

**TUGAS AKHIR**  
**RANCANG BANGUN SIMULATOR PENGENDALIAN**  
**REAKTOR KARTINI BERBASIS PLC DENGAN AKTUATOR**  
**CRDM**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan

**Program Studi Elektronika Instrumentasi**  
**Jurusan Teknophysika Nuklir**



Disusun oleh

**SINTA URI EL HAKIM**  
**021300367**

**SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR**  
**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**  
**YOGYAKARTA**

**2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**TUGAS AKHIR**  
**RANCANG BANGUN SIMULATOR PENGENDALIAN**  
**REAKTOR KARTINI BERBASIS PLC DENGAN**  
**AKTUATOR CRDM**

**Oleh:**  
**SINTA URI EL HAKIM**  
**NIM 021300367**

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji pada Tanggal 1 Agustus 2017  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

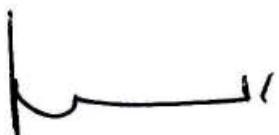
Susunan Dewan Penguji

Ketua Dewan Penguji,



**Dr. Anwar Budianto, DEA**  
**NIP 19570708 19803 1 005**

Anggota I



**Ir. Djivo Harsono, M.Eng**  
**NIP 19590202 198512 1 001**

Anggota II



**Dr. Sutanto, M. Eng**  
**NIP 19820218 200604 1 016**



## HALAMAN PERSETUJUAN

### TUGAS AKHIR

# RANCANG BANGUN SIMULATOR PENGENDALIAN REAKTOR KARTINI BERBASIS PLC DENGAN AKTUATOR CRDM

Diajukan Oleh

SINTA URI EL HAKIM  
NIM 021300367

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I



Adi Abimanyu, M.Eng.  
NIP 19820930 200901 1 002

Pembimbing II



Dr. Sutanto, M.Eng.  
NIP 19820218 200604 1 016

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknofisika Nuklir



Dr. Muhtadan, M.Eng.  
NIP 19830301 200604 1 004

## **HALAMAN PERSETUJUAN INSTANSI**

### **TUGAS AKHIR**

# **RANCANG BANGUN SIMULATOR PENGENDALIAN REAKTOR KARTINI BERBASIS PLC DENGAN AKTUATOR CRDM**

**Diajukan Oleh**

**SINTA URI EL HAKIM  
NIM 021300367**

Telah disetujui dan disahkan oleh :

PUSAT SAINS DAN TEKNOLOGI AKSELERATOR  
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

Plh. Kepala Bidang Reaktor

a.n Pembimbing

**Tri Nugroho Hadi Susanto, M. Eng**      **Tri Nugroho Hadi Susanto, M. Eng**  
**NIP 19830901 200801 1 006**      **NIP 19830901 200801 1 006**

Mengetahui,  
Kepala PSTA BATAN

**Dr. Susilo Widodo, M.Eng**  
**NIP 19580414 198003 1 005**

## **HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sinta Uri El Hakim

NIM : 021300367

Program Studi : Elektronika Instrumentasi

Judul Tugas Akhir :

### **RANCANG BANGUN SIMULATOR PENGENDALIAN REAKTOR KARTINI BERBASIS PLC DENGAN AKTUATOR CRDM**

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya penulis dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah penulis nyatakan dengan benar.

Yogyakarta, 1 Agustus 2017

Penulis,  


SINTA URI EL HAKIM  
021300367

## MOTTO

*“Our fate lives within us. You only have to be brave enough to see it. You control your destiny, you don’t need magic to do it. And there is no magical shortcut to solve your problem”-Merida-*

*“You must not let anyone define your limits, because of where you come from. Your only limit is your soul”-Gusteau-*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah yang telah memberikan kenikmatan berupa nikmat sehat, nikmat waktu, dan nikmat iman sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Rancang Bangun Simulator Pengendalian Reaktor Kartini Berbasis PLC dengan Aktuator CRDM.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kepada:

1. Allah SWT, berkat rahmat, ridho, serta perlindungan-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar. Semoga tugas akhir ini barokah. Aamiin Allahhumma Aamiin.
2. Ayahanda Satriyo dan Ibunda Sri Kadarwati yang senantiasa memanjatkan doa untuk kelancaran dan kemudahan penulis dalam menyelesaikan pendidikan di Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. Juga untuk Mas tersayang, Seto Ari Bowo Aji dan Sonny Angga Kusuma. Serta Mbak tersayang Siti Maria Ulfa dan Atika Trisna Nurmaningtyas.
3. Bapak Dr. Susilo Widodo, M.Eng selaku Kepala Pusat Sains dan Teknologi Akselerator Yogyakarta.
4. Bapak Edy Giri Rachman Putra, P.hD. selaku Ketua STTN-BATAN Yogyakarta.

