telah diperluas untuk mencakup fungsi seperti *counter*, *timer*, *shift register*, dan operasi aritmatik.

2. Diagram Blok Fungsi (*Function Block Diagram /FBD*)

Bahasa grafis untuk menggambarkan sinyal dan data mengalir melalui blok fungsi yang dapat digunakan kembali. FBD sangat berguna untuk mengekspresikan interkoneksi algoritma dan logika sistem kontrol.

3. Urutan Chart Fungsi (*Sequential Function Chart /SFC*)

Metode pemrograman sistem kontrol yang kompleks pada level yang lebih terstruktur. Program SFC adalah gambaran umum dari

sistem kontrol, di mana blok bangunan dasar adalah seluruh file program. Setiap file program dibuat menggunakan salah satu dari jenis bahasa pemrograman lainnya. Pendekatan SFC mengoordinasikan tugas pemrograman yang besar dan rumit menjadi tugas yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola.

Tabel perintah, dapat berupa

4. Daftar Instruksi (*Instruction List /IL*)

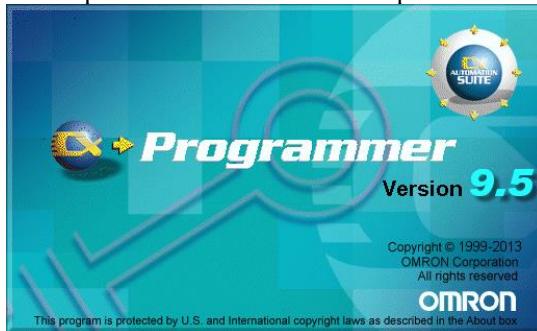
Suatu bahasa tingkat rendah yang mirip dengan Assembly yang tersusun oleh sekumpulan perintah yang disertai dengan pengalaman tertentu pada tiap instruksi.

5. Teks Terstruktur (*Structured Text /ST*)

Bahasa teks tingkat tinggi yang mendorong pemrograman terstruktur. Ini memiliki struktur bahasa (*syntax*) yang sangat menyerupai Pascal dan mendukung berbagai fungsi dan operator standar.

### 2.2.3 Pemrograman PLC

Cx-Programmer adalah salah satu *software* pada komputer yang digunakan untuk membuat program pada PLC khusus merek Omron, Cx-Programmer dapat beroperasi dalam sistem operasi windows, *software* ini mudah digunakan (*user friendly*) atau mudah dipelajari. Pada Gambar 2.5 ditunjukkan tampilan awal ketika membuka aplikasi Cx-Programmer.



Gambar 2.5 Software Cx-Programmer

### 2.3 Metode Cascade[3][5]

Terdapat berbagai macam metode dalam menyelesaikan permasalahan penyusunan *sequence* pada konstruksi *Ladder Diagram* di PLC, salah satunya adalah metode Cascade. Cascade jika diterjemahkan

kedalam bahasa indonesia mempunyai arti bertingkat, maksud bertingkat disini adalah suatu sistem yang strukturnya jelas atau berurut tanpa terjadi tabrakan /*trouble*, sedangkan metode Cascade pada perancangan *Ladder Diagram* PLC adalah metode yang digunakan untuk merancang *Ladder Diagram* yang disusun/ dibuat secara bertingkat yang berasal dari sistem yang berurutan yang bekerja secara bergantian.

Metode Cascade digunakan untuk meminimalkan jumlah dari delay yang dibutuhkan. Metode ini mempunyai cara yang mudah untuk mendapatkan solusi untuk masalah yang paling rumit sekalipun, tanpa menghabiskan banyak waktu dan usaha. Rangkaian yang dihasilkan juga sangat mudah dimengerti, sehingga tidak perlu menggambar *sequence chart* untuk memahaminya. Metode ini juga sistematis dan paling sering digunakan, dan tidak bergantung pada keterampilan atau pengalaman dari *programmer*.

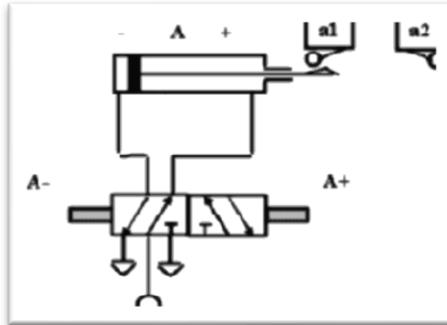
### 2.3.1 Aturan Metode Cascade

Dalam menggunakan metode Cascade terdapat aturan-aturan yang harus diikuti antara lain adalah sebagai berikut:

1. Grup baru akan dibuat dan aktif bila perlu untuk merubah *sequence* sinyal *output*(dari ON ke OFF atau sebaliknya, *ekstend* ke *retract* atau sebaliknya) pada aktuator yang sama.
2. Sinyal *output* akan akif selama *relay* grup aktif.
3. Dalam satu grup tidak diperbolehkan sinyal *output* berubah(dari ON ke OFF atau sebaliknya, *ekstend* ke *retract* atau sebaliknya) pada aktuator yang sama.

### 2.3.2 Cara Pembagian Grup

Metode Cascade menggunakan cara yang salah satunya adalah membagi *sequence* menjadi grup grup sesuai dengan aturan yang ada. Berikut ini adalah contoh cara membagi grup menurut metode Cascade. Pada Gambar 2.6 diperlihatkan *pneumatic double acting silinder*.



**Gambar 2.6 Pneumatic double acting silinder**

1. Dalam metode ini, urutan (A, B, C, D) dibagi menjadi grup-grup berdasarkan aturan.
2. Aturan: grup baru akan dibuat dan aktif bila perlu untuk merubah sinyal *output* urutan (A+ ke A- atau sebaliknya/B+ ke B- atau sebaliknya/C+ ke C- atau sebaliknya/D+ ke D- atau sebaliknya)
3. Dengan kata lain *output* akan aktif selama grupnya aktif
4. Misal: START, A+, B+, C+, C-, A-, D+, A+, D-, B-, A-
5. Asumsikan setiap silinder X digerakkan oleh DCV pneumatik 5/2 dengan dua solenoid masing-masing berlabel X+ dan X-. Solenoid X+ harus aktif ketika silinder X bergerak maju. Jika dibalik maka sinyal kontrol berlawanan dengan gerakan.
6. Memakai aturan sebelumnya maka didapatkan 4 grup.  
 Grup 1 : A+, B+, C+  
 Grup 2 : C-, A-, D+  
 Grup 3 : A+, D-, B-  
 Grup 4 : A-
7. Setiap grup kini dialokasikan satu CR *control relay*, dan dihubungkan sebagai RS flip-flop.

### 2.3.3 Langkah-Langkah Perancangan

Dalam merancang metode Cascade terdapat langkah-langkah yang harus diikuti, langkah-langkah tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

1. Deskripsi dari sistem
2. Membagi urutan operasi dari sistem berdasarkan grup
3. Tentukan urutan operasi dari sistem
4. Penugasan *input* dan *output* dari sistem

5. Membuat *switching function*
6. Membuat *Ladder Diagram*
7. Simulasi *Ladder Diagram*, bila ada *bug* balik ke langkah 2, bila tidak lanjut langkah berikutnya
8. Implementasi ke sistem

## 2.4 Human Machine Interface (HMI)

*Human Machine Interface* adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan mesin. HMI dapat berupa pengendali dan visualisasi status, baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat *real time*. Pada tugas akhir ini akan digunakan program HMI yang bernama Cx-Designer yang merupakan program bawaan dari PLC Omron. Cx-Designer merupakan perangkat lunak HMI yang digunakan untuk seri NS HMI 5,7 hingga 15 inci. Terintegrasi ke dalam CX-One, memungkinkan untuk membagikan *tag* antara PLC dan HMI, tidak perlu mengetik dua kali, cukup *drag and drop* dari Cx-Programmer atau *copy and paste* dari Excel. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan tampilan awal ketika membuka aplikasi Cx-Designer.



Gambar 2.7 Software Cx-Designer

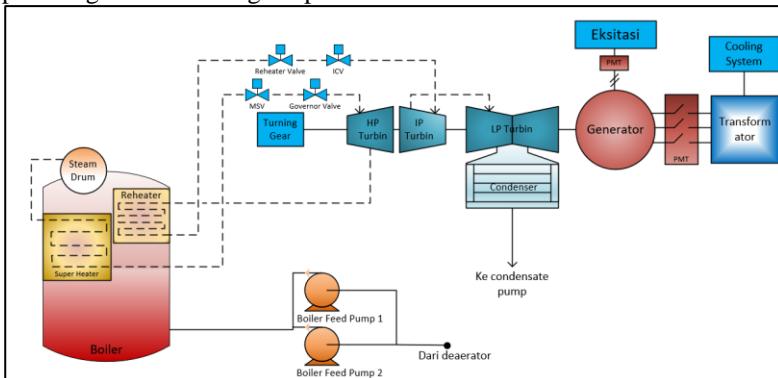
## BAB III

### PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai desain *Ladder Diagram* dengan metode Cascade sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap. Perancangan sistem ini terdiri dari perumusan sistem, urutan kerja sistem, perancangan sistem dengan metode Cascade, pemrograman *Ladder Diagram*, pembuatan modul *input*, dan pembuatan HMI.

#### 3.1 Perumusan Sistem Konversi Energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Untuk merancang *Ladder Diagram* dengan metode Cascade sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap, hal yang pertama kali dibutuhkan adalah perumusan sistem tersebut. Perumusan sistem terdiri dari mendata *input* dan *output* dari sistem yang akan dirancang. Lalu untuk memudahkan perancangan sistem dan untuk kebutuhan perancangan metode Cascade dibuat urutan kerja sistem. Pada Gambar 3.1 ditunjukkan gambaran dari sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.



Gambar 3.1 Keseluruhan Kerja Sistem

##### 3.1.1 I/O Sistem

Pada sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap terdapat beberapa macam *input* dan *output* yang digunakan. Untuk memudahkan dalam penggerjaan pada perancangan metode Cascade dan

pemrograman *Ladder Diagram* maka *input* dan *output* sistem tersebut akan didata dan dikelompokkan masing masing.

### 3.1.1.1 *Input Sistem*

Terdapat beberapa sensor dan tombol yang digunakan pada sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap yang merupakan bagian dari *input* sistem. Pada Tabel 3.1 menunjukkan *input* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

**Tabel 3.1** *Input Sistem*

No.	Nama	Fungsi
1.	Tombol <i>Start</i>	Untuk memulai sistem konversi energi pada PLTU
2.	Sensor <i>Pressure</i>	Mengukur tekanan <i>steam</i> di <i>Steam Drum</i>
3.	Sensor Getaran	Mendeteksi getaran pada Turbin
4.	Sensor Gesekan	Mendeteksi gesekan pada Turbin
5.	Sensor Suhu	Mengukur temperatur keluaran <i>Boiler</i>
6.	Sensor <i>Speed 1</i>	Mengukur kecepatan putaran Turbin (5 Rpm)
7.	Sensor <i>Speed 2</i>	Mengukur kecepatan putaran Turbin (400 Rpm)
8.	Sensor <i>Rub Check</i>	Mendeteksi proses <i>Rub Check</i> apakah telah selesai
9.	Sensor <i>Speed 3</i>	Mengukur kecepatan putaran Turbin (2800 Rpm)
10.	Sensor <i>Speed 4</i>	Mengukur kecepatan putaran Turbin (3000 Rpm)
11.	Sensor Tegangan	Mengukur besar tegangan yang dihasilkan oleh Generator
12.	Sensor Frekuensi	Mengukur frekuensi listrik yang dihasilkan oleh Generator
13.	Sensor Fasa	Membandingkan sudut fasa dari listrik yang dihasilkan Generator dengan sudut fasa listrik dari jaringan
14.	Sensor Daya 1	Mengukur besar daya yang dihasilkan / dibangkitkan Generator (3 MW)
15.	Sensor Daya 2	Mengukur besar daya yang dihasilkan / dibangkitkan Generator (10 MW)

No.	Nama	Fungsi
16.	Sensor Daya 3	Mengukur besar daya yang dihasilkan / dibangkitkan Generator (20 MW)
17.	Sensor Daya 4	Mengukur besar daya yang dihasilkan / dibangkitkan Generator (25 MW)
18.	Sensor Daya 5	Mengukur besar daya yang dihasilkan / dibangkitkan Generator (45 MW)
19.	Sensor Rasio	Mengukur ke
20.	Tombol Stop	Untuk memberhentikan sistem konversi energi pada PLTU

### 3.1.1.2 Output Sistem

Terdapat berbagai macam aktuator yang digunakan pada sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap yang merupakan bagian dari *output* sistem. Pada Tabel 3.2 menunjukkan *output* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

**Tabel 3.2** *Output* Sistem

No.	Nama	Fungsi
1.	<i>Turning Gear</i>	Menjaga agar turbin tetap berputar ketika awal pengoperasian
2.	<i>Drain Valve(1)</i>	Membuang <i>steam</i> sisa yang sudah tidak digunakan
3.	<i>Vent Valve</i>	Membuang udara yang mungkin masih tersisa pada <i>steam drum</i>
4.	<i>Steam Drum Valve</i>	Mengalirkan <i>steam</i> keluar dari <i>Steam Drum</i> ke <i>Primary Superheater</i>
5.	<i>Drain Valve(2)</i>	Membuang <i>steam</i> sisa yang sudah tidak digunakan
6.	<i>Turbine Drain Valve</i>	Membuang <i>steam</i> sisa yang sudah tidak digunakan
7.	<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i>	Mengalirkan air ke ruang pembakaran/ <i>water wall</i>
8.	<i>Main Stop Valve</i>	Pengaman utama <i>steam</i> sebelum masuk ke <i>High Pressure Turbine</i> . Menyalurkan <i>steam</i> dari <i>superheater</i> ke <i>ICV</i> ketika temperatur telah mencapai 542 C

No.	Nama	Fungsi
9.	Auxiliary Steam High Pressure Trubine Valve	Mengalirkan sebagian <i>Steam</i> yang telah lewat di HP <i>Steam Turbine</i> ke Auxiliary PLTU
10.	Interceptor Control Valve (ICV)	Menyalurkan <i>steam</i> dari <i>Reheater</i> menuju <i>Intermediate Pressure</i> (IP) <i>Turbine</i>
11.	Governor Valve	Mengatur besar <i>steam</i> yang masuk menuju <i>High Pressure Turbine</i>
12.	Reheat Stop Valve	Menyalurkan <i>steam</i> dari <i>Reheater</i> menuju ICV ketika temperatur telah mencapai 568 C
13.	Auxilary Steam Low Pressure Turbine Valve	Mengalirkan sebagian <i>Steam</i> yang telah lewat di <i>Low Pressure</i> (LP) <i>Steam Turbine</i> ke Auxiliary PLTU
14.	PMT Eksitasi	Memutus/ menghubungkan sumber DC untuk Eksitasi Generator
15.	Cooling System Transformator	Sistem pendingin <i>Transformator</i>
16.	PMT Generator	Memutus/ menghubungkan listrik Generator dengan listrik dari jaringan
17.	Boiler Feed Pump	Mengaktifkan pompa untuk menambahkan air ke boiler
18.	Protection Relay	Pengaman ketika terjadi kegagalan dalam keluaran <i>Transformator</i>

### 3.1.2 Langkah Kerja/ Urutan Kerja

Daftar *input* dan *output* yang sudah dibuat akan disusun kembali menjadi satu bagian didalam urutan kerja sistem. Urutan kerja sistem merupakan tahapan sistem dari awal dijalankan sampai dengan sistem berhasil berjalan dengan baik, dalam sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap dikatakan sistem berhasil berjalan dengan baik yaitu ketika listrik berhasil dialirkan ke jaringan transmisi. Pada Tabel 3.3 menunjukkan urutan kerja sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

**Tabel 3.3** Urutan Kerja Sistem

Step	Aktuator	Aksi	Syarat Cukup	Syarat Perlu
1	<i>Turning Gear</i>	Aktif	Tombol Start	-
2	<i>Drain Valve(1)</i>	Terbuka	Tombol Start	-
3	<i>Vent Valve</i>	Tertutup	Tombol Start	-
4	<i>Steam Drum Valve</i>	Tertutup	Tombol Start	-
5	<i>Drain Valve(2)</i>	Terbuka	Tombol Start	-
6	<i>Turbine Drain Valve</i>	Terbuka	Tombol Start	-
7	<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i>	Aktif	Tombol Start	<i>Step 1, 2, 3, 4, 5, 6</i>
8	<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i>	Mati	Sensor Pressure	<i>Step 7</i>
9	<i>Steam Drum Valve</i>	Terbuka	Sensor Pressure	<i>Step 7</i>
10	<i>Main Stop Valve</i>	Terbuka	Sensor Getaran, Sensor Gesekan	<i>Step 8, 9</i>
11	<i>Auxilary Steam High Pressure Turbine</i>	Terbuka	Sensor Getaran, Sensor Gesekan	<i>Step 10</i>
12	<i>Interceptor Control Valve</i>	Terbuka	Sensor Getaran, Sensor Gesekan	<i>Step 11</i>
13	<i>Governor Valve</i>	Terbuka	Sensor Getaran, Sensor Gesekan	<i>Step 12</i>
14	<i>Reheat Stop Valve</i>	Terbuka	Sensor Suhu	<i>Step 13</i>
15	<i>Auxilary Steam Low Pressure Turbine</i>	Terbuka	Sensor Suhu	<i>Step 14</i>
16	<i>Turning Gear</i>	Mati	Sensor Speed 1	<i>Step 15</i>
17	<i>Main Stop Valve</i>	Tertutup	Sensor Speed 2	<i>Step 16</i>

Step	Aktuator	Aksi	Syarat Cukup	Syarat Perlu
18	<i>Timer 1</i>	Aktif	Sensor Speed 2	<i>Step 17</i>
19	<i>Main Stop Valve</i>	Terbuka	Sensor Rub Check	<i>Timer 1 selesai</i>
20	<i>Governor Valve</i>	Tertutup	Sensor Speed 3	<i>Step 19</i>
21	PMT Eksitasi	<i>Close</i>	Sensor Speed 4	<i>Step 20</i>
22	<i>Cooling System Transformator</i>	Aktif	Sensor Speed 4	<i>Step 21</i>
23	PMT Generator	<i>Close</i>	Sensor Tegangan, Sensor Frekuensi, Sensor Fasa	<i>Step 22</i>
24	<i>Timer 2</i>	Tertutup	Sensor Daya 1	<i>Step 23</i>
25	<i>Drain Valve(1)</i>	Tertutup	<i>Timer 2</i>	<i>Timer 2 selesai</i>
26	<i>Drain Valve(2)</i>	Tertutup	Sensor Daya 2	<i>Step 25</i>
27	<i>Turbine Drain Valve</i>	Tertutup	Sensor Daya 3	<i>Step 26</i>
28	<i>Timer 3</i>	Aktif	Sensor Daya 4	<i>Step 27</i>
29	<i>Boiler Feed Pump</i>	Aktif	Sensor Daya 5	<i>Timer 3 selesai</i>
30	<i>Protection Relay</i>	Mati	Sensor Rasio	<i>Step 29</i>
31	PMT Generator	Open	Sensor Rasio	<i>Step 29</i>

### 3.2 Perancangan Sistem dengan Metode Cascade

Terdapat beberapa langkah dalam merancang sistem dengan metode Cascade. Langkah-langkah tersebut yang pertama adalah penyusunan *sequence*, lalu setelah *sequence* telah berurutan sesuai langkah kerja sistem maka dilanjutkan dengan pembagian grup berdasarkan *sequence*, dan jika seluruh *sequence* telah terbagi dengan

grupnya masing-masing maka langkah terakhir pada perancangan sistem dengan metode Cascade ini adalah perancangan *switching function*.

### 3.2.1 Inialisasi Aksi Output

Untuk memudahkan penyusunan *sequence* dan pembagian grup berdasarkan *sequence* pada perancangan sistem dengan metode Cascade maka aksi dari *output* sistem diinisialisasi. Pada Tabel 3.4 menunjukkan inisialisasi aksi dari *output* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

**Tabel 3.4** Inisialisasi Aksi *Output* Sistem

No.	Nama	Aksi	Letter
1.	<i>Turning Gear</i>	Nyala	A+
2.	<i>Turning Gear</i>	Mati	A-
3.	<i>Drain Valve(1)</i>	Buka	B+
4.	<i>Drain Valve(1)</i>	Tutup	B-
5.	<i>Vent Valve</i>	Tutup	C+
6.	<i>Steam Drum Valve</i>	Tutup	D+
7.	<i>Steam Drum Valve</i>	Buka	D-
8.	<i>Drain Valve(2)</i>	Buka	E+
9.	<i>Drain Valve(2)</i>	Tutup	E-
10.	<i>Turbine Drain Valve</i>	Buka	F+
11.	<i>Turbine Drain Valve</i>	Tutup	F-
12.	<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i>	Nyala	G+
13.	<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i>	Mati	G-
14.	<i>Main Stop Valve</i>	Buka	H+
15.	<i>Main Stop Valve</i>	Tutup	H-
16.	<i>Auxiliary Steam High Pressure Turbine</i>	Buka	I+
17.	<i>Inceptor Control Valve</i>	Buka	J+
18.	<i>Governor Valve</i>	Buka	K+
19.	<i>Reheat Stop Valve</i>	Buka	L+
20.	<i>Auxiliary Steam Low Pressure Turbine</i>	Buka	M+
21.	<i>PMT Eksitasi</i>	Close	N+
22.	<i>Cooling System Transformator</i>	Nyala	O+
23.	<i>PMT Generator</i>	Close	P+
24.	<i>PMT Generator</i>	Open	P-
25.	<i>Boiler Feed Pump</i>	Nyala	Q+
26.	<i>Protection Relay</i>	Nyala	R+

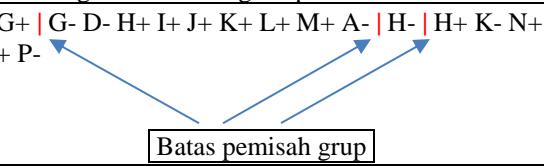
No.	Nama	Aksi	Letter
27.	Protection Relay	Mati	R-

### 3.2.2 Pembagian Grup

Sebelum membagi grup, tahapan yang harus dilakukan adalah menyusun *sequence* berdasarkan aksi dari *output* sistemnya. Dibawah ini menunjukkan urutan *sequence* aksi dari *output* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

A+ B+ C+ D+ E+ F+ G+ G- D- H+ I+ J+ K+ L+ M+ A- H- H+ K- N+ O+ P+ B- E- F- Q+ R+ P-
---

Seperti yang dijelaskan pada Bab 2 tepatnya pada Sub Bab 2.3 Metode Cascade dijelaskan mengenai aturan dalam pembagian grup yaitu dalam satu grup tidak boleh terdapat suatu sinyal *output* yang nyala dan mati atau sebaliknya, maka dibawah ini ditunjukkan batas pemisah grup satu dan grup lainnya dalam urutan *sequence* aksi dari *output* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

A+ B+ C+ D+ E+ F+ G+   G- D- H+ I+ J+ K+ L+ M+ A-   H-   H+ K- N+ O+ P+ B- E- F- Q+ R+ P-	 Batas pemisah grup
---	---

Jika dituliskan masing-masing grup dari urutan *sequence* aksi dari *output* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap adalah sebagai berikut:

Grup 1: A+ B+ C+ D+ E+ F+ G+

Grup 2: G- D- H+ I+ J+ K+ L+ M+ A-

Grup 3: H-

Grup 4: H+ K- N+ O+ P+ B- E- F- Q+ R+ P-

Pada grup 1 dan grup 2 terdapat pemisah grup diantara *sequence* G+ dan G- yang mana aksi dari *output* sistem G+ dan G- tidak boleh diletakkan kedalam satu grup.

Pada grup 2 dan grup 3 terdapat pemisah grup diantara *sequence* A- dan H- yang mana pada grup 2 terdapat aksi dari *output* sistem H+ maka sebelum masuk ke aksi dari *output* sistem H- diletakkan pemisah grup agar kedua aksi tersebut tidak terdapat dalam satu grup.

Pada grup 3 dan grup 4 terdapat pemisah grup diantara *sequence* H- dan H+ yang mana aksi dari *output* sistem H- dan H+ tidak boleh diletakkan kedalam satu grup.

### 3.2.3 Perancangan *Switching Function*

*Switching function* digunakan untuk menterjemahkan kerja sistem menjadi bentuk tersendiri agar lebih ringkas, mudah dibaca dan tujuan akhirnya adalah memudahkan dalam konversi ke dalam *Ladder Diagram*. Disini akan dijelaskan perancangan *switching function* berdasarkan masing-masing grup yang telah dibuat. Subsistem ini merupakan tahap terakhir pada *start-up* PLTU, maka diharuskan subsistem *feed water, fuel handling, lubricating and sealing* telah berjalan, syarat tersebut akan diletakkan pada semua *switching function* grup.

#### 3.2.3.1 *Grup 1*

Pada grup 1 hanya terdapat 1 aksi *input* berupa tombol start untuk menjalankan sistem. Ketika tombol *start* ditekan maka timbul beberapa aksi dari *output* sistem berupa *turning gear* yang aktif, lalu dilanjutkan dengan insial kondisi dari beberapa *valve* yaitu *Drain Valve1* yang terbuka, *Vent Valve* yang tertutup, *Steam Drum Valve* yang tertutup, *Drain Valve2* yang terbuka, dan *Turbine Drain Valve* yang terbuka. Lalu ketika semua aksi tersebut sudah dilakukan maka boiler circulating water feed pump akan aktif.

Dibawah ini ditunjukkan *input* dan *output* dari sistem yang digunakan didalam grup 1 dan ditampilkan juga *switching function* dari grup dan *relay* pada grup 1 sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

*Switching Function Grup 1:*

$$CR1 = (START + CR1) * \overline{CR2} * Feedwater * Fuel handling * Lubricating Sealing * \overline{STOP}$$

*Input 1*

: Tombol Start

*Output* dari *input 1*

: A+ *Turning Gear* Aktif

B+ *Drain Valve1* Terbuka

C+ *Vent Valve* Tertutup

D+ *Steam Drum Valve* Tertutup

E+ *Drain Valve2* Terbuka

F+ *Turbine Drain Valve* Terbuka

**G+Boiler Circulating Water Feed Pump**  
Aktif

*Switching Function Relay :*

$$\begin{aligned}A+ &= (CR1 + A+) * \overline{A-} \\B+ &= (CR1 + B+) * \overline{B-} \\C+ &= (CR1 + C+) * \overline{STOP} \\D+ &= (CR1 + D+) * \overline{D-} \\E+ &= (CR1 + E+) * \overline{E-} \\F+ &= (CR1 + F-) * \overline{F-} \\G+ &= ([CR1 * A+ + * B+ + * C+ + * D+ + * E+ + * F+] + G+) * \overline{G-}\end{aligned}$$

### 3.2.3.2 Grup 2

Pada grup 2 terdapat 4 aksi input yang akan menghasilkan aksi dari output yang berbeda-beda. Untuk dapat berjalan sesuai dengan sistem yang telah dirancang, sistem harus berjalan secara berurutan sehingga pada pembuatan *switching function* terdapat hubungan dengan *switching function* langkah sebelumnya.

Dibawah ini ditunjukkan *input* dan *output* yang digunakan didalam grup 2 dan ditampilkan juga *switching function* dari grup dan *relay* pada grup 2 sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

*Switching Function Grup 2:*

$$CR2 = ([CR1 * S\ PRESSURE * G+] + CR2) * \overline{CR3} * Feedwater * Fuel\ handling * Lubricating\ Sealing * \overline{STOP}$$

<i>Input 1</i>	:Sensor Pressure
<i>Output</i> dari <i>input 1</i>	:G- Boiler Circulating Water Feed Pump Mati D- Steam Drum Valve Terbuka
<i>Switching Function</i>	:
$G- = CR2 + STOP$	
$D- = CR2 + STOP$	

<i>Input 2</i>	:Sensor Getaran dan Sensor Gesekan
<i>Output</i> dari <i>input 2</i>	:H+ Main Stop Valve Terbuka I Auxiliary Steam HP Turbine Valve J Inceptor Control Valve Terbuka K+ Governor Valve Terbuka
<i>Switching Function</i>	:

$$\begin{aligned}
 H+ &= ([CR2 * G - * D - * S GETARAN * S GESEKAN] + \\
 &\quad CR4) * \overline{H} \\
 I &= ([CR2 * H + * S GETARAN * S GESEKAN] + I) * \overline{STOP} \\
 J &= ([CR2 * I * S GETARAN * S GESEKAN] + J) * \overline{STOP} \\
 K+ &= ([CR2 * J * S GETARAN * S GESEKAN] + K+) * \overline{K}
 \end{aligned}$$

<i>Input 3</i>	:Sensor Suhu
<i>Output dari input 3</i>	:L Reheat Stop Valve Terbuka M Auxiliary LP Turbine Valve Terbuka
<i>Switching Function</i>	:
$L = ([CR2 * K + * S SUHU] + L)$	* $\overline{STOP}$
$M = ([CR2 * L * S SUHU] + M)$	* $\overline{STOP}$

<i>Input 4</i>	:Sensor Speed 1
<i>Output dari input 4</i>	:A- Turning Gear Mati
<i>Switching Function</i>	:
$A- = (CR2 * + M * S SPEED 1)$	+ $STOP$

### 3.2.3.3 Grup 3

Pada grup 3 hanya terdapat 1 aksi input yang akan menghasilkan aksi dari output yang berbeda-beda. Untuk dapat berjalan sesuai dengan sistem yang telah dirancang, sistem harus berjalan secara berurutan sehingga pada pembuatan *switching funciton* terdapat hubungan dengan *switching funciton* langkah sebelumnya.

Dibawah ini ditunjukkan *input* dan *output* yang digunakan didalam grup 3 dan ditampilkan juga *switching function* dari grup dan *relay* pada grup 3 sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

<i>Switching Function Grup 3:</i>	
$CR3 = ([CR2 * S SPEED 2 * A-] + CR3)$	* $\overline{CR4} * Feedwater$
	* Fuel handling * Lubricating Sealing * $\overline{STOP}$
<i>Input 1</i>	:Sensor Speed 2
<i>Output dari input 1</i>	:H- Main Stop Valve Tertutup Timer 1 aktif
<i>Switching Function</i>	:
$H- = CR3 + STOP$	
$TIMER 1 = CR3 + \overline{STOP}$	

### 3.2.3.4 Grup 4

Pada grup 4 terdapat 10 aksi input yang akan menghasilkan aksi dari output yang berbeda-beda. Untuk dapat berjalan sesuai dengan sistem yang telah dirancang, sistem harus berjalan secara berurutan sehingga pada pembuatan *switching function* terdapat hubungan dengan *switching function* langkah sebelumnya.

Dibawah ini ditunjukkan *input* dan *output* yang digunakan didalam grup 4 dan ditampilkan juga *switching function* dari grup dan *relay* pada grup 4 sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

*Switching Function* Grup 4:

$$CR4 = ([CR3 * S RUB CHECK * TIMER1] + CR4) * Feedwater * Fuel handling * Lubricating Sealing * \overline{STOP}$$

<i>Input 1</i>	:Sensor Speed 3
<i>Output</i> dari <i>input 1</i>	:K- Governor Valve Tertutup
<i>Switching Function</i>	:
$K = (CR4 * H + * S SPEED 3) + STOP$	

<i>Input 2</i>	:Sensor Speed 4
<i>Output</i> dari <i>input 2</i>	:N PMTE Close O Cooling System Aktif
<i>Switching Function</i>	:
$N = CR4 * K - * S SPEED 4 * \overline{STOP}$	
$O = CR4 * N * S SPEED 4 * \overline{STOP}$	

<i>Input 3</i>	:Sensor Tegangan, Sensor Frekuensi,
Sensor Fasa	
<i>Output</i> dari <i>input 3</i>	:P+ PMT Close
<i>Switching Function</i>	:
$P+ = (CR4 * O * S TEGANGAN * S FREKUENSI * S FASA) + P) * \overline{P-}$	

<i>Input 4</i>	:Sensor Daya1
<i>Output</i> dari <i>input 4</i>	:Timer 2
<i>Switching Function</i>	:
$TIMER 2 = ([CR4 * P + * S DAYA 1] + TIMER 2) * \overline{STOP}$	

<i>Input 5</i>	:Timer 2
<i>Output dari input 5</i>	:B- Drain Valve1 Tertutup
<i>Switching Function</i>	:
$B- = (CR4 * TIMER 2) + B - + STOP$	

<i>Input 6</i>	:Sensor Daya2
<i>Output dari input 6</i>	:E- Drain Valve2 Tertutup
<i>Switching Function</i>	:
$E- = (CR4 * B - * S DAYA 2) + E - + STOP$	

<i>Input 7</i>	:Sensor Daya3
<i>Output dari input 7</i>	:F- Turbine Drain Valve Tertutup
<i>Switching Function</i>	:
$F- = (CR4 * E - * S DAYA 3) + F - + STOP$	

<i>Input 8</i>	:Sensor Daya4
<i>Output dari input 8</i>	:Timer 3
<i>Switching Function</i>	:
$TIMER 3 = ([CR4 * F - * S DAYA 4] + TIMER 3) * STOP$	

<i>Input 9</i>	:Sensor Daya5 dan Timer3
<i>Output dari input 9</i>	:Q Bolier Feed Pump2 Aktif
<i>Switching Function</i>	:
$Q = ([CR4 * S DAYA 5 * TIMER 3] + Q) * STOP$	

<i>Input 10</i>	:Sensor Rasio
<i>Output dari input 10</i>	:R Relay Aktif P- PMT Open
<i>Switching Function</i>	:
$R = CR4 * S RASIO * STOP$	
$P- = (CR4 * S RASIO) + STOP$	

### 3.3 Pemrograman Ladder Diagram

Sebelum melakukan penggerjaan *Ladder Diagram* maka sebelumnya komponen *input* dan komponen *output* ditentukan terlebih dahulu alamatnya. Proses pemberian alamat harus sesuai dengan jenis dan tipe PLC yang akan digunakan dan diberi tag untuk memudahkan dalam

membacanya. Alamat yang dapat digunakan untuk *input* dan *output* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

### 3.3.1 Pengalamatan Komponen

Pada pengalamatan komponen dibagi menjadi 4 bagian *input* dan *output* yang dicerutkan lagi 2 bagian untuk *input* dan 2 bagian untuk *output*.

#### 3.3.1.1 Komponen ke Input PLC

Pada pengalamatan *input*, sensor dan tombol akan masuk kedalam pin *input* PLC dan alamatnya akan disesuaikan dengan alamat pin *input* yang digunakan. Pada Tabel 3.5 menunjukkan alamat pin *input* masing-masing komponen yang digunakan di sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

**Tabel 3.5** Alamat Komponen ke Pin *Input* PLC

No.	Nama	Tag	Alamat
1.	Sensor Pressure	S Pressure	I: 0.00
2.	Sensor Getaran	S Getaran	I: 0.01
3.	Sensor Gesekan	S Gesekan	I: 0.02
4.	Sensor Suhu	S Suhu	I: 0.03
5.	Sensor Speed 1	S Speed 1	I: 0.04
6.	Sensor Speed 2	S Speed 2	I: 0.05
7.	Sensor Rub Check	S Rub Check	I: 0.06
8.	Sensor Speed 3	S Speed 3	I: 0.07
9.	Sensor Speed 4	S Speed 4	I: 0.08
10.	Sensor Tegangan	S Tegangan	I: 0.09
11.	Sensor Frekuensi	S Frekuensi	I: 0.10
12.	Sensor Fasa	S Fasa	I: 0.11
13.	Sensor Daya 1	S Daya 1	I: 1.00
14.	Sensor Daya 2	S Daya 2	I: 1.01
15.	Sensor Daya 3	S Daya 3	I: 1.02
16.	Sensor Daya 4	S Daya 4	I: 1.03
17.	Sensor Daya 5	S Daya 5	I: 1.04
18.	Sensor Rasio	S Rasio	I: 1.05
19.	Tombol Start	START	-
20.	Tombol Stop	STOP	-

### **3.3.1.2 Input PLC ke Memory**

Pengalamatan *input* ke *memory* yang bertujuan untuk memudahkan penggantian alamat pada kontak yang digunakan pada program *Ladder Diagram* jika terjadi kerusakan pin *input* maupun masalah lain yang mengharuskan penggantian pin *input* pada sensor yang digunakan. Jika tidak dilakukan pengalamatan ini maka *programmer* harus mencari satu persatu dimana pin tersebut digunakan dan menggantinya dengan alamat pin *input* baru satu persatu. Pada Tabel 3.6 menunjukkan alamat *memory* pin *input* masing masing komponen yang digunakan di sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

**Tabel 3.6** Alamat Pin *Input* PLC ke *memory*

No.	Tag	Alamat <i>Input</i>	Tag	Alamat <i>Memory</i>
1.	S Pressure	I: 0.00	M_S Pressure	20.01
2.	S Getaran	I: 0.01	M_S Getaran	20.02
3.	S Gesekan	I: 0.02	M_S Gesekan	20.03
4.	S Suhu	I: 0.03	M_S Suhu	20.04
5.	S Speed 1	I: 0.04	M_S Speed 1	20.05
6.	S Speed 2	I: 0.05	M_S Speed 2	20.06
7.	S Rub Check	I: 0.06	M_S Rub Check	20.07
8.	S Speed 3	I: 0.07	M_S Speed 3	20.08
9.	S Speed 4	I: 0.08	M_S Speed 4	20.09
10.	S Tegangan	I: 0.09	M_S Tegangan	20.10
11.	S Frekuensi	I: 0.10	M_S Frekuensi	20.11
12.	S Fasa	I: 0.11	M_S Fasa	20.12
13.	S Daya 1	I: 1.00	M_S Daya 1	20.13
14.	S Daya 2	I: 1.01	M_S Daya 2	20.14
15.	S Daya 3	I: 1.02	M_S Daya 3	20.15
16.	S Daya 4	I: 1.03	M_S Daya 4	21.00
17.	S Daya 5	I: 1.04	M_S Daya 5	21.01
18.	S Rasio	I: 1.05	M_S Rasio	21.02
19.	START	-	M_START	20.00
20.	STOP	-	M_STOP	21.03