5. Bapak Taxwim, ST selaku Kepala Bidang Reaktor PSTA-BATAN Yogyakarta dan Pembimbing Instansi terkait yang senantiasa mengingatkan penulis.
6. Bapak Dr. Muhtadan, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknafisika Nuklir STTN-BATAN Yogyakarta yang telah memberikan dukungan kepada penulis dan izin untuk melakukan penelitian Tugas Akhir ini.
7. Bapak Dr. Sutanto, M.Eng selaku Ketua Program Studi Elektronika Instrumentasi dan dosen pembimbing kedua yang telah memberikan ilmu pengetahuan, waktu, semangat, motivasi, serta kesabaran dalam membimbing penulis.
8. Bapak Muhamad Subchan, ST selaku Kepala Sub Bidang Operasi dan Perawatan PSTA-BATAN Yogyakarta yang sekaligus sebagai pembimbing lapangan di Reaktor Kartini yang telah memberikan fasilitas dan masukan selama penulis melaksanakan penelitian.
9. Bapak Wagirin, SST selaku Kepala Sub Bidang Keteknikan PSTA-BATAN Yogyakarta yang telah memberikan semangat dan membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian.
10. Bapak Adi Abimanyu, M.Eng. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan ilmu pengetahuan, waktu, semangat, motivasi, serta bimbingan terbaik kepada penulis.
11. Bapak Ir. Djiwo Harsono, M.Eng selaku dosen penguji yang masih menyempatkan waktu untuk memberikan masukan dan pengarahan bagi

penulis serta menyediakan ruang untuk bereksplorasi dalam mengerjakan Tugas Akhir.

12. Bapak Dr. Anwar Budianto, DEA selaku dosen penguji dan dosen wali yang telah memberikan banyak masukan dan kritik kepada penulis dalam penelitian ini.
13. Bapak Nur Hidayat, SST selaku pembimbing lapangan, Bapak Heryuli, SST yang telah rela berbagi ruangan bersama penulis selama melakukan penelitian, Mas Awan, Garin Surya, Bunga Permata Adviani, Vera Afrilia, dan Diex Rama yang tiada hentinya membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir.
14. Segenap dosen STTN-BATAN Yogyakarta yang telah berbagi ilmu pengetahuan, pengalaman, dan pembelajaran kepada penulis selama menempuh pendidikan di STTN-BATAN Yogyakarta.
15. Muhammad Nashir, Adib Afham, Atun, Popoy, Ardina, Mufqi Syamsudin, dan Yuda Prabowo yang selalu memberikan motivasi dan semangat.
16. Ratih Noor Ikhlasari, saudara perempuan yang paling mengerti.
17. Anita Riau Chandra, Novia Nindyarizky, Adinta Kusumawati perempuan-perempuan hebat yang tumbuh bersama saya, kalian adalah sumber semangat dan motivasi.
18. Melati Iftacharo yang selalu menemani lembur setiap malam dan Rindi Wulandari.
19. Keluarga besar Elektronika Instrumentasi 2013 yang telah berjuang bersama penulis dalam menempuh pendidikan di STTN-BATAN Yogyakarta.

20. Keluarga Ibu Heri dan Bapak Joko yang telah berbaik hati kepada penulis selama menjalani perkuliahan di Yogyakarta.
21. Kak Alfarisie, Kak Satrio Pradana, Mas Bimo, dan Mbak Khusnia Normawati senior-senior hebat yang telah menularkan berbagai pengalaman dan cerita besar.
22. Penghuni Kost Al-fath yang senantiasa memberikan penulis semangat setiap hari untuk segera menyelesaikan tugas akhir, Mbak Opie dan Mbak Come kalian *supporter* terbaik.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada penyusunan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari berbagai pihak. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta, 1 Agustus 2017

Penulis,



Sinta Uti El Hakim  
021300367

## **ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN**

AAN	= Analisis Aktivasi Neutron
ADC	= <i>Analog Digital Converter</i>
CRDM	= <i>Control Rod-Drive Mechanism</i>
DI	= <i>Digital Input</i>
DIO	= <i>Digital Input Output</i>
DO	= <i>Digital Output</i>
LabVIEW	= <i>Laboratory Virtual Instrument Workbench</i>
MPI	= <i>Multi-Peripheral Interface</i>
NC	= <i>Normally Close</i>
HMI	= <i>Human Machine Interface</i>
HMI	= <i>Human Machine Interface</i>
OLE	= <i>Object Linking and Embedding</i>
OPC	= <i>OLE for Process Control</i>
PC	= <i>Personal Computer</i>
PLC	= <i>Programmable Logic Controller</i>
SIK	= Sistem Instrumentasi dan Kendali
TRIGA	= <i>Training Research and Isotope production General Atomic</i>

## ***ABSTRACT***

***DESIGN OF CONTROLLING SIMULATOR OF REACTOR KARTINI BASED ON PLC USING CRDM AS ACTUATOR.*** Kartini's reactor simulator design has been done to provide a system that can be used as a training hardware for reactor operator by applying PLC Siemens S7 as a control module and LabVIEW software as a data processor. The purpose of this research is to design a simulator system to operate Kartini's Reactor based on reactor kinetics modeling using PLC Siemens S7 as a CRDM controller. LabVIEW software is used as data acquisition and data information processing using reactor kinetics formula to convert the change of height position of control Rod into power information. Control Rod position that obtained from CRDM control will be sent to PC and being processed by software to obtain power. Power that obtained from simulation at 100 kW operation are 100% safety Rod, 60% SHIM Rod, and 37.05% regulator Rod.