### **3.3.1.3 Memory ke Output PLC**

Pengalamatan *memory* ke *output* bertujuan untuk memudahkan penggantian alamat pada koil yang digunakan pada program *Ladder*

*Diagram* jika terjadi kerusakan pin *output* maupun masalah lain yang mengharuskan penggantian pin *output* pada aktuator yang digunakan. Jika tidak dilakukan pengalaman ini maka *programmer* harus mencari satu persatu dimana pin tersebut digunakan dan menggantinya dengan alamat pin *output* baru satu persatu. Pada Tabel 3.7 menunjukkan alamat *memory* pin *output* masing masing alat yang digunakan di sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

**Tabel 3.7** Alamat *Memory* ke Pin *Output* PLC

No.	Tag	Alamat <i>Memory</i>	Tag	Alamat <i>Output</i>
1.	M_A+	30.00	A+	Q: 103.00
2.	M_B+	30.01	B+	Q: 103.01
3.	M_C	30.02	C	Q: 103.02
4.	M_D+	30.03	D+	Q: 103.03
5.	M_E+	30.04	E+	Q: 103.04
6.	M_F+	30.05	F+	Q: 103.05
7.	M_G+	30.06	G+	Q: 100.00
8.	M_H+	30.07	H+	Q: 100.01
9.	M_I	30.08	I	Q: 100.02
10.	M_J	30.09	J	Q: 100.03
11.	M_K+	30.10	K+	Q: 100.04
12.	M_L	30.11	L	Q: 100.05
13.	M_M	30.12	M	Q: 100.06
14.	M_N	30.13	N	Q: 100.07
15.	M_O	30.14	O	Q: 101.00
16.	M_P+	30.15	P+	Q: 101.01
17.	M_Q	31.00	Q	Q: 101.02
18.	M_R	31.01	R	Q: 101.03
19.	M_A-	31.02	A-	-
20.	M_B-	31.03	B-	-
21.	M_D-	31.04	D-	-
22.	M_E-	31.05	E-	-
23.	M_F-	31.06	F-	-
24.	M_G-	31.07	G-	-
25.	M_H-	31.08	H-	-
26.	M_K-	31.09	K-	-
27.	M_P-	31.10	P-	-

### 3.3.1.4 Output PLC ke Aktuator

Pada pengalamatan *output*, pin *output* PLC akan menuju aktuator dan alamatnya akan disesuaikan dengan alamat pin *output* yang digunakan. Pada Tabel 3.8 menunjukkan alamat pin *output* masing masing alat yang digunakan di sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

**Tabel 3.8** Alamat Pin *Ouput* PLC ke Aktuator

No.	Nama	Tag	Alamat
1.	<i>Turning Gear</i>	A+	Q: 103.00
2.	<i>Drain Valve(1)</i>	B+	Q: 103.01
3.	<i>Vent Valve</i>	C	Q: 103.02
4.	<i>Steam Drum Valve</i>	D+	Q: 103.03
5.	<i>Drain Valve(2)</i>	E+	Q: 103.04
6.	<i>Turbine Drain Valve</i>	F+	Q: 103.05
7.	<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i>	G+	Q: 100.00
8.	<i>Main Stop Valve</i>	H+	Q: 100.01
9.	<i>Auxilary Steam High Pressure Trubine</i>	I	Q: 100.02
10.	<i>Inceptor Control Valve</i>	J	Q: 100.03
11.	<i>Governor Valve</i>	K+	Q: 100.04
12.	<i>Reheat Stop Valve</i>	L	Q: 100.05
13.	<i>Auxilary Steam Low Pressure Turbine</i>	M	Q: 100.06
14.	<i>PMT Eksitasi</i>	N	Q: 100.07
15.	<i>Cooling System Transformator</i>	O	Q: 101.00
16.	<i>PMT Generator</i>	P+	Q: 101.01
17.	<i>Boiler Feed Pump</i>	Q	Q: 101.02
18.	<i>Protection Relay</i>	R	Q: 101.03
19.	<i>Turning Gear</i> nonaktif	A-	-
20.	<i>Drain Valve(1)</i> nonaktif	B-	-
21.	<i>Steam Drum Valve</i> nonaktif	D-	-
22.	<i>Drain Valve(2)</i> nonaktif	E-	-
23.	<i>Turbine Drain Valve</i> nonaktif	F-	-
24.	<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i> nonaktif	G-	-
25.	<i>Main Stop Valve</i> nonaktif	H-	-
26.	<i>Governor Valve</i> nonaktif	K-	-
27.	<i>PMT Generator</i> nonaktif	P-	-

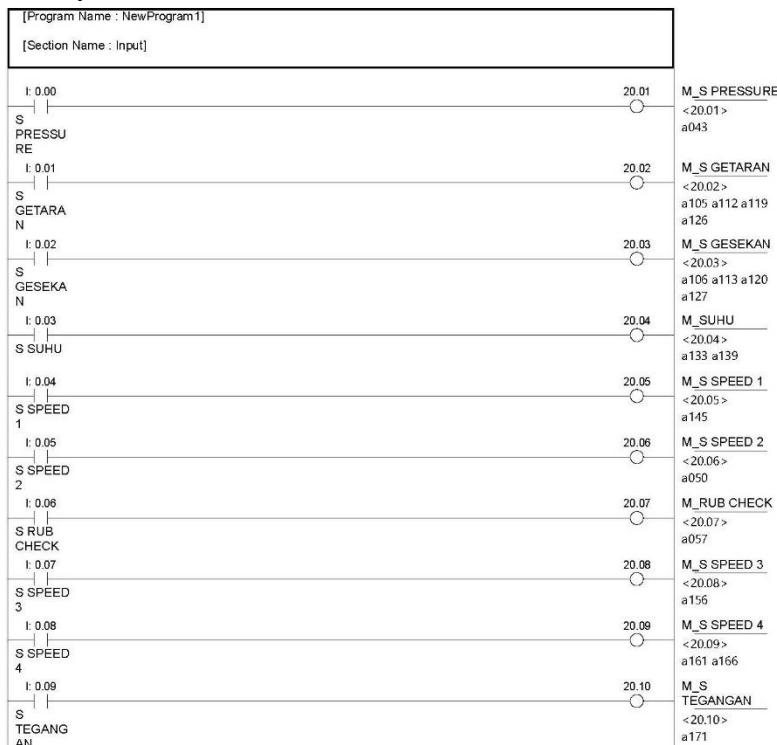
### 3.3.2 Konversi *Switching Function* ke *Ladder Diagram*

Setelah selesai melakukan pengalamatan maka tahap selanjutnya merupakan konversi *switching function* yang telah dibuat menjadi *Ladder Diagram*.

#### 3.3.2.1 *Ladder Diagram I/O ke Memory*

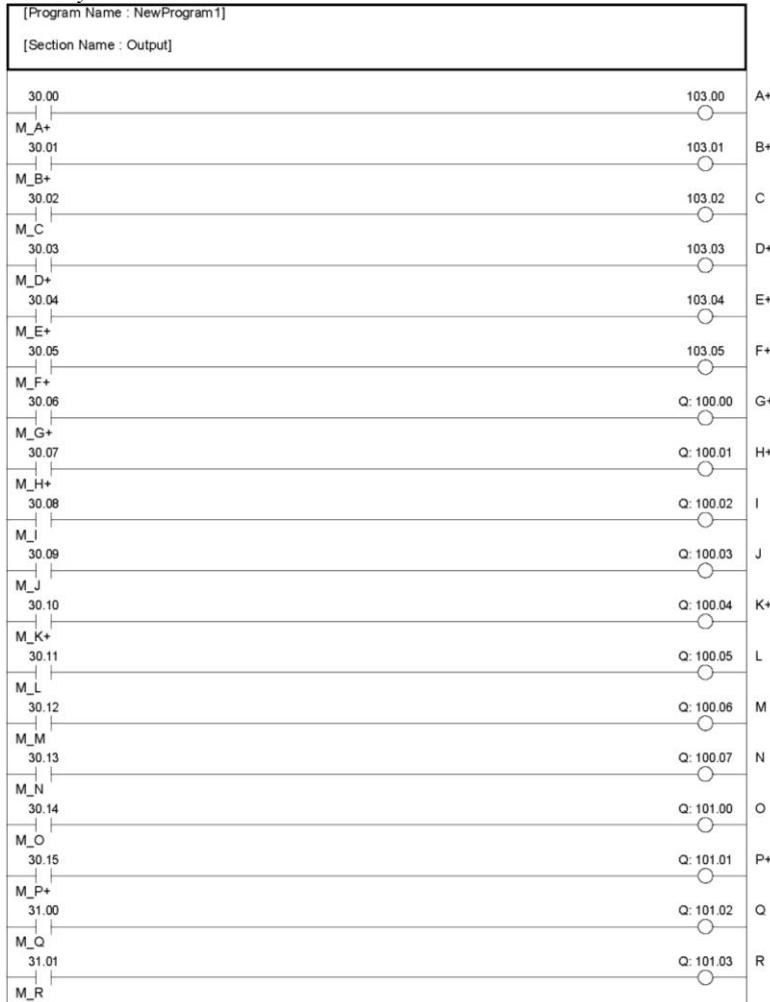
Program utama *Ladder Diagram* berisikan konversi *switching function* ke *Ladder Diagram* digunakan alamat *memory pin input* dan alamat pin *output* yang sudah ditentukan sebelumnya. Disini merupakan tempat untuk merubah alamat kontak dan koil jika harus melakukan penggantian alamat pada pin *input* dan pin *output*.

Pada Gambar 3.2 ditampilkan *Ladder Diagram* pengalamatan *input* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap ke alamat *memory*.



**Gambar 3.2** Ladder Input

Pada Gambar 3.3 ditampilkan *Ladder Diagram* pengalamatan *output* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap ke alamat *memory*.



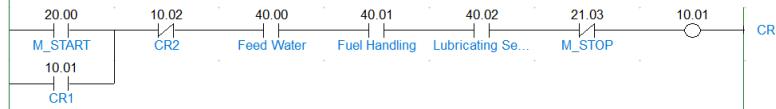
**Gambar 3.3** Ladder Output

### 3.3.2.2 Ladder Diagram pada Grup 1

*Switching function* Grup 1:

$$CR1 = (START + CR1) * \overline{CR2} * Feedwater * Fuel handling \\ * Lubricating Sealing * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagram*nya adalah



Gambar 3.4 *Ladder Diagram* CR1

*Relay A+* merupakan *output* sistem berupa *turning gear* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :  
 $A+ = (CR1 + A+) * \overline{A-}$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagram*nya adalah



Gambar 3.5 *Ladder Diagram* A+

*Relay B+* merupakan *output* sistem berupa *drain valve 1* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :  
 $B+ = (CR1 + B+) * \overline{B-}$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagram*nya adalah



Gambar 3.6 *Ladder Diagram* B+

*Relay C* merupakan *output* sistem berupa *vent valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$C = (CR1 + C) * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.7 Ladder Diagram C

*Relay D+* merupakan *output* sistem berupa *steam drum valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$D+ = (CR1 + D+) * \overline{D-}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.8 Ladder Diagram D+

*Relay E+* merupakan *output* sistem berupa *drain valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$E+ = (CR1 + E+) * \overline{E-}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.9 Ladder Diagram E+

*Relay F+* merupakan *output* sistem berupa *turbine drain valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$F+ = (CR1 + F-) * \overline{F-}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



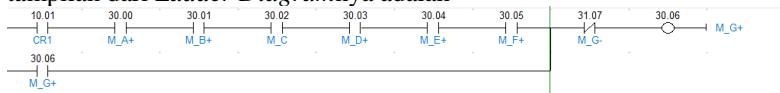
**Gambar 3.10 Ladder Diagram F+**

*Relay G+* merupakan *output* sistem berupa *boiler circulating water feed pump* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

## *Switching Function*

*G+ = ([CR1 \* A + \* B + \* C + \* D + \* E + \* F+] + G+) \* G-*

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



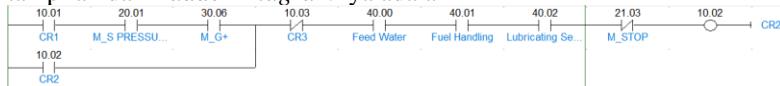
**Gambar 3.11 Ladder Diagram G+**

### **3.3.2.3 Ladder Diagram pada Grup 2**

## *Switching Function Grup 2:*

$$CR2 = \overline{([CR1 * SPRESSURE * G+] + CR2)} * \overline{CR3 * Feedwater} \\ * Fuel handling * Lubricating Sealing * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



**Gambar 3.12** Ladder Diagram CR2

*Relay G* merupakan *output* sistem berupa *boiler circulating water feed pump* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

### *Switching Function*

*G- = CR2 + STOP*

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.13 Ladder Diagram G-

*Relay D-* merupakan *output* sistem berupa *steam drum valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

<i>Switching Function</i>	:
$D- = CR2 + STOP$	

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah

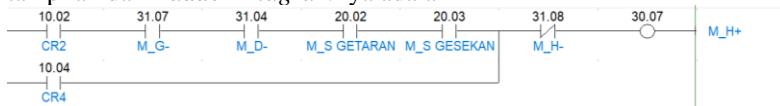


Gambar 3.14 Ladder Diagram D-

*Relay H+* merupakan *output* sistem berupa *main stop valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

<i>Switching Function</i>	:
$H+ = ([CR2 * G - * D - * S GETARAN * S GESEKAN] + CR4) * \overline{H-}$	

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.15 Ladder Diagram H+

*Relay I* merupakan *output* sistem berupa *auxilary steam high pressure turbine valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

<i>Switching Function</i>	:
$I = ([CR2 * H + * S GETARAN * S GESEKAN] + I) * \overline{STOP}$	

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



**Gambar 3.16 Ladder Diagram I**

*Relay J* merupakan *output* sistem berupa *inceptor control valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$J = ([CR2 * I * S \text{ GETARAN} * S \text{ GESEKAN}] + J) * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



**Gambar 3.17 Ladder Diagram J**

*Relay K+* merupakan *output* sistem berupa *governor valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$K+ = ([CR2 * J * S \text{ GETARAN} * S \text{ GESEKAN}] + K+) * \overline{K-}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



**Gambar 3.18 Ladder Diagram K+**

*Relay L* merupakan *output* sistem berupa *reheat stop valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$L = ([CR2 * K+ * S \text{ SUHU}] + L) * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.19 Ladder Diagram L

*Relay M* merupakan *output* sistem berupa *auxiliary steam low pressure turbine valve* yang memiliki persamaan *switching function* antara lain

*Switching Function* :

$$M = ([CR2 * L * S SUHU] + M) * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



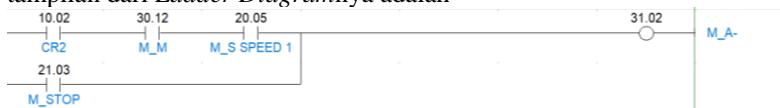
Gambar 3.20 Ladder Diagram M

*Relay A-* merupakan *output* sistem berupa *turning gear* yang memiliki persamaan *switching function* antara lain

*Switching Function* :

$$A- = (CR2 * + M * S SPEED 1) + STOP$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



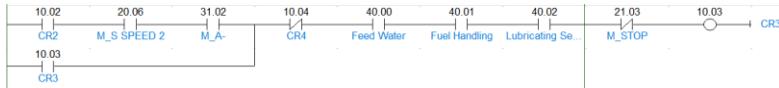
Gambar 3.21 Ladder Diagram A-

### 3.3.2.4 Ladder Diagram pada Grup 3

*Switching Function* Grup 3:

$$CR3 = ([CR2 * S SPEED 2 * A-] + CR3) * \overline{CR4} * Feedwater * Fuel handling * Lubricating Sealing * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.22 Ladder Diagram CR3

*Relay H-* merupakan *output* sistem berupa *main stop valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :  
 $H = CR3 + STOP$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah

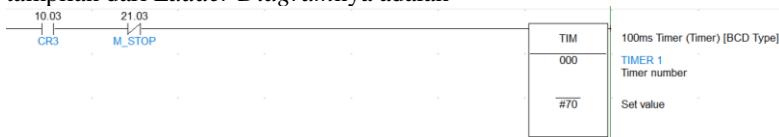


Gambar 3.23 Ladder Diagram H-

*Relay TIMER 1* merupakan fungsi *timer* pertama yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :  
 $TIMER 1 = CR3 + \overline{STOP}$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



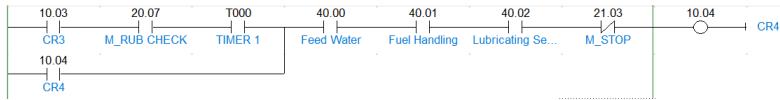
Gambar 3.24 Ladder Diagram TIMER 1

### 3.3.2.5 Ladder Diagram pada Grup 4

*Switching Function* Grup 4:

$$CR4 = ([CR3 * S RUB CHECK * TIMER1] + CR4) * Feedwater * Fuel handling * Lubricating Sealing * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.25 Ladder Diagram CR4

*Relay K-* merupakan *output* sistem berupa *governor valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$K- = (CR4 * H + * S SPEED 3) + STOP$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.26 Ladder Diagram K-

*Relay N* merupakan *output* sistem berupa pemutus tenaga eksitasi yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$N = CR4 * K - * S SPEED 4 * STOP$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.27 Ladder Diagram N

*Relay O* merupakan *output* sistem berupa *cooling system transformator* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$O = CR4 * N * S SPEED 4 * STOP$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.28 Ladder Diagram O

*Relay P+* merupakan *output* sistem berupa pemutus tenaga generator yang memiliki persamaan *switching function* antara lain

*Switching Function* :

$$P+ = ([CR4 * O * S STEGANGAN * S FREKUENSI * S FASA] + P) * \overline{P-}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.29 Ladder Diagram *P+*

*Relay TIMER 2* merupakan fungsi *timer* kedua yang memiliki persamaan *switching function* antara lain

*Switching Function* :

$$TIMER 2 = ([CR4 * P+ * S DAYA 1] + TIMER 2) * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



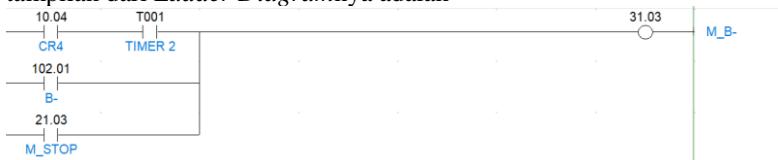
Gambar 3.30 Ladder Diagram *TIMER 2*

*Relay B-* merupakan *output* sistem berupa *drain valve 1* yang memiliki persamaan *switching function* antara lain

*Switching Function* :

$$B- = (CR4 * TIMER 2) + B- + STOP$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.31 Ladder Diagram *B-*

*Relay E-* merupakan *output* sistem berupa *drain valve 2* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$E- = (CR4 * B - * S\ DAYA\ 2) + E- + STOP$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.32 Ladder Diagram E-

*Relay F-* merupakan *output* sistem berupa *turbine drain valve* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$F- = (CR4 * E - * S\ DAYA\ 3) + F- + STOP$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.33 Ladder Diagram F-

*Relay TIMER 3* merupakan fungsi *timer* ketiga yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$TIMER\ 3 = ([CR4 * F - * S\ DAYA\ 4] + TIMER\ 3) * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.34 Ladder Diagram TIMER 3

*Relay Q* merupakan *output* sistem berupa *boiler feed pump* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$Q = ([CR4 * S DAYA 5 * TIMER 3] + Q) * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.35 Ladder Diagram Q

*Relay R* merupakan *output* sistem berupa *protection relay* yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$R = CR4 * S RASIO * \overline{STOP}$$

Berdasarkan persamaan dari *switching funtion* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



Gambar 3.36 Ladder Diagram R

*Relay P-* merupakan *output* sistem berupa pemutus tenaga generator yang memiliki persamaan *switch function* antara lain

*Switching Function* :

$$P = (CR4 * S RASIO) + STOP$$

Berdasarkan persamaan dari *switching function* tersebut maka tampilan dari *Ladder Diagramnya* adalah



**Gambar 3.37 Ladder Diagram P-**

### 3.4 Pembuatan Modul Input

Sebagai pengganti sensor sensor yang digunakan pada sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap maka dibuat modul *input* yang berisikan *toggle* sebanyak 18 buah. Jumlah 18 buah tersebut diambil dari jumlah pin *input* maksimum dari PLC Omron CP1E yang digunakan pada tugas akhir ini. Dalam sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap terdapat 20 *input*, sehingga 2 *input* sisanya akan diletakkan pada HMI.