*Key word:* CRDM, PLC Siemens S7, LabVIEW, Reactor Kinetics, simulation

## INTISARI

### **RANCANG BANGUN SIMULATOR PENGENDALIAN REAKTOR KARTINI BERBASIS PLC DENGAN AKTUATOR CRDM.**

Rancang bangun simulator reaktor kartini dilakukan dalam usaha untuk memberikan suatu perangkat yang dapat digunakan sebagai sarana pelatihan untuk operator reaktor, dengan mengaplikasikan PLC Siemen S7 sebagai modul pengontrol dan perangkat lunak LabVIEW sebagai pengolah data. Penelitian ini bertujuan untuk merancangbangun sebuah simulator pengoperasian Reaktor Kartini berdasarkan model kinetika reaktor menggunakan PLC Siemens S7 sebagai kendali CRDM. LabVIEW sebagai data akuisisi dan pengolah informasi menggunakan persamaan kinetika reaktor untuk mengubah perubahan posisi batang kendali menjadi informasi perubahan daya. Posisi batang kendali yang diperoleh dari pengendalian CRDM akan dikirimkan ke PC dan akan diproses oleh software untuk menghasilkan daya. Daya yang diperoleh dari simulasi saat operasi 100 kW adalah *safety* 100%, *shim* 60%, dan regulator 37.05%.

Kata Kunci: CRDM, PLC Siemens S7, LabVIEW, Kinetika Reaktor, simulasi

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN INSTANSI.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xi
<i>ABSTRACT</i> .....	xii
INTISARI.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xix
PERSEMPAHAN .....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Keaslian Penelitian .....	3
1.3 Rumusan Masalah .....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II LANDASAN TEORI .....	6
2.1 Tinjauan Pustaka .....	6
2.2 Landasan Teori .....	8
2.2.1 Reaktor Kartini (TRIGA Mark II).....	8
2.2.2 PLC Siemens S7 .....	19
2.2.3 Kinetika dan Kendali Reaktor Kartini.....	28
2.2.4 <i>Control Rod-Drive Mechanism (CRDM)</i> .....	36
2.2.5 Komunikasi Serial RS-232.....	39
2.2.6 Perangkat Lunak LabVIEW .....	41
2.3 Hipotesis.....	48
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	49
3.1 Alat dan Bahan .....	49
3.1.1 Alat.....	49
3.1.2 Bahan .....	49
3.2 Tata Laksana Penelitian.....	50
3.2.1 Studi Pustaka.....	50
3.2.2 Identifikasi Masalah.....	51

3.2.3	Perancangan Sistem .....	51
3.2.4	Pengujian dan Analisis Sistem .....	85
3.2.5	Penulisan Laporan.....	91
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>92</b>
4.1	Hasil Pengembangan Modul Simulasi Parameter Proses .....	92
4.2	Hasil Pengujian Simulasi Program .....	94
4.3	Hasil Pengujian <i>Hardware</i> Simulasi <i>On-Line</i> .....	106
4.4	Hasil Pengujian <i>Software</i> Simulasi Kinetika Reaktor.....	108
4.5	Hasil Perbandingan Running Program dengan Operasi <i>Real</i> .....	118
4.6	Hasil Pengujian <i>OPC Server</i> (Komunikasi Serial PLC to PC).....	119
4.7	Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem .....	120
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	.....	<b>122</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>124</b>
Lampiran 1 .....	.....	126
Lampiran 2 .....	.....	132
Lampiran 3 .....	.....	137
Lampiran 4 .....	.....	139

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Tampak Bujur Reaktor Kartini (Khanifatun, 2007).....	9
Gambar 2. 2	Posisi Batang Kendali pada Teras Reaktor (Puradwi et al., 2012) .....	10
Gambar 2. 3	Skema Pengandalian Daya Dalam Reaktor (Abimanyu and Prajitno, 2016).....	16
Gambar 2. 4	Skema Proses PLC (Siemens, 2013b) .....	20
Gambar 2. 5	Komponen Pendukung PLC (Pramudijanto, 2011) .....	21
Gambar 2. 6	Bagaian-bagian CPU (Pramudijanto, 2011) .....	22
Gambar 2. 7	Memori <i>Map</i> pada PLC (Wicaksono, 2012).....	23
Gambar 2. 8	Operator Kontrol dan Indikator CPU 313C (Siemens, 2013a) .....	25
Gambar 2. 9	Analog <i>input/output</i> CPU 313C (Siemens, 2013a).....	27
Gambar 2. 10	Siklus Hidup Neutron pada Reaktor Thermal (Shultis and Faw, 2002) .....	28
Gambar 2. 11	Proses terjadinya Neutron Kasip (Shultis and Faw, 2002) .....	35
Gambar 2. 12	Struktur CRDM (Lee and Koo, 2013) .....	36
Gambar 2. 13	Mekanisme Penggerak Batang Kendai Reaktor Kartini (Abimanyu and Prajitno, 2016) .....	37
Gambar 2. 14	Tegangan Level Serial RS-232 (Amora, 2016) .....	40
Gambar 2. 15	Port Serial DB-9 (Amora, 2016).....	40
Gambar 2. 16	Keterangan <i>Pin-Out Port</i> Serial DB-9 (Datasheet, 2010).....	40
Gambar 2. 17	<i>Front Panel</i> .....	42
Gambar 2. 18	<i>Palet Controls</i> .....	43
Gambar 2. 19	Blok Diagram .....	43
Gambar 2. 20	<i>Palet Function</i> .....	44
Gambar 2. 21	<i>Palet Tool</i> .....	45
Gambar 2. 22	Blok Komunikasi OPC (OPC-Foundation, 2002) .....	46
Gambar 2. 23	Tampilan NI-OPC Server .....	47
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian.....	50
Gambar 3. 2	Blok Diagram Perancangan Sistem Simulator Reaktor Kartini.....	52
Gambar 3. 3	Diagram alir perancangan sistem keseluruhan .....	54
Gambar 3. 4	Modul Simulator Reaktor Kartini.....	55
Gambar 3. 5	Diagram alir sistem <i>Interlock</i> Batang Kendali .....	56
Gambar 3. 6	Diagram alir sistem <i>Scram</i> dan <i>Trip</i> Batang Kendali .....	58
Gambar 3. 7	Diagram alir analog <i>input</i> CRDM ke PLC .....	60
Gambar 3. 8	Diagram alir Sistem Batang Kendali .....	61
Gambar 3. 9	<i>Wiring diagram</i> perancangan perangkat keras .....	62
Gambar 3. 10	Diagram alir sistem pengolah sinyal.....	63
Gambar 3. 11	PLC dan PC telah terkoneksi.....	64
Gambar 3. 12	Diagram alir program <i>ladder</i> .....	65
Gambar 3. 13	Program <i>ladder</i> batang kendali CRDM <i>Up</i> .....	67
Gambar 3. 14	Program <i>ladder</i> batang kendali <i>Safety Up</i> .....	67
Gambar 3. 15	Program <i>ladder</i> batang kendali CRDM <i>Down</i> .....	68
Gambar 3. 16	Program ladder batang kendali <i>Safety Down</i> .....	68
Gambar 3. 17	Program <i>ladder Scram</i> .....	69