#### 3.4.1 Desain Modul

Dibuat modul *input* berupa 18 buah yang merupakan *input* maksimal yang ada pada PLC Omron CP1E yang akan digunakan. *Toggle* yang disusun 6 mendatar dan 3 kebawah yang dipasang pada akrilik yang sebelumnya sudah didesain.

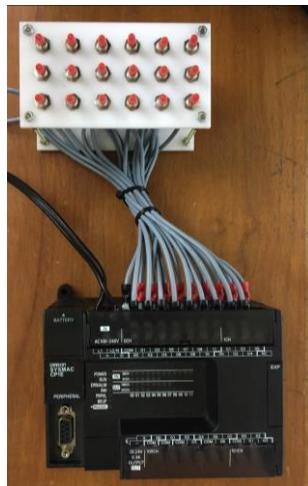
Pada Gambar 3.38 ditampilkan dari akrilik yang sudah dipasang dengan *toggle*.



**Gambar 3.38 Modul Input Toggle**

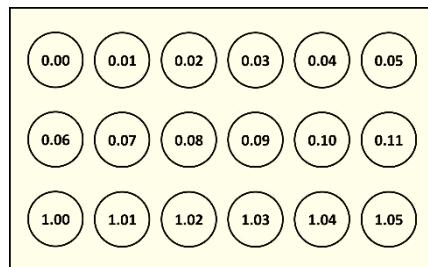
#### 3.4.2 Wiring

Modul *input* yang sudah dibuat lalu disambungkan dengan PLC Omron CP1E. Pada Gambar 3.39 ditampilkan *wiring* antara modul *input* dengan PLC Omron CP1E.



**Gambar 3.39** Wiring antara PLC dan Modul Input

Pada Gambar 3.40 ditampilkan alamat *input* pada tiap posisi *toggle* yang terdapat pada modul *input* yang dibuat.



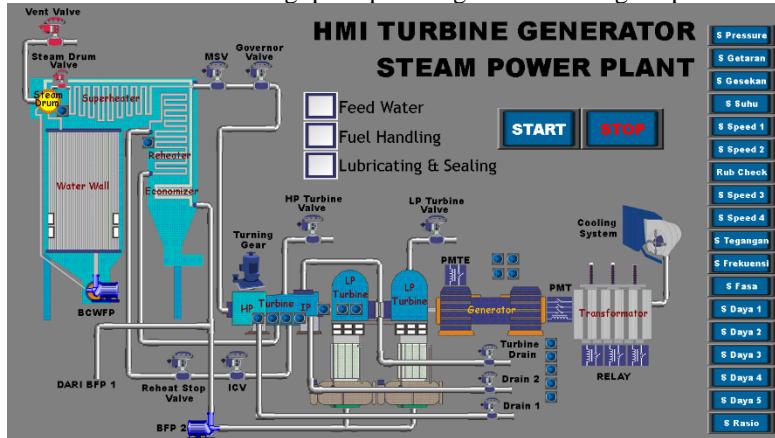
**Gambar 3.40** Pengalamatan pada Modul Input

### 3.5 Perancangan HMI

Setelah seluruh *switching function* dikonversi menjadi *Ladder Diagram*, maka dilakukan perancangan *Human Machine Interface* untuk memberikan visualisasi dari sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap. HMI ini juga berfungsi sebagai indikator kondisi *input* dan *output* sistem. Rancangan HMI terdiri dari lima halaman yaitu halaman pertama berisikan tampilan dengan visualisasi keseluruhan sistem, halaman kedua berisikan tampilan dengan visualisasi *low pressure*

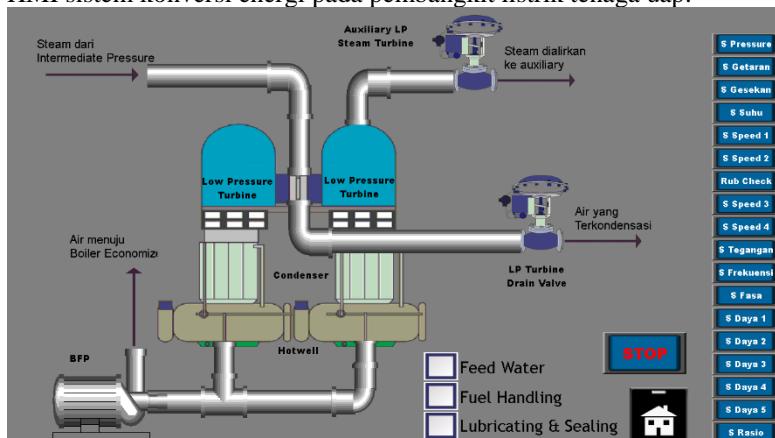
turbine, halaman ketiga berisikan tampilan dengan visualisasi *boiler*, halaman keempat berisikan tampilan dengan visualisasi *high pressure turbine* dan *intermediate pressure turbine*, dan halaman kelima berisikan tampilan dengan visualisasi generator.

Pada Gambar 3.41 ditampilkan halaman pertama dari rancangan HMI sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.



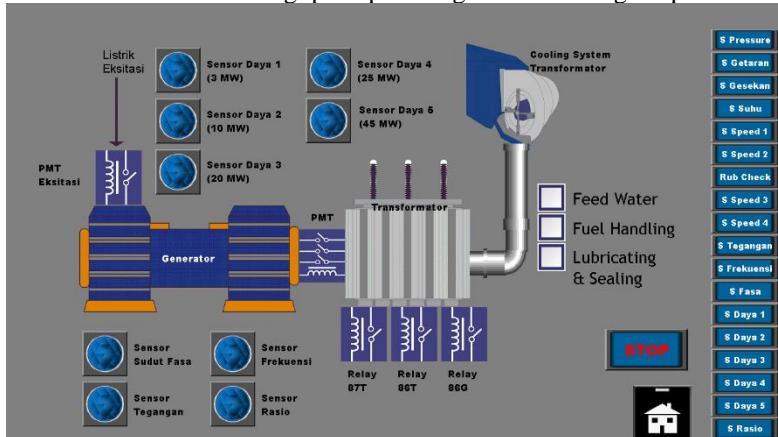
Gambar 3.41 Halaman Utama HMI

Pada Gambar 3.42 ditampilkan halaman kedua dari rancangan HMI sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.



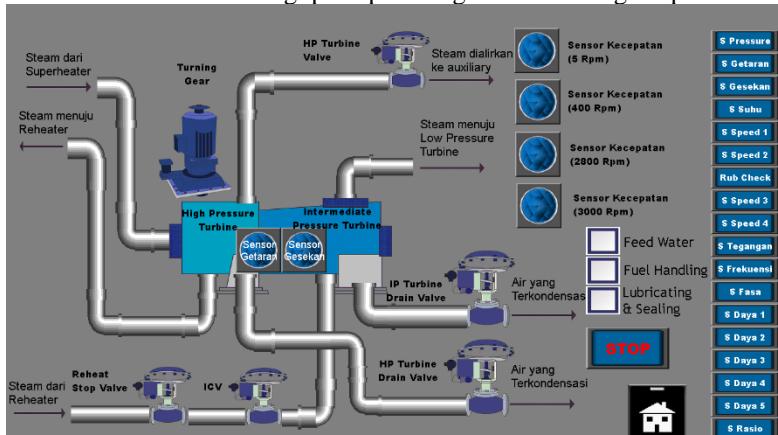
Gambar 3.42 Halaman Kedua HMI

Pada Gambar 3.43 ditampilkan halaman ketiga dari rancangan HMI sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.



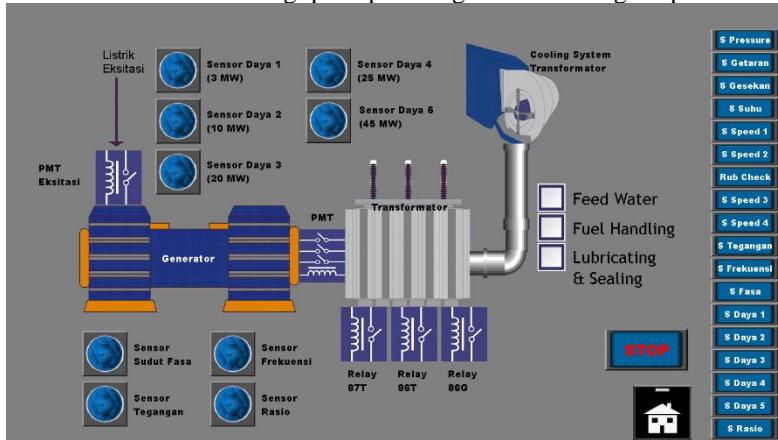
Gambar 3.43 Halaman Ketiga HMI

Pada Gambar 3.44 ditampilkan halaman keempat dari rancangan HMI sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.



Gambar 3.44 Halaman Keempat HMI

Pada Gambar 3.45 ditampilkan halaman kelima dari rancangan HMI sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.



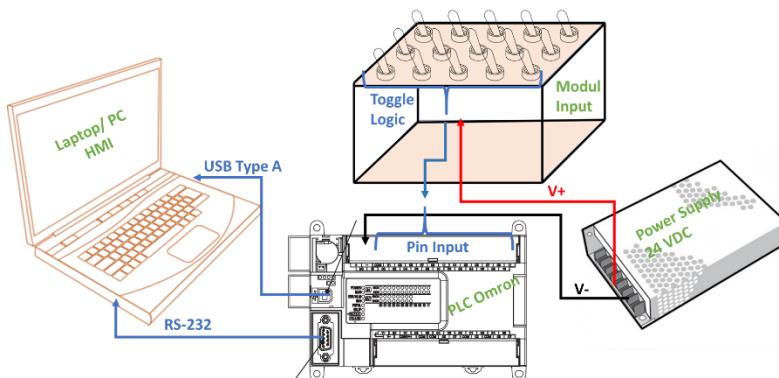
Gambar 3.45 Halaman Kelima HMI

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## BAB IV

### PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengujian dan analisa dilakukan setelah konstruksi *Ladder Diagram* melalui proses koversi *switching function* selesai dilakukan. Hal tersebut bertujuan untuk memudahkan proses analisa dan melihat sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap secara keseluruhan. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan interkoneksi antara PLC, HMI, modul *input*, dan *power supply*.



Gambar 4.1 Interkoneksi PLC, HMI, Toggle, Power Supply

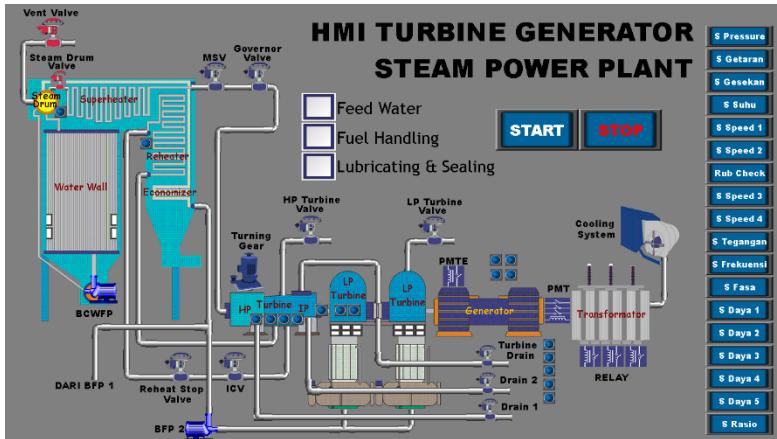
#### 4.1 Proses Pengujian

Pada proses pengujian ini diuji urutan langkah dari *Ladder Diagram* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap yang telah dirancang dengan menggunakan metode Cascade. Kesesuaian langkah dan waktu simulasi menjadi parameter utama dalam tahap pengujian ini.

#### 4.2 Uji Sistem

Proses pengujian sistem ini berdasarkan *sequence* dari proses sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap. Diuji dengan mengaktifkan sensor satu per satu yang proses pengaktifannya sesuai dengan *sequence* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap yang telah dibahas sebelumnya.

Pada Gambar 4.2 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sistem belum berjalan.



Gambar 4.2 Tampilan HMI Ketika Sistem Belum Berjalan

#### 4.2.1 Sequence 1

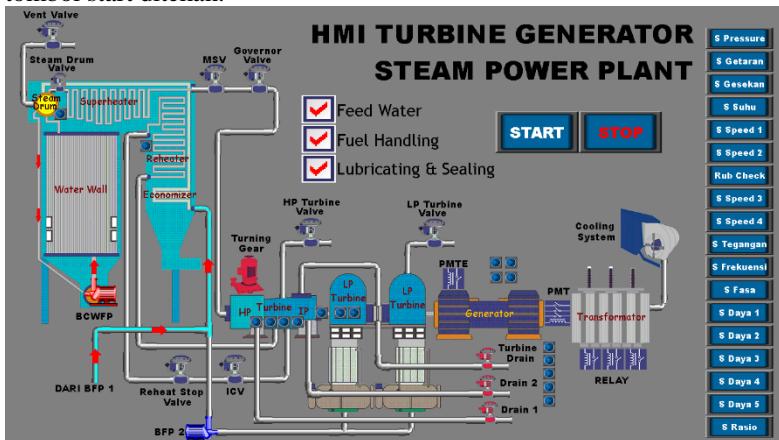
Ketika *toggle start* diaktifkan maka *turning gear* akan aktif ditandai dengan perubahan warna dari biru ke warna merah, lalu drain valve 1, drain valve 2, *turbine drain valve* dipastikan untuk terbuka dan pada *vent valve* dan *steam drum valve* akan terbuka, ditandai perubahan warna dari warna biru ke warna merah. Lalu *boiler circulating water feed pump* akan aktif, ditandai dengan perubahan warna dari merah ke warna biru pada HMI yang telah dibuat. Pada Tabel 4.1 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika tombol start ditekan.

Tabel 4.1 Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 1

<i>Input</i>	Ouput	Aksi <i>Output</i>	Warna pada HMI
Tombol Start	<i>Turning Gear</i>	Nyala	Biru → Merah
	<i>Drain Valve 1</i>	Buka	Biru → Merah
	<i>Vent Valve</i>	Tutup	Biru
	<i>Steam Drum Valve</i>	Tutup	Biru
	<i>Drain Valve 2</i>	Buka	Biru → Merah

	<i>Turbine Drain Valve</i>	Buka	Biru → Merah
	<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i>	Nyala	Biru → Merah

Pada Gambar 4.3 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika tombol start ditekan.



Gambar 4.3 Tampilan HMI Sequence 1

#### 4.2.2 Sequence 2

Ketika *toggle* sensor *pressure* diaktifkan maka *boiler circulating water feed pump* akan mati yang ditandai perubahan warna dari merah ke warna biru lalu *steam drum valve* akan terbuka ditandai dengan perubahan warna dari biru ke warna merah. Pada Tabel 4.2 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor *pressure* aktif.

Tabel 4.2 Perubahan Warna Output Sistem Sequence 2

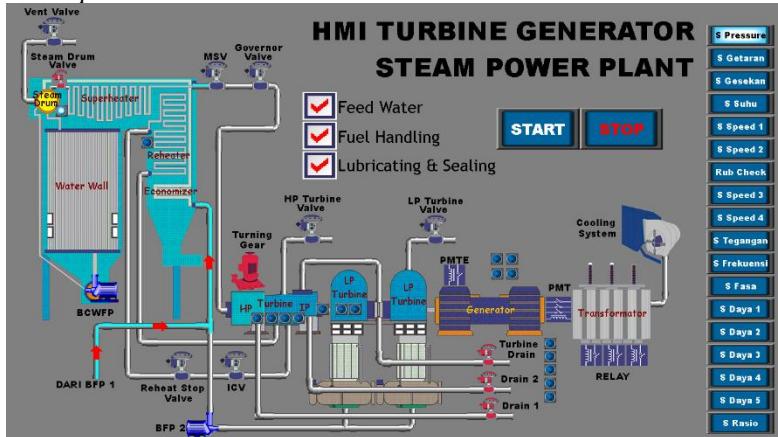
Input	Ouput	Aksi Output	Warna pada HMI
Sensor Pressure	<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i>	Mati	Merah → Biru
	<i>Steam Drum Valve</i>	Buka	Biru → Merah

Pada Gambar 4.4 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor *pressure* diaktifkan.



Gambar 4.4 Modul Input Sequence 2

Pada Gambar 4.5 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor *pressure* aktif.



Gambar 4.5 Tampilan HMI Sequence 2

#### 4.2.3 Sequence 3

Ketika *toggle* sensor getaran diaktifkan dan *toggle* sensor gesekan aktif maka *main stop valve*, *auxiliary steam high pressure turbine valve*, *interceptor control valve*, *governor valve* berturut turut akan terbuka. Ditandai dengan perubahan warna dari biru ke warna merah. Pada Tabel 4.3 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor getaran dan sensor gesekan aktif.

**Tabel 4.3** Perubahan Warna *Output* Sistem *Sequence 3*

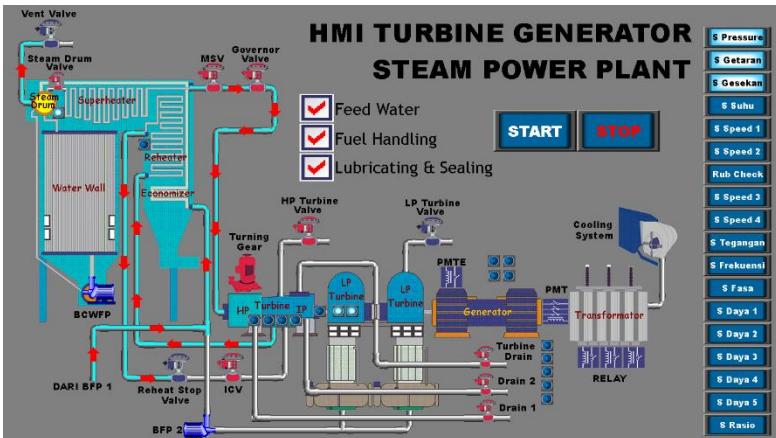
<i>Input</i>	Ouput	Aksi <i>Output</i>	Warna pada HMI
Sensor Getaran dan Gesekan	<i>Main Stop Valve</i>	Buka	Biru → Merah
	<i>Auxiliary Steam High Pressure Turbine Valve</i>	Buka	Biru → Merah
	<i>Interceptor Control Valve</i>	Buka	Biru → Merah
	<i>Governor Valve</i>	Buka	Biru → Merah

Pada Gambar 4.6 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor getaran dan sensor gesekan diaktifkan.



**Gambar 4.6** Modul *Input Sequence 3*

Pada Gambar 4.7 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor getaran dan sensor gesekan aktif.



Gambar 4.7 Tampilan HMI Sequence 3

#### 4.2.4 Sequence 4

Ketika *toggle* sensor suhu diaktifkan maka *reheat stop valve* dan *auxiliary low pressure turbine valve* akan terbuka, ditandai dengan perubahan warna dari biru ke warna merah. Pada Tabel 4.4 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor suhu aktif.

Tabel 4.4 Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 4

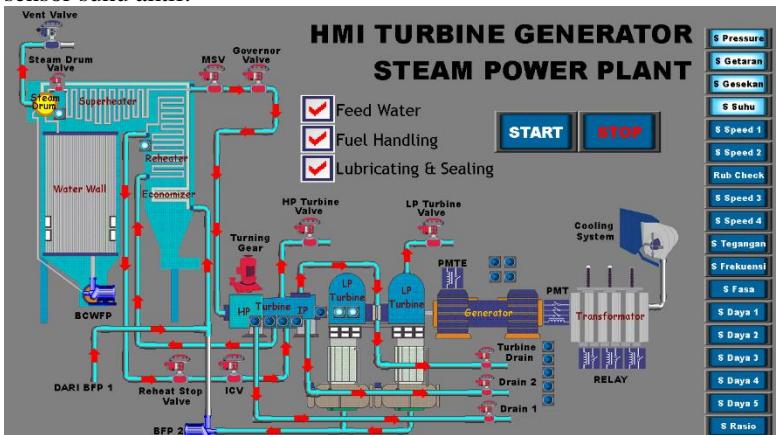
Input	Ouput	Aksi Output	Warna pada HMI
Sensor Suhu	<i>Reheat Stop Valve</i>	Buka	Biru → Merah
	<i>Auxiliary Low Pressure Turbine Valve</i>	Buka	Biru → Merah

Pada Gambar 4.8 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor suhu diaktifkan.



Gambar 4.8 Modul Input Sequence 4

Pada Gambar 4.9 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor suhu aktif.



Gambar 4.9 Tampilan HMI Sequence 4

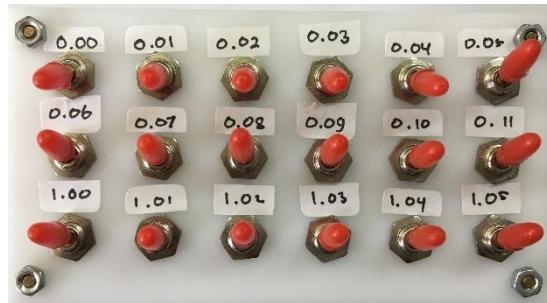
#### 4.2.5 Sequence 5

Ketika *toggle* sensor speed 1 diaktifkan maka *turning gear* mati, ditandai dengan perubahan warna merah ke warna biru. Pada Tabel 4.5 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor *speed 1* aktif.

Tabel 4.5 Perubahan Warna Output Sistem Sequence 5

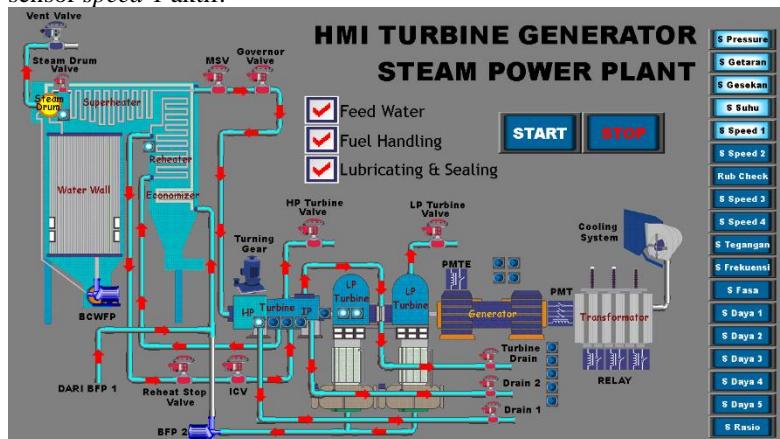
Input	Ouput	Aksi Output	Warna pada HMI
Sensor Speed 1	Turning Gear	Mati	Merah → Biru

Pada Gambar 4.10 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor *speed 1* diaktifkan.



**Gambar 4.10** Modul *Input Sequence 5*

Pada Gambar 4.11 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor *speed 1* aktif.



**Gambar 4.11** Tampilan HMI *Sequence 5*

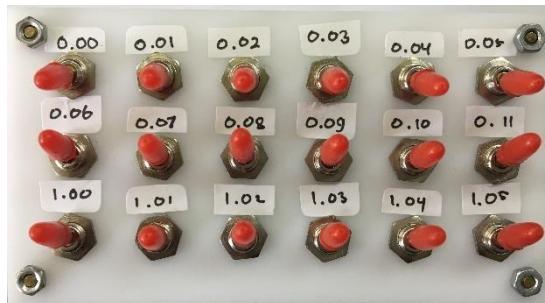
#### 4.2.6 Sequence 6

Ketika *toggle* sensor *speed 2* diaktifkan maka *main stop valve* menutup, ditandai dengan perubahan warna merah ke warna biru dan juga akan mengaktifkan timer 1 yang berguna untuk proses *rub check*. Pada Tabel 4.6 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor *speed 2* aktif.

**Tabel 4.6** Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 6

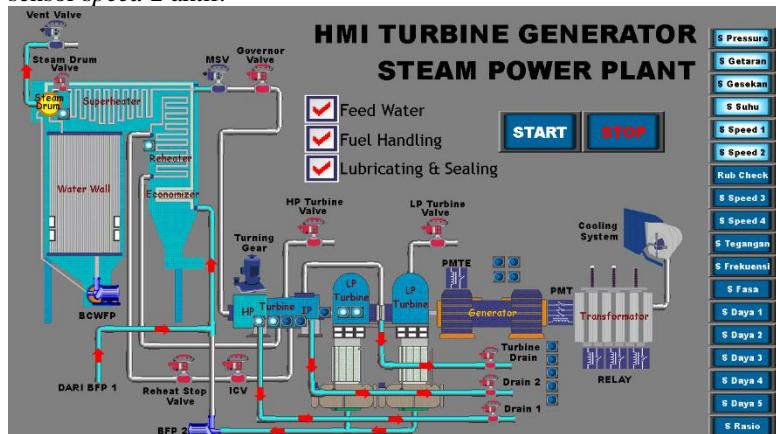
Input	Ouput	Aksi Output	Warna pada HMI
Sensor Speed 2	Main Stop Valve	Tutup	Merah → Biru
	Timer 1	Aktif	-

Pada Gambar 4.12 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor speed 2 diaktifkan.



**Gambar 4.12** Modul *Input Sequence* 6

Pada Gambar 4.13 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor *speed* 2 aktif.



**Gambar 4.13** Tampilan HMI *Sequence* 6

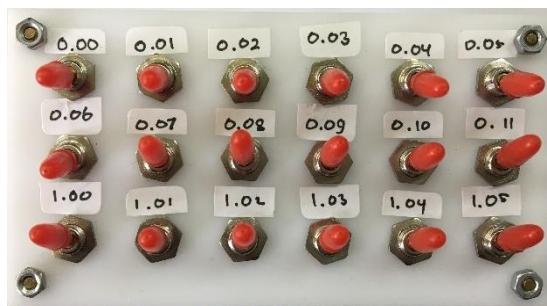
#### 4.2.7 Sequence 7

Ketika *toggle* sensor *rub check* diaktifkan dan *timer 1* telah selesai melakukan pewaktuan maka *main stop valve* terbuka kembali, ditandai dengan perubahan warna biru ke warna merah. Pada Tabel 4.7 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor *speed 1* aktif.

**Tabel 4.7** Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 7

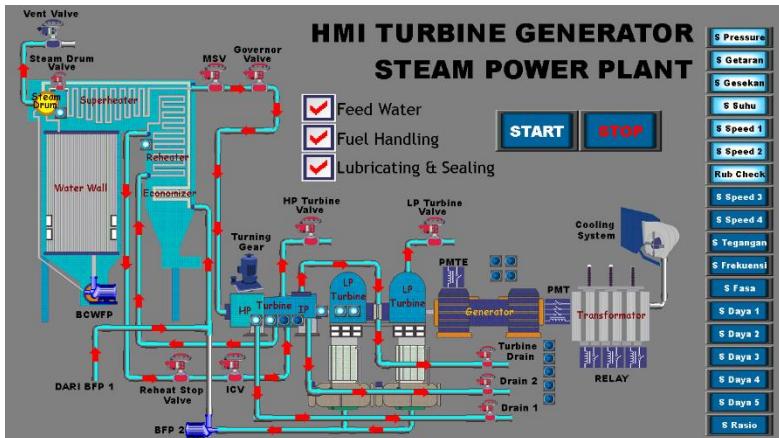
<i>Input</i>	<i>Ouput</i>	<i>Aksi Output</i>	Warna pada HMI
Sensor <i>Rub Check</i> dan <i>Timer 1</i>	<i>Main Stop Valve</i>	Buka	Biru → Merah

Pada Gambar 4.14 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika sensor *rub check* diaktifkan.



**Gambar 4.14** Modul *Input Sequence 7*

Pada Gambar 4.15 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor *rub check* aktif.



Gambar 4.15 Tampilan HMI Sequence 7

#### 4.2.8 Sequence 8

Ketika *toggle* sensor speed 3 diaktifkan maka *governor valve* menutup, ditandai dengan perubahan warna merah ke warna biru. Pada Tabel 4.8 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor *speed 3* aktif.

Tabel 4.8 Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 8

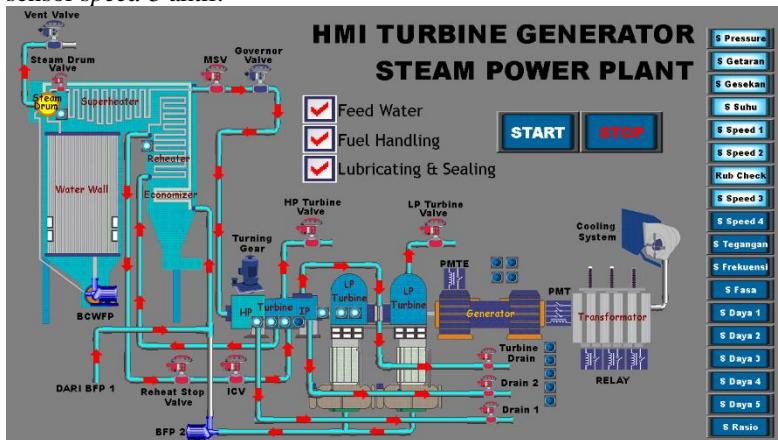
<i>Input</i>	Ouput	Aksi <i>Output</i>	Warna pada HMI
Sensor Speed 3	<i>Governor Valve</i>	Tutup	Merah → Biru

Pada Gambar 4.16 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor *speed 3* diaktifkan.



Gambar 4.16 Modul *Input Sequence 8*

Pada Gambar 4.17 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor *speed 3* aktif.



Gambar 4.17 Tampilan HMI Sequence 8

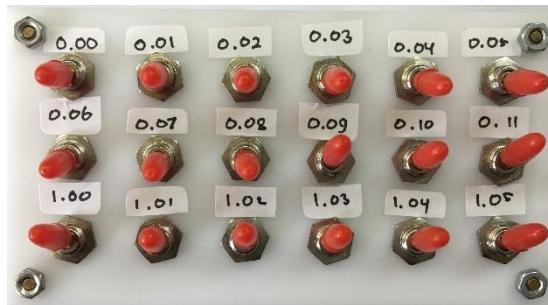
#### 4.2.9 Sequence 9

Ketika *toggle* sensor *speed 4* diaktifkan maka pemutus tenaga eksitasi menutup(aktif), ditandai dengan perubahan warna biru ke warna merah dan *cooling system transformator* akan menyala, ditandai dengan perubahan warna biru ke warna merah. Pada Tabel 4.9 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor *speed 4* aktif.

Tabel 4.9 Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 9

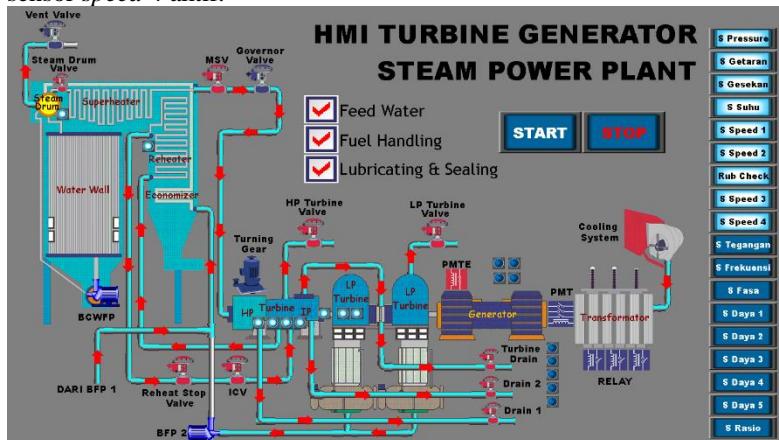
Input	Ouput	Aksi Output	Warna pada HMI
Sensor Speed 4	Pemutus Tenaga Eksitasi	Aktif	Biru → Merah
	Cooling System Transformator	Nyala	Biru → Merah

Pada Gambar 4.18 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor *speed 4* diaktifkan.



**Gambar 4.18** Modul Input Sequence 9

Pada Gambar 4.19 ditunjukan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor *speed* 4 aktif.



**Gambar 4.19** Tampilan HMI Sequence 9

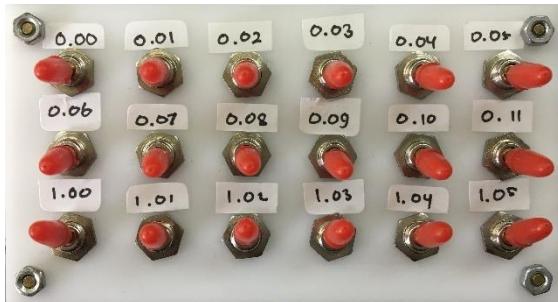
#### 4.2.10 Sequence 10

Ketika *toggle* sensor tegangan, sensor frekuensi, dan sensor fasa diaktifkan maka pemutus tenaga menutup(aktif), ditandai dengan perubahan warna biru ke warna merah. Pada Tabel 4.10 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor tegangan, sensor frekuensi, dan sensor fasa aktif.

**Tabel 4.10** Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 10

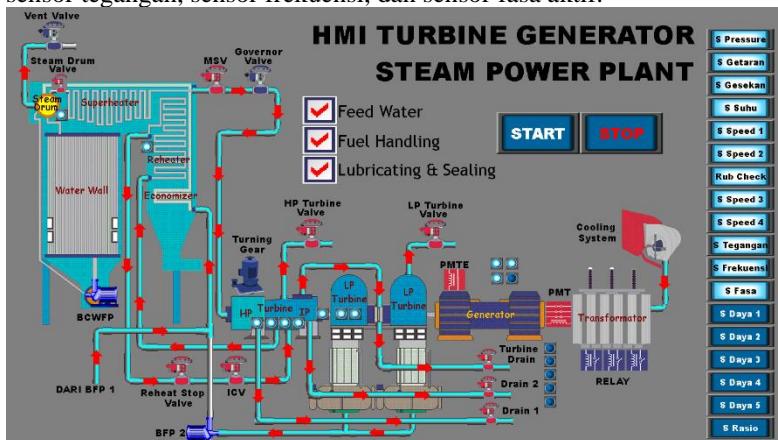
<i>Input</i>	Ouput	Aksi <i>Output</i>	Warna pada HMI
Sensor Tegangan, Sensor Frekuensi, dan Sensor Fasa	Pemutus Tenaga	Aktif	Biru → Merah

Pada Gambar 4.20 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor tegangan, sensor frekuensi, dan sensor fasa diaktifkan.



Gambar 4.20 Modul Input Sequence 10

Pada Gambar 4.21 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor tegangan, sensor frekuensi, dan sensor fasa aktif.



Gambar 4.21 Tampilan HMI Sequence 10

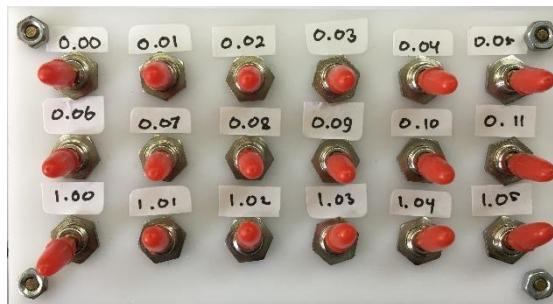
#### 4.2.11 Sequence 11

Ketika *toggle* sensor daya 1 diaktifkan maka akan mengaktifkan *timer* 2 yang berguna agar tegangan menjadi stabil. Pada Tabel 4.11 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor daya 1 aktif.