Gambar 3. 18	Program <i>ladder Trip</i> .....	69
Gambar 3. 19	Program <i>ladder analog input</i> .....	71
Gambar 3. 20	Program ladder untuk menghentikan motor <i>Down</i> .....	71
Gambar 3. 21	Program <i>ladder Reset Trip</i> .....	72
Gambar 3. 22	Transfer program ke PLC .....	72
Gambar 3. 23	Kotak dialog <i>Transfer Program to PLC</i> .....	73
Gambar 3. 24	Tampilan <i>On-line Simulation Monitoring</i> .....	73
Gambar 3. 25	Inisialisasi pada OPC Server .....	74
Gambar 3. 26	Pemilihan <i>device driver</i> dan Pengaturan alamat COM.....	75
Gambar 3. 27	Inisialisasi <i>Tag</i> pada OPC Server .....	75
Gambar 3. 28	Monitoring kotak dialog koneksi PLC dan PC .....	76
Gambar 3. 29	Blok diagram modul akuisisi dan pengolah data .....	77
Gambar 3. 30	Diagram alir perancangan modul akuisisi dan pengolah data.....	78
Gambar 3. 31	Sub Program Batang Pengendalian Batang Kendali.....	79
Gambar 3. 32	<i>Display</i> Data Akuisisi data dan Indikator proses.....	80
Gambar 3. 33	Langkah menambahkan Variabel pada LabVIEW project (kiri) Kotak dialog untuk mengisikan <i>Tag</i> (kanan).....	81
Gambar 3. 34	<i>Listing Tag</i> pada LabVIEW project .....	82
Gambar 3. 35	Program persamaan Konversi bit adc to Reaktivitas .....	82
Gambar 3. 36	Program persamaan Kinetika Reaktor .....	84
Gambar 3. 37	Program perhitungan nilai $C_i(t)$ .....	84
Gambar 3. 38	Program LabVIEW konversi dari Densitas Neutron ke Daya reaktor.....	85
Gambar 3. 39	Diagram alir pengujian .....	86
Gambar 3. 40	Rangkaian DI/O tombol <i>panel box</i> ke PLC .....	87
Gambar 3. 41	<i>Start simulation</i> .....	87
Gambar 3. 42	Tampilan <i>Extended Download to Device</i> .....	88
Gambar 3. 43	Tampilan <i>start simulation</i> .....	88
Gambar 3. 44	OPC Quick Client.....	89
Gambar 3. 45	Tampilan <i>quality</i> dalam kondisi <i>good</i> .....	89
Gambar 3. 46	Tampilan Gambar saat akan melakukan running program .....	90
Gambar 3. 47	Tampilan saat <i>running</i> program .....	90
Gambar 4. 1	Sistem <i>Hardware PLC</i> dan <i>Panel box</i> .....	92
Gambar 4. 2	Relay magnet batang kendali (kiri) dan Relay Motor batang kendali (kanan) .....	93
Gambar 4. 3	Gambar CRDM yang dioperasikan .....	93
Gambar 4. 4	Simulasi <i>Key Switch ON</i> dan tombol <i>Release ON</i> .....	94
Gambar 4. 5	Alamat Memori <i>Motor Safety Up</i> aktif.....	94
Gambar 4. 6	Alamat Memori motor <i>safety Up</i> mengaktifkan Motor .....	95
Gambar 4. 7	Alamat Memori motor <i>Shim Up</i> aktif.....	95
Gambar 4. 8	Alamat memori mengaktifkan motor <i>Shim Up</i> .....	96
Gambar 4. 9	Alamat memori mengaktifkan motor <i>Reg Up</i> .....	96
Gambar 4. 10	<i>Limit Switch Up Safety</i> (I1.7) aktif .....	97
Gambar 4. 11	<i>Limit Switch Up Shim</i> (I2.0) aktif .....	97
Gambar 4. 12	<i>Limit Switch Up Reg</i> (I2.1) aktif .....	98

Gambar 4. 13	Alamat memori motor <i>safety down</i> aktif .....	99
Gambar 4. 14	alamat memori motor <i>shim down</i> aktif .....	99
Gambar 4. 15	Alamat memori motor <i>regulator down</i> aktif.....	100
Gambar 4. 16	Ketiga alamat memori batang kendali aktif.....	100
Gambar 4. 17	Alamat memori mengaktifkan motor <i>safety down</i> .....	101
Gambar 4. 18	Alamat memori mengaktifkan motor <i>shim down</i> .....	101
Gambar 4. 19	Alamat memori mengaktifkan motor <i>regulator down</i> .....	101
Gambar 4. 20	Program <i>Scram Safety</i> menggunakan tombol (I1.3).....	102
Gambar 4. 21	Program <i>Trip</i> dari tombol HVCIC_ <i>Trip</i> (I1.0).....	103
Gambar 4. 22	Program <i>Trip</i> dari tombol HVFC_ <i>Trip</i> (I1.1).....	103
Gambar 4. 23	Program <i>Trip</i> dari tombol LevelSB_ <i>Trip</i> (I1.2) .....	104
Gambar 4. 24	<i>Scram Shim</i> menggunakan Alamat memori <i>Scram_Trip</i> .....	104
Gambar 4. 25	<i>Scram Regulator</i> menggunakan Alamat memori <i>Scram_Trip</i> .....	105
Gambar 4. 26	Input Simulation .....	105
Gambar 4. 27	ManScram_Shim dan ManScram_Reg aktif .....	106
Gambar 4. 28	Uji tombol <i>Up</i> dan <i>Down Safety</i> .....	107
Gambar 4. 29	Uji Tombol <i>Up Dan Down Shim</i> .....	107
Gambar 4. 30	Uji tombol <i>Up</i> dan <i>Down Regulator</i> .....	107
Gambar 4. 31	Uji tombol <i>Trip</i> HV CIC dan tombol Reset <i>Trip</i> .....	108
Gambar 4. 32	Operasi reaktor saat batang kendali <i>Safety 100% (Full Up)</i> .....	109
Gambar 4. 33	Operasi reaktor saat batang kendali <i>shim 60%</i> .....	110
Gambar 4. 34	Operasi reaktor saat batang kendali <i>shim 70%</i> .....	110
Gambar 4. 35	Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator <i>Up</i> (Posisi <i>Safety 100%</i> dan <i>Shim 60%</i> ) .....	112
Gambar 4. 36	Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator <i>Down</i> (Posisi <i>Safety 100%</i> dan <i>Shim 60%</i> ) .....	112
Gambar 4. 37	Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator <i>Up</i> (Posisi <i>Safety 100%</i> dan <i>Shim 65%</i> ) .....	114
Gambar 4. 38	Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator <i>Down</i> (Posisi <i>Safety 100%</i> dan <i>Shim 65%</i> ) .....	115
Gambar 4. 39	Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator <i>Up</i> (Posisi <i>Safety 100%</i> dan <i>Shim 70%</i> ) .....	117
Gambar 4. 40	Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator <i>Down</i> (Posisi <i>Safety 100%</i> dan <i>Shim 70%</i> ) .....	117
Gambar 4. 41	Tampilan OPC Quick Client .....	119
Gambar 4. 42	Pembacaan <i>tag Key Switch</i> pada OPC Quick Client .....	120
Gambar 4. 43	Pembacaan <i>tag Release</i> dari PLC .....	120
Gambar 4. 44	User display Simulator Reaktor Kartini .....	121

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Indikator dan Status Error pada PLC Siemen S7-300 313C.....	26
Tabel 2. 2	Selektor Mode pada PLC Siemens S7-300 313C.....	27
Tabel 2. 3	Spesifikasi CRDM .....	38
Tabel 2. 4	Indikator Posisi Batang Kendali (CRDM) .....	39
Tabel 2. 5	Keterangan Pin-Out Port Serial DB-9 .....	41
Tabel 3. 1	Bahan <i>hardware</i> .....	50
Tabel 3. 2	Fungsi Port Digital <i>Input – Output</i> DIO pada PLC .....	66
Tabel 3. 3	Fungsi <i>port</i> analog <i>input</i> pada PLC.....	70
Tabel 4. 1	Hasil simulasi program dengan posisi Safety 100% dan Shim 60% .....	111
Tabel 4. 2	Hasil simulasi program dengan posisi Safety 100% dan Shim 65% .....	114
Tabel 4. 3	Hasil simulasi program dengan posisi Safety 100% dan Shim 70% .....	116
Tabel 4. 4	Data perbandingan hasil simulasi dengan operasi reaktor.....	118

## **PERSEMBAHAN**

*I may not good when it comes to expressing my emotion, but this project I dedicated for you Ibu and Bapak. I would never be able to stand until this time without your strength and love. Thank you is not enough to represent my gratitude toward your love and sacrifice.*