**Tabel 4.11** Perubahan Warna *Output* Sistem *Sequence* 11

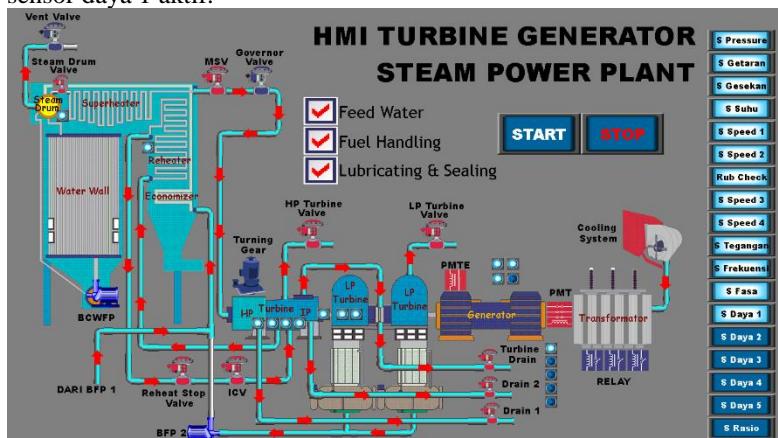
Input	Ouput	Aksi Output	Warna pada HMI
Sensor Daya 1	Timer 2	Aktif	-

Pada Gambar 4.22 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor daya 1 diaktifkan.



**Gambar 4.22** Modul *Input Sequence* 11

Pada Gambar 4.23 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor daya 1 aktif.



**Gambar 4.23** Tampilan HMI *Sequence* 11

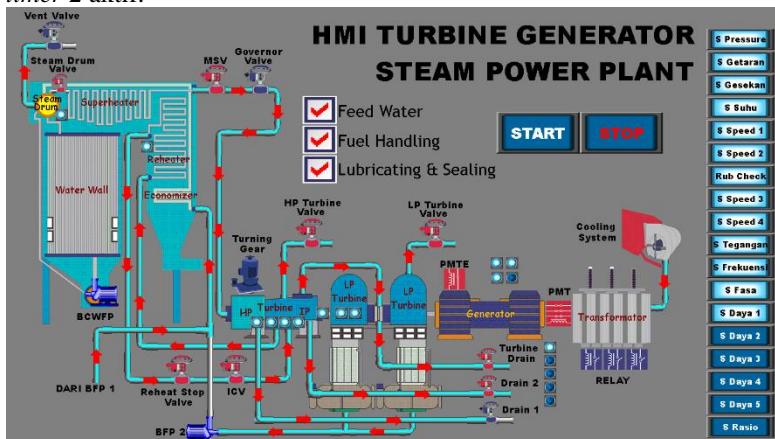
#### 4.2.12 Sequence 12

Ketika timer 2 telah selesai melakukan pelayanan maka *drain valve 1* menutup, ditandai dengan perubahan warna merah ke warna biru. Pada Tabel 4.12 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika *timer 2* aktif.

**Tabel 4.12** Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 12

Input	Ouput	Aksi <i>Output</i>	Warna pada HMI
Timer 2	Drain Valve 1	Tutup	Merah → Biru

Pada Gambar 4.24 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika *timer 2* aktif.



**Gambar 4.24** Tampilan HMI Sequence 12

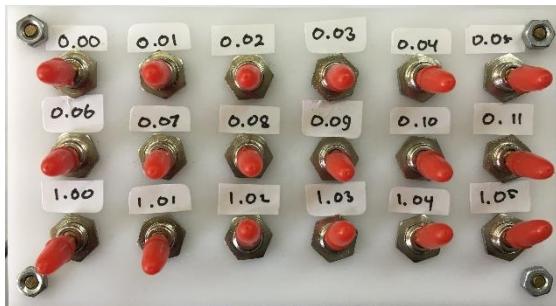
#### 4.2.13 Sequence 13

Ketika *toggle* sensor daya 2 diaktifkan maka *drain valve 2* menutup, ditandai dengan perubahan warna merah ke warna biru. Pada Tabel 4.13 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor daya 2 aktif.

**Tabel 4.13** Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 13

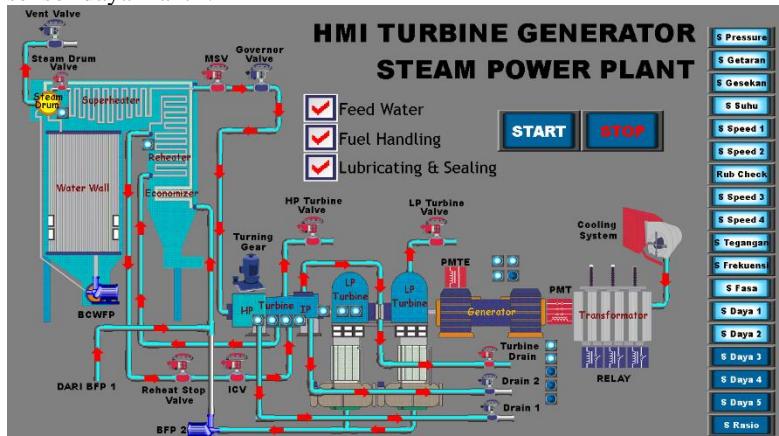
Input	Ouput	Aksi <i>Output</i>	Warna pada HMI
Sensor Daya 2	Drain Valve 2	Tutup	Merah → Biru

Pada Gambar 4.25 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor daya 2 diaktifkan.



Gambar 4.25 Modul Input Sequence 13

Pada Gambar 4.26 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor daya 2 aktif.



Gambar 4.26 Tampilan HMI Sequence 13

#### 4.2.14 Sequence 14

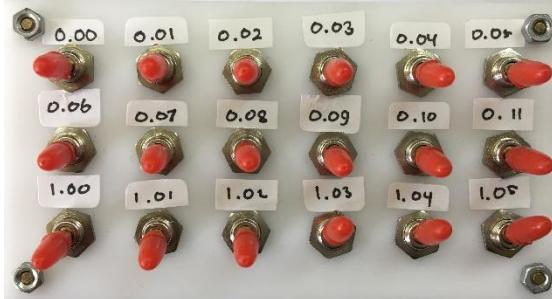
Ketika *toggle* sensor daya 3 diaktifkan maka *turbine drain valve* menutup, ditandai dengan perubahan warna merah ke warna biru. Pada Tabel 4.14 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor daya 3 aktif.

Tabel 4.14 Perubahan Warna Output Sistem Sequence 14

Input	Ouput	Aksi Output	Warna pada HMI
-------	-------	-------------	----------------

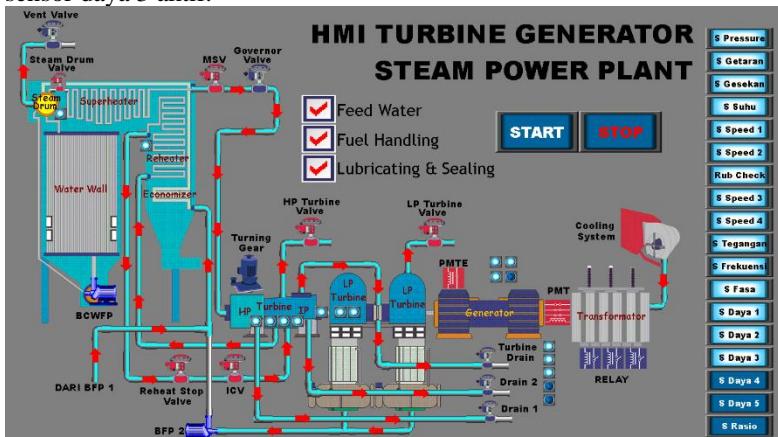
Sensor Daya	Turbine Drain Valve	Tutup	Merah → Biru
3			

Pada Gambar 4.27 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor daya 3 diaktifkan.



Gambar 4.27 Modul Input Sequence 14

Pada Gambar 4.28 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor daya 3 aktif.



Gambar 4.28 Tampilan HMI Sequence 14

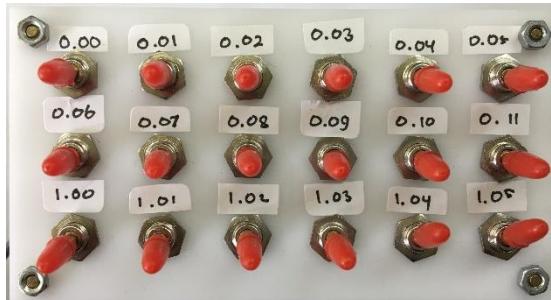
#### 4.2.15 Sequence 15

Ketika *toggle* sensor daya 4 diaktifkan maka akan mengaktifkan *timer* 3 yang berguna agar tegangan menjadi stabil. Pada Tabel 4.15 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor daya 4 aktif.

**Tabel 4.15** Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 15

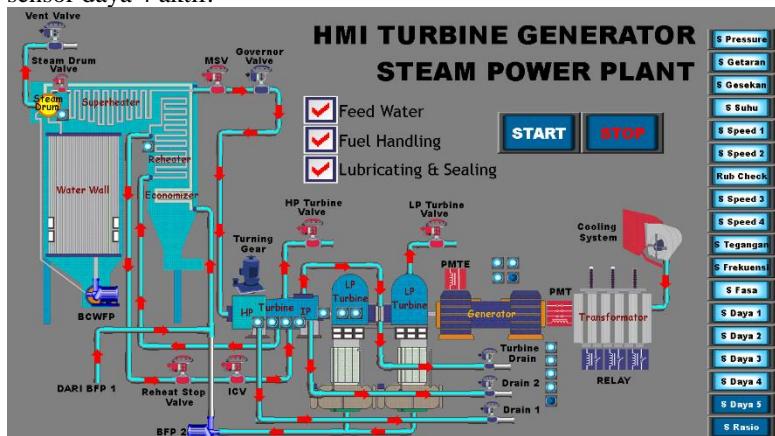
Input	Ouput	Aksi Output	Warna pada HMI
Sensor Daya 4	Timer 3	Aktif	-

Pada Gambar 4.29 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor daya 4 diaktifkan.



**Gambar 4.29** Modul *Input Sequence* 15

Pada Gambar 4.30 ditunjukan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor daya 4 aktif.



**Gambar 4.30** Tampilan HMI *Sequence* 15

#### 4.2.16 Sequence 16

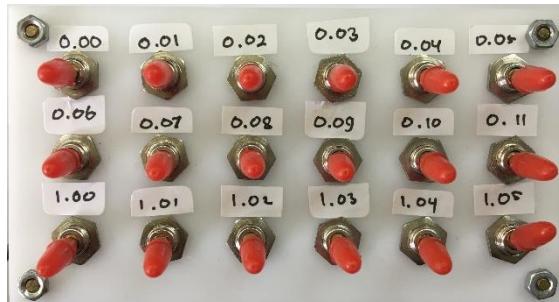
Ketika *toggle* sensor daya 5 diaktifkan maka *boiler feed pump* menyala, ditandai dengan perubahan warna biru ke warna merah. Pada

Tabel 4.16 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor daya 5 aktif.

**Tabel 4.16** Perubahan Warna *Output* Sistem Sequence 16

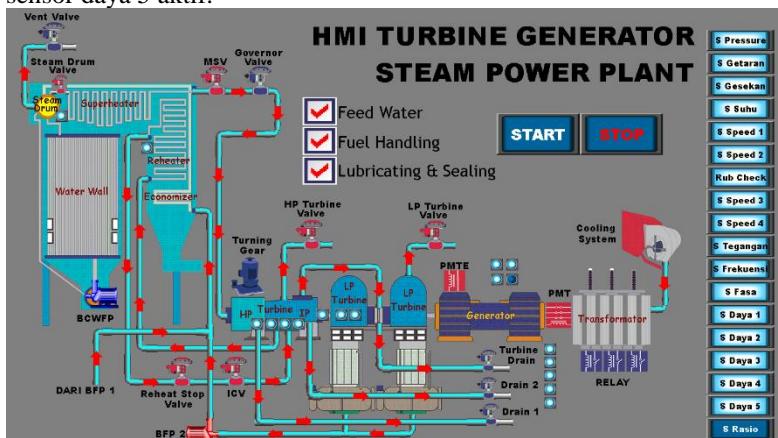
Input	Ouput	Aksi Output	Warna pada HMI
Sensor Daya 5	Boiler Feed Pump	Nyala	Biru → Merah

Pada Gambar 4.31 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor daya 5 diaktifkan.



**Gambar 4.31** Modul *Input Sequence 16*

Pada Gambar 4.32 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor daya 5 aktif.



**Gambar 4.32** Tampilan HMI *Sequence 16*

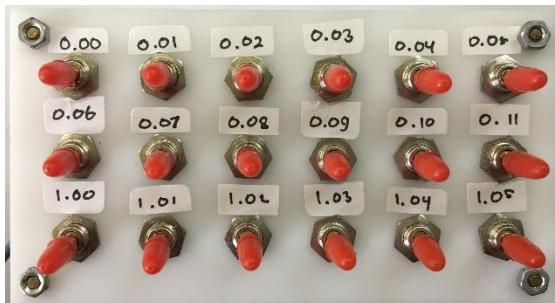
#### 4.2.17 Sequence 17

Ketika *toggle* sensor rasio diaktifkan maka protection *relay* terbuka(aktif), ditandai dengan perubahan warna biru ke warna merah. Pada Tabel 4.17 ditampilkan data *output* sistem yang bekerja ketika sensor rasio aktif.

**Tabel 4.17** Perubahan Warna *Output* Sistem *Sequence 17*

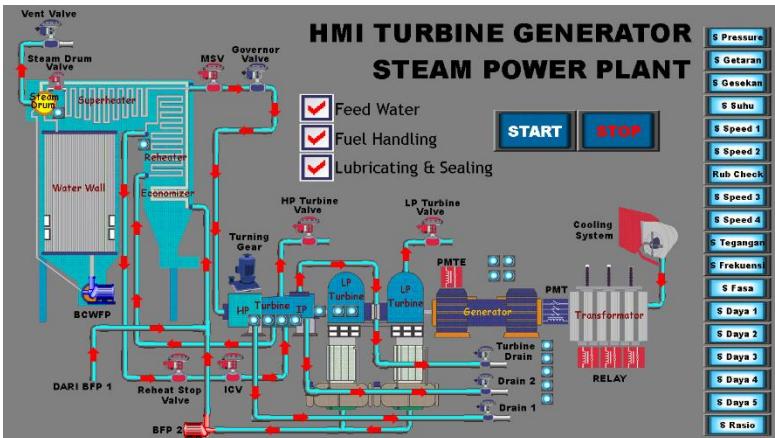
<i>Input</i>	Ouput	Aksi <i>Output</i>	Warna pada HMI
Sensor Rasio	<i>Protection Relay</i>	Aktif	Merah → Biru

Pada Gambar 4.33 ditampilkan kondisi *toggle* pada modul *input* yang dibuat ketika *toggle* sensor rasio diaktifkan.



**Gambar 4.33** Modul *Input Sequence 17*

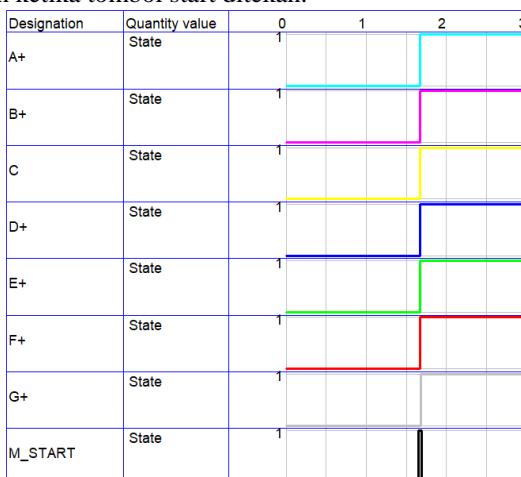
Pada Gambar 4.34 ditunjukkan kondisi dari tampilan HMI ketika sensor rasio aktif.



Gambar 4.34 Tampilan HMI Sequence 17

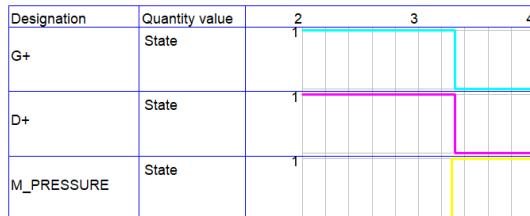
### 4.3 Pengujian dari *Timing Chart* Sistem

Pada pengujian ini *ladder diagram* yang telah dibuat pada *software Cx-programmer* akan dibuat kembali pada *software FluidSIM*. *Software FluidSIM* memiliki kelebihan untuk menampilkan *timing chart* dari sistem elektrik yang telah dibuat. Pada Gambar 4.35 ditampilkan *timing chart* sistem ketika tombol start ditekan.



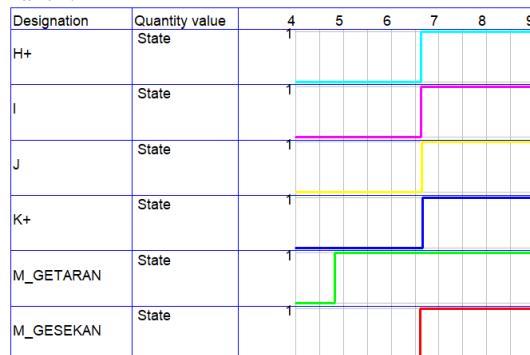
Gambar 4.35 Timing Chart 1

Pada Gambar 4.36 ditampilkan *timing chart* sistem ketika sensor pressure aktif.



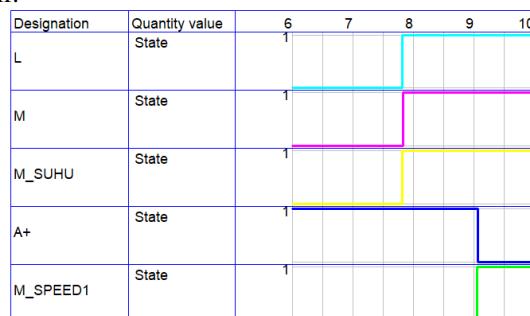
**Gambar 4.36 Timing Chart 2**

Pada Gambar 4.37 ditampilkan *timing chart* sistem ketika sensor getaran dan gesekan aktif.



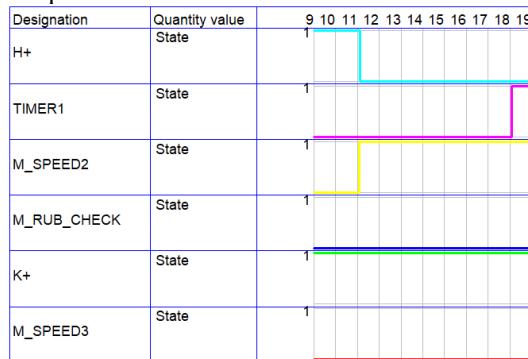
**Gambar 4.37 Timing Chart 3**

Pada Gambar 4.38 ditampilkan *timing chart* sistem ketika sensor suhu dan speed1 aktif.



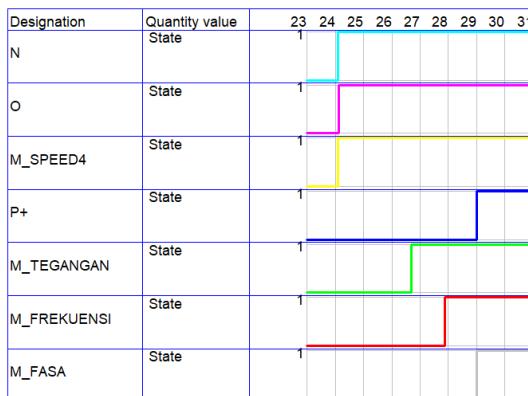
**Gambar 4.38 Timing Chart 4**

Pada Gambar 4.39 ditampilkan *timing chart* sistem ketika sensor speed2, rub check dan speed3 aktif.