*This is for you, Ibu and Bapak, the people I love the most....Thank you.*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Reaktor nuklir Kartini yang berlokasi di Yogyakarta merupakan reaktor nuklir jenis TRIGA (*Training Research and Isotope production General Atomic*) yang memiliki koefisien reaktifitas suhu negatif sehingga dikategorikan sebagai *inherent safety reactor*, yaitu reaktor yang sangat aman (Suntoro, 2007). TRIGA Mark II adalah reaktor riset yang didisain dan dibuat oleh *General Atomic* dengan menggunakan air sebagai pendingin dan moderatornya (Cammi et al., 2016). Reaktor TRIGA Mark II dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti: Analisis Aktivasi Neutron (AAN), Radiografi dan Tomografi Neutron, pendidikan dan pelatihan (*training*) dan lain sebagainya (Henry et al., 2015).

Proses pengaturan daya di reaktor dilakukan dengan cara menggerakkan batang kendali secara satu persatu sehingga didapatkan proses pengendalian dengan kenaikan daya yang halus, karena proses kenaikan batang kendali yang tidak halus berpotensi menyebabkan *trip* (kegagalan proses menaikkan daya dan reaktor mengalami *scram*) (Marsudi and Rochim, 2007). *Scram* merupakan pemberhentian darurat operasi reaktor nuklir dikarenakan reaktor beroperasi melebihi dari batas yang ditentukan dengan cara melepaskan batang kendali ke dalam teras reaktor (Rosyid et al., 2013). Posisi batang kendali di reaktor nuklir memegang peran yang sangat penting, karena digunakan untuk mengendalikan reaksi nuklir dalam reaktor yang akan menentukan daya hasil reaksi. Proses kenaikan daya pada reaktor dibatasi oleh periode. Menurut (Pinto et al., 2013)

periode adalah waktu yang dibutuhkan neutron untuk berkembang sesuai dengan daya reaktor yang dimilikinya.

Pendayagunaan reaktor nuklir membutuhkan suatu manajemen operasi sehingga terjadinya *scram* dapat diminimalisir agar *unforce scram* tidak sering terjadi (IAEA, 2008). Salah satu cara untuk meminimalisir *unforce scram* adalah dengan cara pelatihan berulang pengendalian reaktor oleh operator menggunakan simulator yang memiliki unjuk kerja pengendalian seperti sebenarnya. Simulator adalah suatu program yang berfungsi untuk menyimulasikan suatu peralatan, tetapi memiliki kinerja yang lebih lambat daripada keadaan yang sebenarnya (Kemdikbud, 2016).

Menurut Cammi et al (2016) penggunaan reaktor Triga Mark II sebagai reaktor riset perlu didukung dengan adanya performa eksperimen dengan menggunakan suatu simulasi yang dibangun berdasarkan dengan operasi reaktor sesungguhnya (Cammi et al., 2016). Untuk merancangbangun sebuah simulator reaktor diperlukan informasi mengenai data dinamika parameter proses yang akurat. Informasi yang akurat mengenai dinamika reaktor dapat diperoleh melalui dua cara, yaitu baik melalui *on-line monitoring system* maupun dari *simulation system* (Handoyo et al., 2011). Sehingga dengan adanya simulator, pengendalian operasi reaktor menjadi lebih baik dan mengurangi terjadinya *unforce scram*. Hal ini nantinya akan berdampak pada meningkatnya availabilitas reaktor. Availabilitas merupakan suatu parameter yang menunjukkan kinerja reaktor. Semakin tinggi nilai availabilitas suatu reaktor, maka semakin baik pula kinerja reaktor tersebut.

Untuk mewujudkan sebuah simulator reaktor Kartini diperlukan pilihan teknologi yang tepat dan mudah dalam implementasinya. Salah satu teknologi yang mungkin digunakan untuk pengendalian posisi batang kendali adalah teknologi *Programmable Logic Controller* (PLC). PLC ini menjadi salah satu teknologi yang tidak dapat dipisahkan dari sistem instrumentasi dan kontrol untuk menjamin keselamatan pengoperasian di berbagai reaktor nuklir, baik reaktor riset maupun reaktor pembangkit daya (Bakhri et al., 2014). PLC dianggap memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan jenis kendali yang lain. Keuntungan dalam menggunakan PLC ini adalah dapat memudahkan *wiring* atau pengkabelan dibandingkan dengan kontrol konvensional berbasis relay, PLC juga memiliki ukuran yang relatif kecil sehingga konsumsi daya yang digunakan cenderung rendah, selain itu PLC juga memiliki fungsi diagnostik yang dapat mendeteksi kesalahan dengan lebih mudah dan cepat.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini mengusulkan sebuah kegiatan Rancang Bangun Simulator Operasi Reaktor Kartini Menggunakan PLC Siemens S7, sehingga diharapkan dapat diwujudkannya suatu alat simulator untuk menyimulasikan Operasi Reaktor Kartini.

## 1.2 Keaslian Penelitian

Demon Handoyo telah melakukan penelitian pembuatan rancang bangun perangkat lunak simulator reaktor nuklir RGS GA Sywabessy dengan menggunakan LabVIEW pada tahun 2011. Rancang bangun perangkat lunak ini dilakukan dalam bentuk visualisasi proses operasi yang ada di dalam RSG GA Sywabessy. Perangkat lunak ini dirancang bangun dengan memanfaatkan paket

program LabVIEW untuk menyimulasikan perhitungan proses yang ada di dalam teras reaktor (Handoyo et al., 2011).

Penelitian serupa pernah dilakukan di Reaktor Kartini oleh Moch. Rosyid et al (2013) dengan judul penelitian Simulator Reaktor Kartini Sebagai Alat Peraga Operasi Penelitian Tipe TRIGA Mark II. Pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler sebagai pembangun sistem *interlock* pada batang kendali (Rosyid et al., 2013).

Pada tahun 2014 Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) – BATAN Serpong mengembangkan PLC *Trainer* serbaguna untuk simulator sistem keselamatan dan keandalan reaktor oleh Syaiful Bakhri et al (2014). Sistem keselamatan yang diwujudkan dalam penelitian ini berupa pengendalian *reactor start-Up interlocking*, *trip* reaktor (*SCRAM*), dan keselamatan teknik. PLC yang digunakan pada penelitian ini adalah PLC dengan tipe OMRON CPM1A-40CDR-A-V1 (Bakhri et al., 2014).

Penelitian yang akan dilakukan yaitu membangun sebuah simulator reaktor Kartini berbasis PLC Siemens S7-300 313C dengan aktuator CRDM. Sedangkan data akuisisi dan pengolah data dibangun dengan LabVIEW menggunakan persamaan kinetika reaktor.

### 1.3 Rumusan Masalah

Perlu adanya pelatihan secara terus menerus bagi operator dan calon operator Reaktor Kartini untuk mengurangi terjadinya *unforce scram*. Pelatihan tersebut mungkin diwujudkan melalui sebuah simulator pengoperasian Reaktor Kartini yang mampu menyimulasikan daya dan periode berdasarkan perubahan

data posisi batang kendali menggunakan PLC Siemens S7. Sehingga perlu adanya simulator bagi operator dan calon operator Reaktor Kartini.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Simulator yang dirancangbangun pada penelitian ini hanya menggunakan dua buah variabel *trip*, yaitu daya 110% dan periode yang dihasilkan dari persamaan model matematis kinetika reaktor, sedangkan empat buah variabel *trip* yang lain (HV CIC, HV FC, dan Level Sumber) disimulasikan dalam bentuk tombol.

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk merancangbangun sebuah simulator pengoperasian Reaktor Kartini berdasarkan model kinetika reaktor operasi daya menggunakan PLC Siemens S7 sebagai kendali.

#### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Tersedianya sebuah alat simulator operasi reaktor Kartini dengan menggunakan kontroler PLC Siemens S7
2. Meningkatkan kemampuan operator dan calon operator dalam mengoperasikan reaktor Kartini, melalui pelatihan berulang menggunakan simulator.
3. Sebagai media pembelajaran tentang dinamika dan kinetika pengoperasian reaktor Kartini.
4. Sebagai sarana untuk menguji dan mencoba algoritma-algoritma pengendalian sebelum diimplementasikan pada reaktor Kartini.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Demon Handoyo et al (2011) melakukan penelitian dengan judul Rancang Bangun Perangkat Lunak Simulator Reaktor Nuklir. Pada penelitian ini dibuat rancang bangun perangkat lunak dalam bentuk visualisasi proses operasi yang ada di dalam RSG GA Sywabessy dan dibuat menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Untuk menyimulasikan proses yang terjadi di dalam reaktor, simulator menampilkan sebanyak mungkin proses yang terjadi melalui tampilan yang kompak. Perangkat lunak simulator dirancangbangun dengan memanfaatkan paket program LabVIEW untuk menyimulasikan perhitungan proses yang ada di dalam teras reaktor (Handoyo et al., 2011).

Jumari et al (2012) telah melakukan penelitian dengan judul Pembuatan Rangkaian *TRIP* dan Perioda Kanal Daya Logaritmik Analog Untuk SIK Reaktor Kartini. KDLA (Kanal Daya Logaritmik Analog) dibuat menggunakan interkoneksi *backplane* standar *Euro Card*. Rangkaian *trip* dilakukan dengan memberikan masukan berupa sinyal simulasi tegangan level DC yang menyimulasikan 4 buah masukan *trip* yaitu dari level tegangan tinggi DC untuk detektor. Untuk level daya akan terjadi *trip* bila daya melebihi 110% pada level sumber akan terjadi *trip* bila sumber neutron tidak berada ditempatnya. *Trip* juga diakibatkan periode kurang dari 7 detik. Dari penelitian ini dihasilkan rangkaian *trip* dengan tegangan sebagai sensor *trip* (Jumari et al., 2012).

Moch. Rosyid et al (2013) melakukan penelitian dengan judul Simulator

Reaktor Kartini Sebagai Alat Peraga Operasi Penelitian Tipe TRIGA Mark II. Pada penelitian membahas mengenai pembuatan alat simulator reaktor Kartini yang terdiri dari teras reaktor lengkap dengan tiruan bahan bakar, tiga batang kendali, pemegang batang kendali, motor penggerak batang kendali dan *keyboard* operasi yang dilengkapi dengan sistem *interlock*. Sistem *interlock* dibangun menggunakan mikrokontroler. Parameter yang dihasilkan selama reaktor beroperasi ditampilkan pada komputer dan monitor dengan program sistem informasi proses yang bekerja pada sistem operasi LINUX. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *interlock* simulator memberikan unjuk kerja yang sama dengan operasional *interlock keyboard* pada SIK reaktor Kartini (Rosyid et al., 2013).