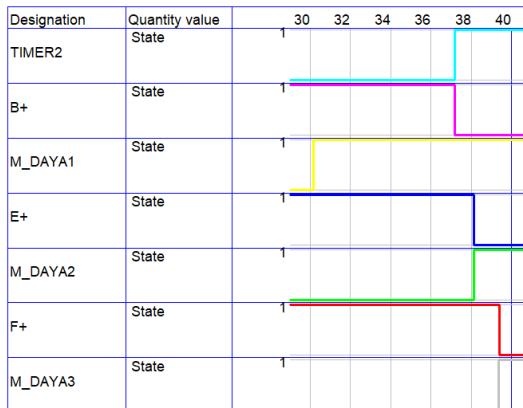
**Gambar 4.39** Timing Chart 5

Pada Gambar 4.40 ditampilkan *timing chart* sistem ketika sensor speed4, tegangan, frekuensi, dan fasa aktif.



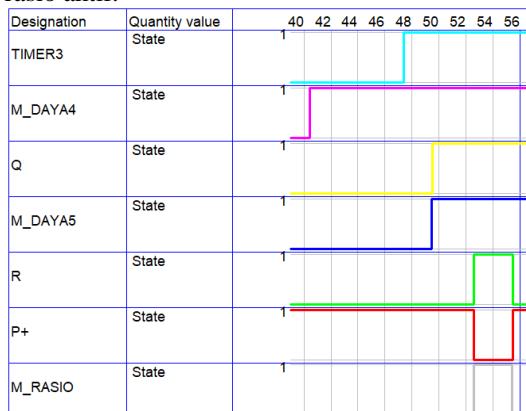
**Gambar 4.40** Timing Chart 6

Pada Gambar 4.41 ditampilkan *timing chart* sistem ketika sensor daya1, daya2, dan daya3 aktif.



**Gambar 4.41** *Timing Chart 7*

Pada Gambar 4.42 ditampilkan *timing chart* sistem ketika sensor daya4, daya5, dan rasio aktif.



**Gambar 4.42** *Timing Chart 8*

Dari seluruh *timing chart* yang ada dari hasil simulasi *software* FluidSIM, semuanya telah sesuai dengan *sequence* sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

#### 4.4 Pengujian Sistem Keseluruhan

Hasil pengujian sistem dirangkum menjadi satu tabel pada Tabel 4.18. Hasil dari pengujian ini adalah seluruh sistem sudah sesuai dengan rancangan *sequence* sistem.

**Tabel 4.18** Pengujian Sistem Keseluruhan

Grup	Input	Output	Aksi	Normal
1	Tombol Start	<i>Turning Gear</i>	Aktif	✓
		<i>Drain Valve(1)</i>	Terbuka	✓
		<i>Vent Valve</i>	Tertutup	✓
		<i>Steam Drum Valve</i>	Tertutup	✓
		<i>Drain Valve(2)</i>	Terbuka	✓
		<i>Turbine Drain Valve</i>	Terbuka	✓
		<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i>	Aktif	✓
2	Sensor Pressure	<i>Boiler Circulating Water Feed Pump</i>	Mati	✓
		<i>Steam Drum Valve</i>	Terbuka	✓
	Sensor Getaran, Sensor Gesekan	<i>Main Stop Valve</i>	Terbuka	✓
		<i>Auxiliary Steam High Pressure Turbine</i>	Terbuka	✓
		<i>Interceptor Control Valve</i>	Terbuka	✓
		<i>Governor Valve</i>	Terbuka	✓
		<i>Reheat Stop Valve</i>	Terbuka	✓
3	Sensor Suhu	<i>Auxiliary Steam Low Pressure Turbine</i>	Terbuka	✓
		<i>Turning Gear</i>	Mati	✓
		<i>Main Stop Valve</i>	Tertutup	✓
4	Sensor Speed 2	<i>Timer 1</i>	Aktif	✓
		<i>Main Stop Valve</i>	Terbuka	✓
	Sensor Speed 3	<i>Governor Valve</i>	Tertutup	✓
	Sensor Speed 4	<i>PMT Eksitasi</i>	<i>Close</i>	✓

<b>Grup</b>	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Aksi</b>	<b>Normal</b>
Sensor Tegangan, Sensor Frekuensi, Sensor Fasa		<i>Cooling System Transformator</i>	Aktif	✓
	Sensor Daya 1	PMT Generator	<i>Close</i>	✓
	<i>Timer 2</i>		Tertutup	✓
	<i>Timer 2</i>	<i>Drain Valve(1)</i>	Tertutup	✓
	Sensor Daya 2	<i>Drain Valve(2)</i>	Tertutup	✓
	Sensor Daya 3	<i>Turbine Drain Valve</i>	Tertutup	✓
	Sensor Daya 4	<i>Timer 3</i>	Aktif	✓
	Sensor Daya 5	<i>Boiler Feed Pump</i>	Aktif	✓
	Sensor Rasio	<i>Protection Relay</i>	Mati	✓
		PMT Generator	Open	✓

#### 4.5 Analisa Hasil

Sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari 31 aksi atau *sequence* yang didukung oleh 20 buah *input*, dan 18 *output*. Ladder Diagram seluruh sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari 67 rung. 17 rung untuk input, 33 rung proses, dan 17 rung untuk output (aktuuator). Untuk mendukung proses, digunakan timer 3 buah timer, 79 buah *flag* atau *memory*, dan 264 kontak dan *relay*. Besar program Cx-Programmer yang dihasilkan memiliki ukuran 14,4 KB dan besar program Cx-Designer yang dihasilkan memiliki ukuran 4,73 MB.

Setelah 10 kali dicoba dari proses awal sampai akhir maka didapatkan waktu dan keberhasilan sistem. Pada Tabel 7. Ditampilkan keberhasilan dan lama waktu pada proses pengujian sistem yang dilakukan sebanyak 10 kali percobaan.

**Tabel 4.19** Pengujian Sistem 10 kali

Percobaan Ke-	Berhasil/ Tidak Berhasil	Waktu
1	Berhasil	1 Menit 20 Detik
2	Berhasil	1 Menit 25 Detik
3	Berhasil	1 Menit 9 Detik
4	Berhasil	1 Menit 5 Detik

5	Berhasil	1 Menit 11 Detik
6	Berhasil	1 Menit 24 Detik
7	Berhasil	1 Menit 20 Detik
8	Berhasil	1 Menit 32 Detik
9	Berhasil	1 Menit 21 Detik
10	Berhasil	1 Menit 15 Detik

Setelah dilakukan uji coba sebanyak 10 kali, seluruh percobaan berhasil, untuk waktu yang dihasilkan terlama yaitu 1 menit 32 detik dan untuk waktu tercepat yaitu 1 menit 5 detik. Rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam 10 kali percobaan adalah 1 menit 18 detik.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Proses konstruksi *Ladder Diagram* dengan menggunakan metode Cascade dapat dilakukan dan telah berhasil dilakukan simulasi sehingga urutan logika sesuai dengan urutan proses yang diinginkan dan menghasilkan beberapa poin sebagai berikut.

- a) Proses konstruksi *Ladder Diagram* dengan menggunakan metode Cascade dapat dilakukan sesuai dengan urutan logika yang diinginkan.
- b) Sistem koversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari 31 aksi atau *sequence* yang didukung oleh 20 buah *input*, dan 18 *output*.
- c) Metode Cascade dapat digunakan untuk proses *start-up* sistem koversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.
- d) Besar program Cx-Programmer yang dihasilkan memiliki ukuran 14,4 KB.
- e) Besar program Cx-Designer yang dihasilkan memiliki ukuran 4,73 MB.
- f) *Ladder Diagram* seluruh sistem koversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari 67 rung. 17 rung untuk *input*. 33 rung proses, dan 17 rung untuk *output* (aktuuator).
- g) Untuk mendukung proses, digunakan 3 buah *timer*, 79 buah flag atau *memory*, dan 264 kontak dan *relay*.
- h) Diperlukan PLC tipe modular dengan fasilitas *input* dan *output* yang memadai untuk melakukan implementasi pada sistem koversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap.

#### 5.2 Saran

Terdapat berbagai macam metode dalam menyelesaikan permasalahan pada pengerjaan *Ladder Diagram*. Terdapat kekurangan dan kelebihan dari masing-masing metode. Sebaiknya pada sistem koversi energi pada pembangkit listrik dibandingkan pula pengerjaannya dengan metode lain sehingga dapat mengetahui metode yang paling sesuai untuk digunakan pada pengerjaan sistem ini.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **DAFTAR PUSTAKA**

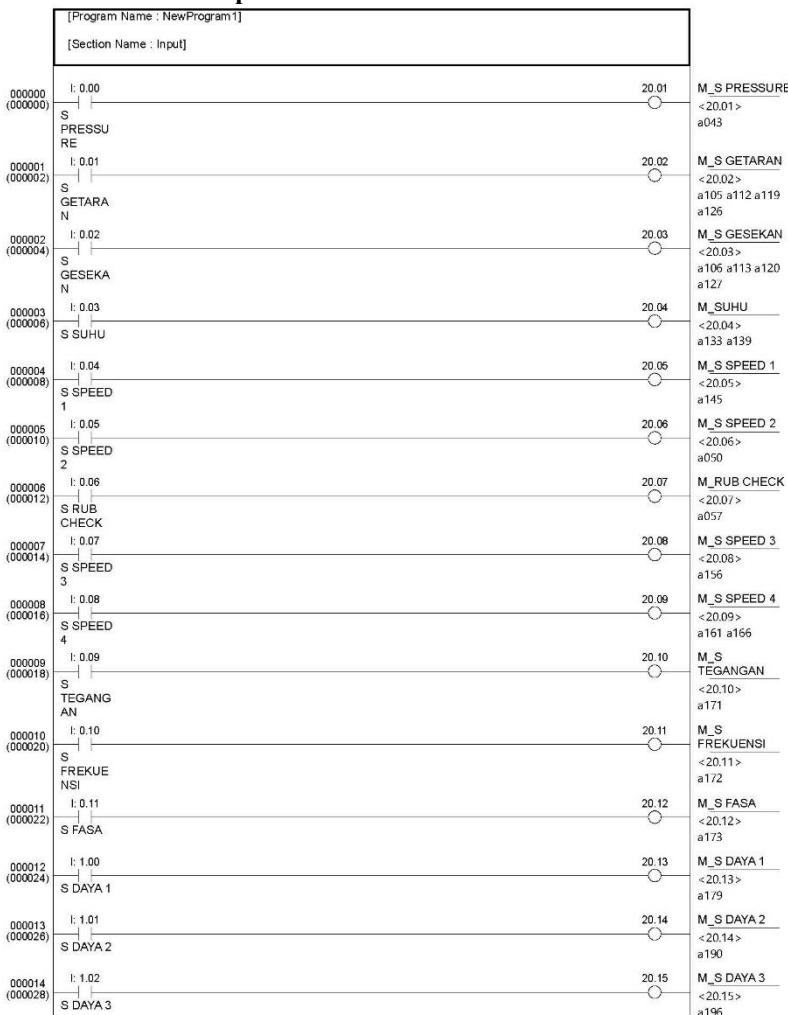
- [1] Bolton, W. 2009. *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*, Jakarta. Erlangga.
- [2] Gilman, G.F. 2010. *Boiler Control System Engineering*. New York. ISA.
- [3] Iskandar, Eka, Mochammad Rameli, dan Rafly Adiyat. 2017. *Ladder Diagram based on Cascade for Selection and Assembling Part on Dual Conveyor*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] Menesis, Stamatios and George Nikolakopoulos. 2018. *Introduction to Industrial Automation*. Boca Raton. Taylor & Francis Group.
- [5] Pessen, David W. 1989. *Industrial automation: circuit design and components*. New York. John Wiley & Sons.
- [6] Veatch, Black. 1996. *Power Plant Engineering*. New York. Springer.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## LAMPIRAN A

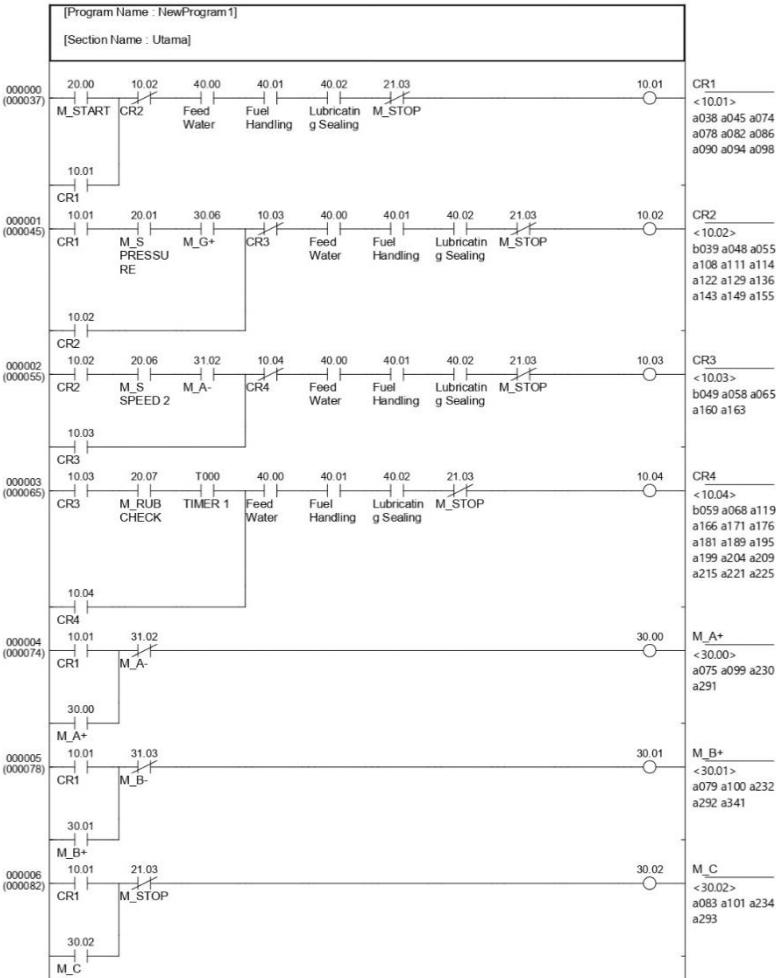
### A.1 Lampiran Program *Ladder Diagram*

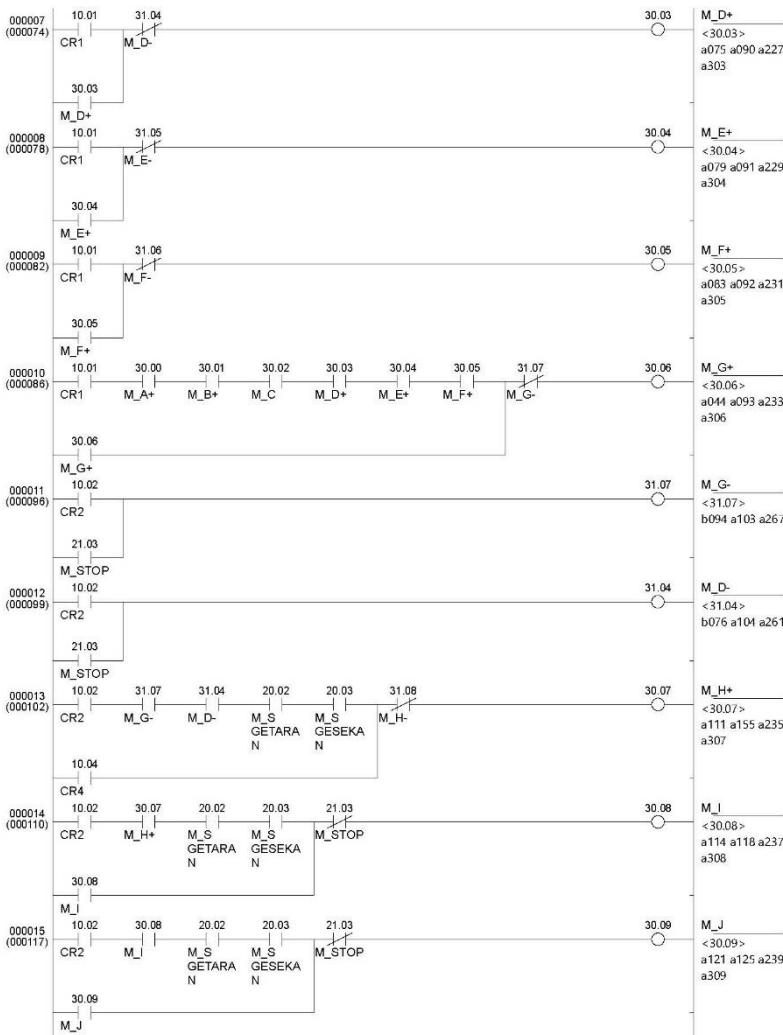
#### A.1.1 Ladder Input

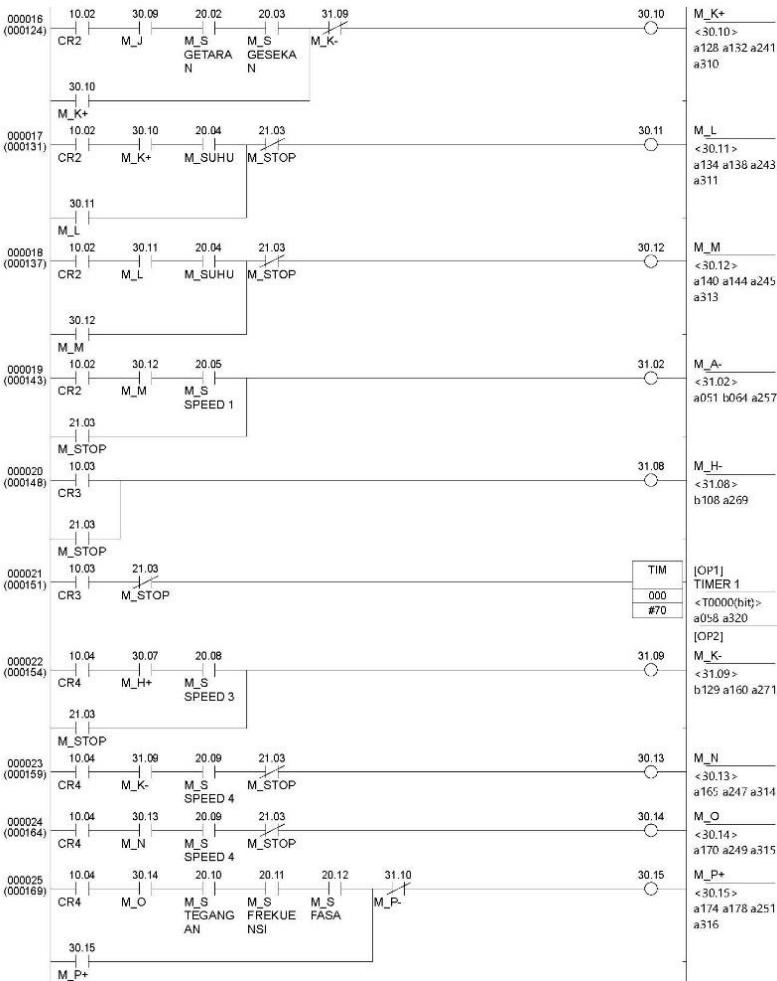


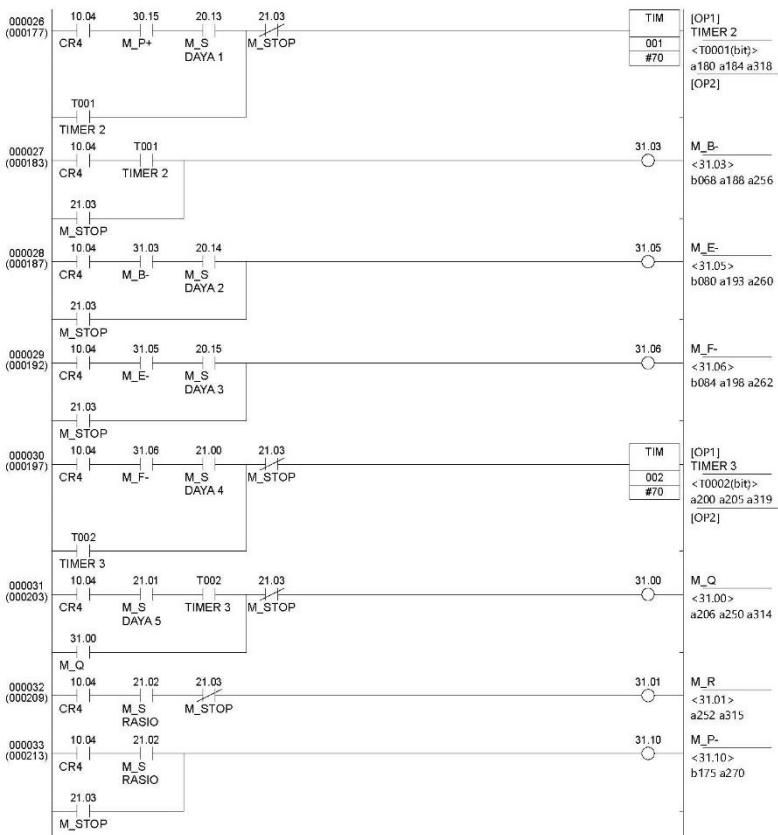


### A.1.2 Ladder Proses

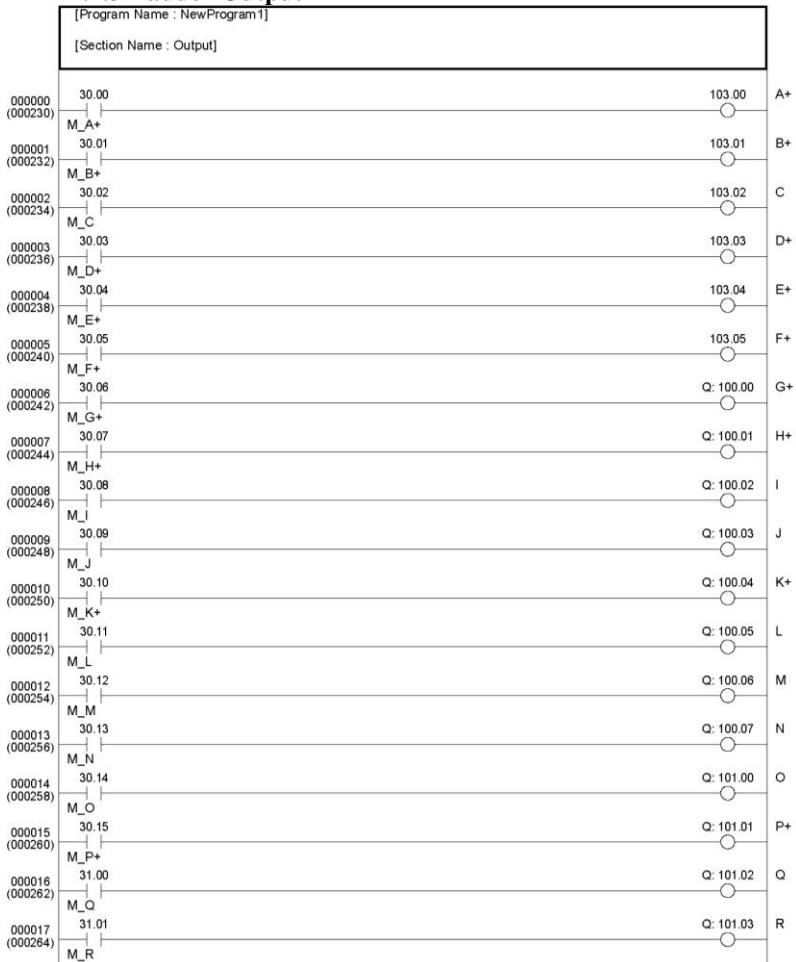




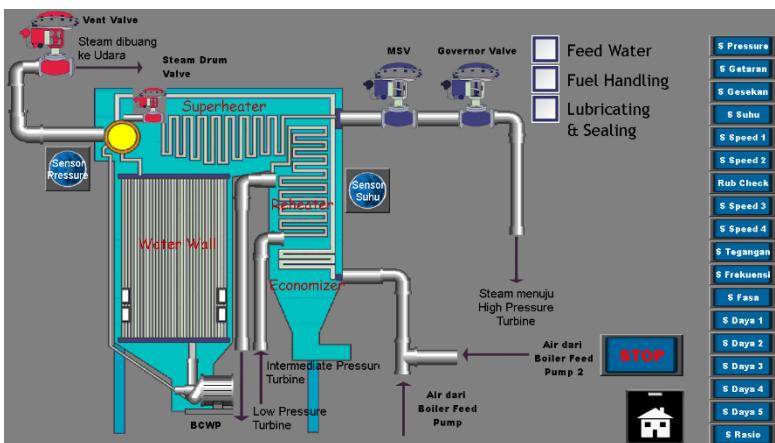
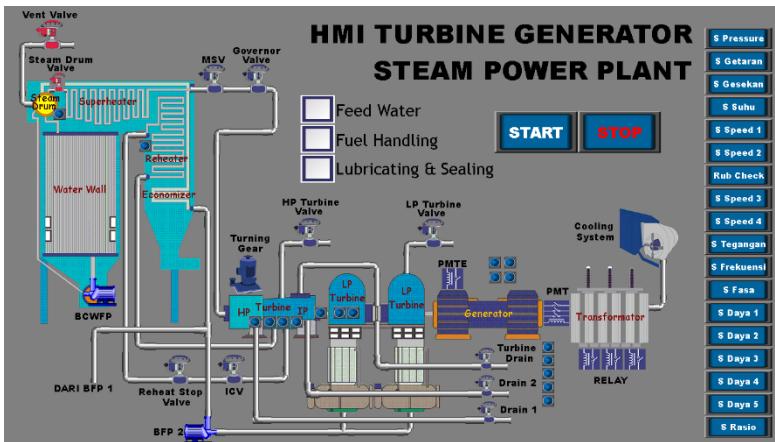


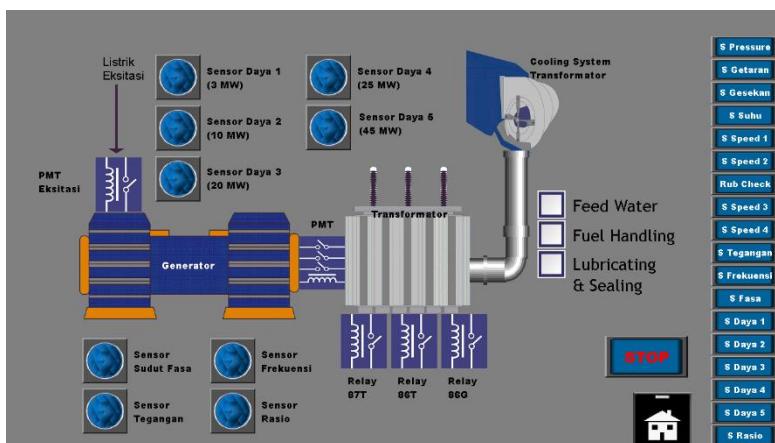
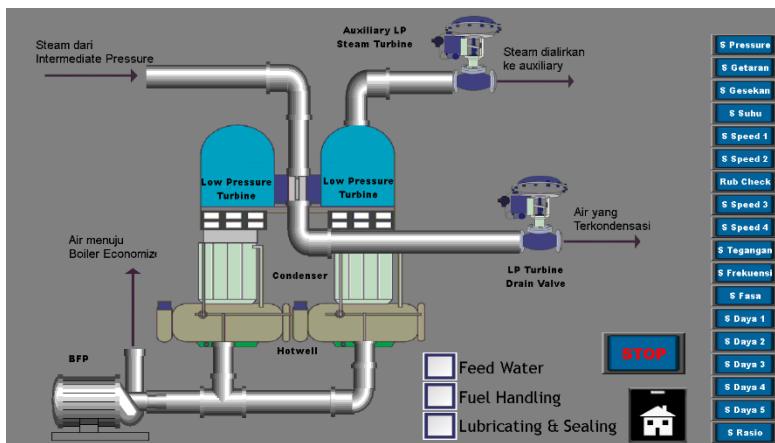


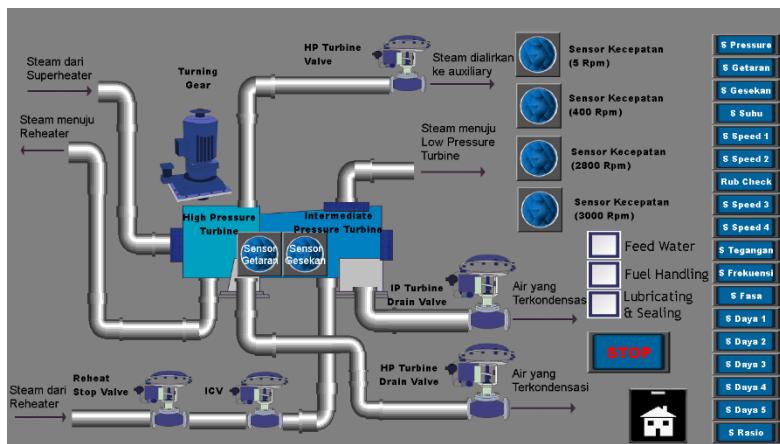
### A.1.3 Ladder Output



## A.2 Lampiran Program HMI

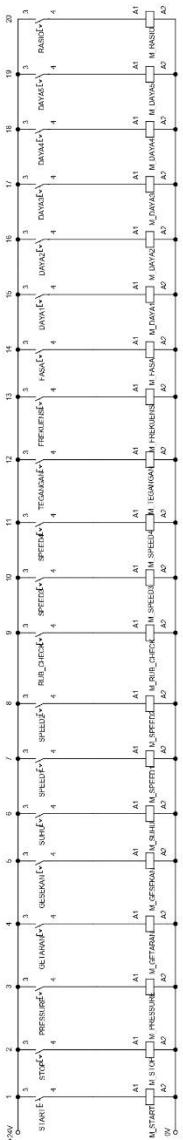


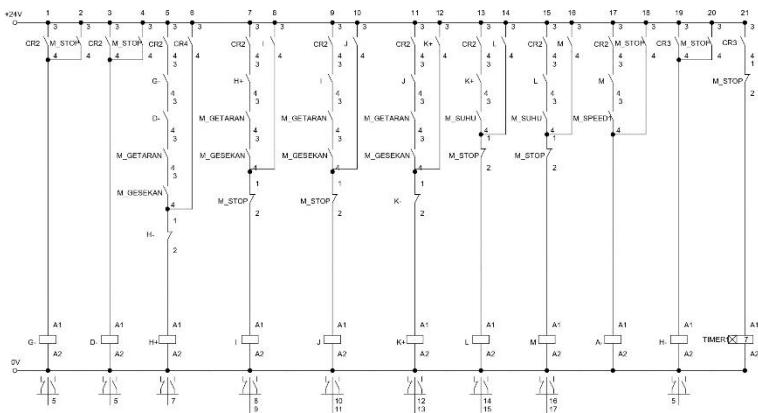
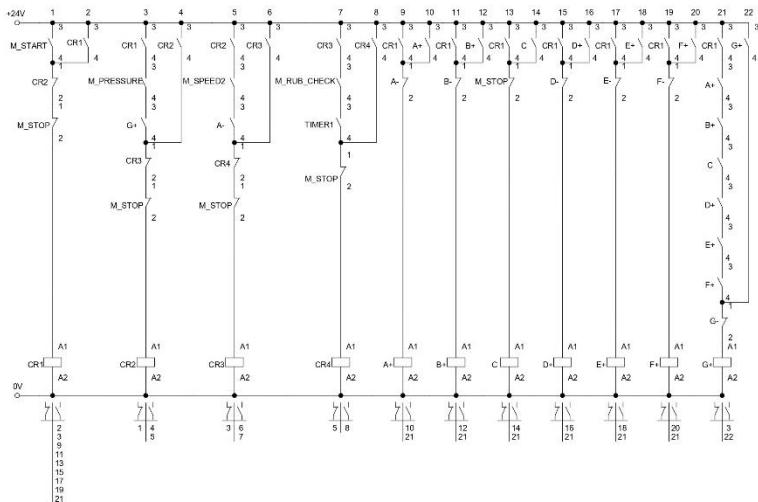


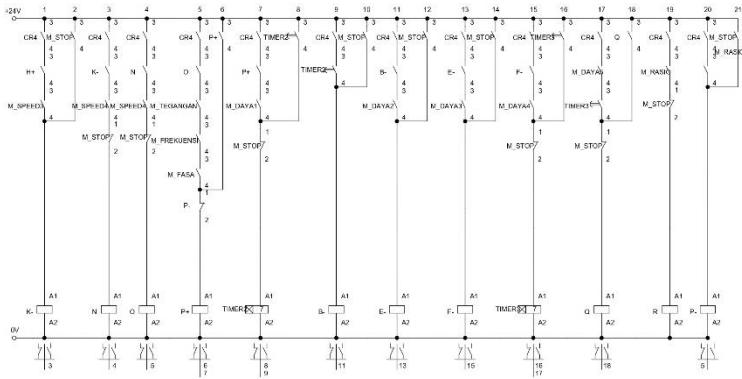


-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

### A.3 Lampiran Program FluidSIM



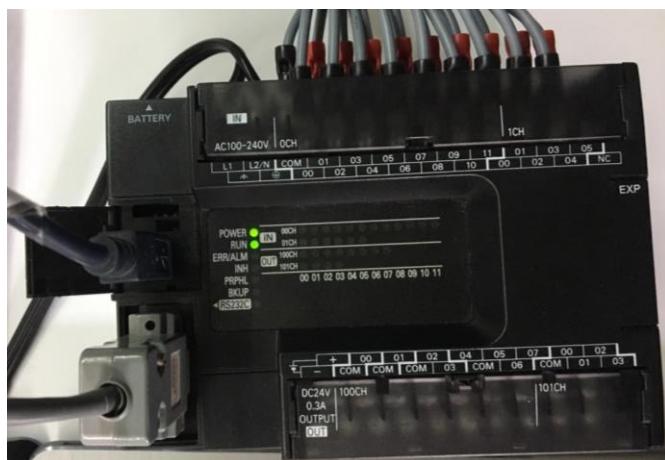
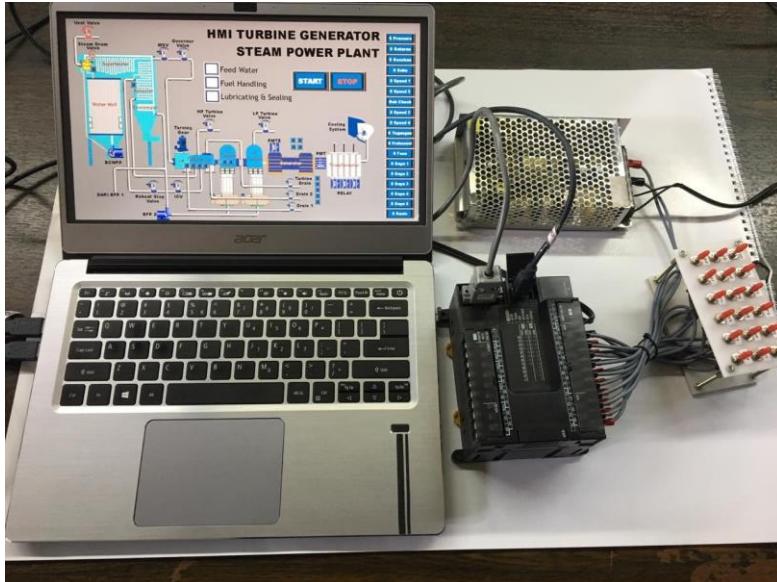


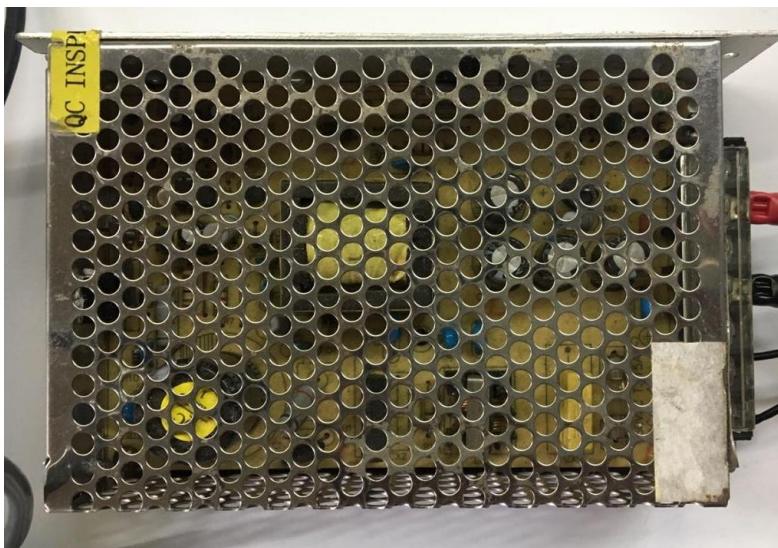


-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## LAMPIRAN B

### B.1 Dokumentasi





## Riwayat Hidup



Azrizal Akbar, lahir di Jakarta pada tanggal 18 April 1996. Anak Kedua dari pasangan ayahanda Haris Iskandar dan ibunda Oktavia Rahmi. Setelah menempuh pendidikan formal di SDS Tadika Puri Klender, SMPN 255 Jakarta dan SMAN 61 Jakarta, penulis melanjutkan melanjutkan studi Diploma 3 jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan lulus tahun 2017. Kemudian melanjutkan kuliah Lintas Jalur Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan.

Kontak: azrizal14@mhs.ee.its.ac.id