Syaiful Bakhri et al (2014) melakukan penelitian dengan judul Pengembangan PLC Trainer Serbaguna Untuk Simulator Sistem Keselamatan dan Keandalan Reaktor. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan PLC trainer untuk implementasi simulator berbagai topik sistem keselamatan reaktor. PLC yang digunakan dalam penelitian merupakan PLC mikro OMRON CPM1A. Sedangkan metode yang digunakan meliputi dua pengujian fungsi untuk menunjukkan unjuk kerja PLC, yaitu pengujian aplikasi logika sistem proteksi reaktor RSG-GAS, dan aplikasinya dalam pengendalian level ketinggian air pada perangkat simulasi dua tangki. Pada penelitian ini PLC mampu mengidentifikasi urutan inisiator logika *scram* sekaligus meresponnya seketika (Bakhri et al., 2014).

Patricia Reis et al (2015) melakukan penelitian dengan judul *Simulation of a*

*TRIGA Reactor Core Blokage Using RELAP5 Code* (Reis et al., 2015). Penelitian ini dilakukan di Brazil dengan menggunakan reaktor IPR-R1 yang berjenis TRIGA Mark I buatan General Atomic. Pada penelitian ini dilakukan simulasi pada penyumbatan aliran pendingin secara parsial dan total menggunakan RELAP5 Code. Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa pada saat terjadi penyumbatan secara parsial reaktor masih dapat bekerja dengan baik dalam kondisi *steady state*. Namun pada saat terjadi penyumbatan total pada aliran pendingin, reaktor menunjukkan adanya kenaikan temperature pada inti reaktor.

## 2.2 Landasan Teori

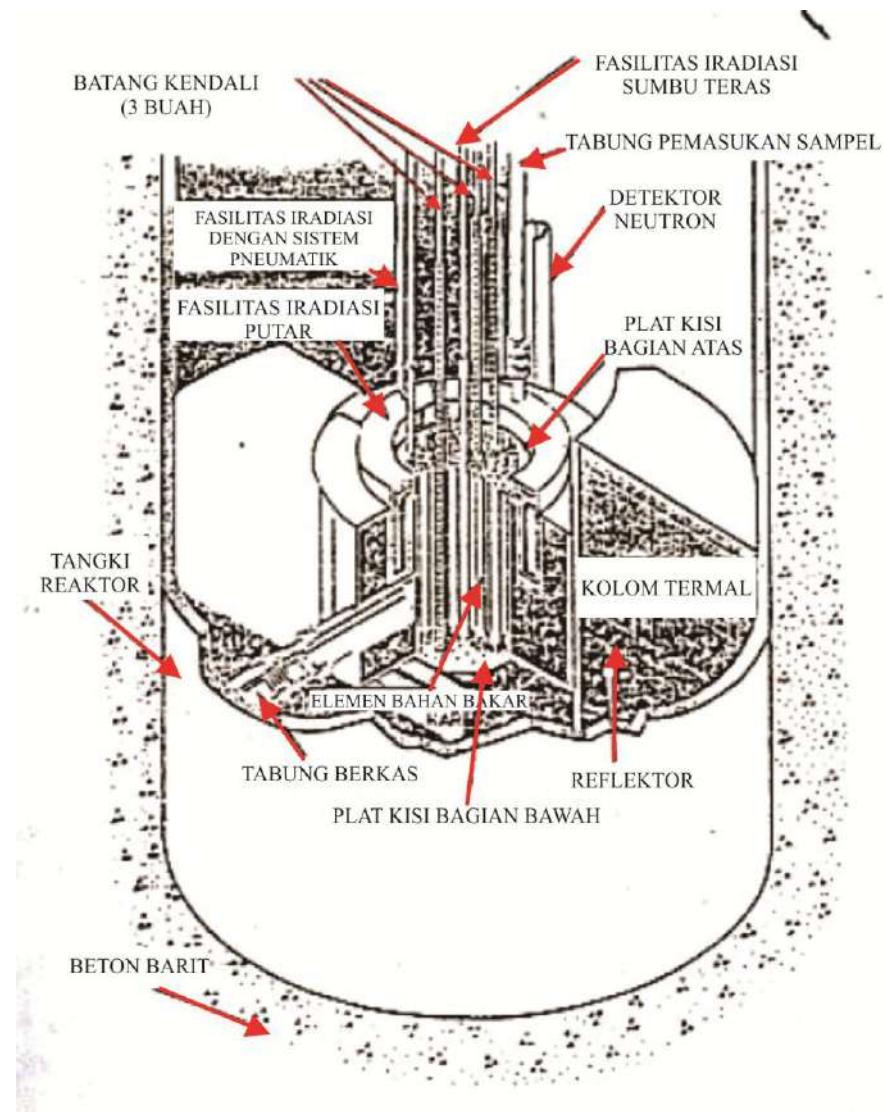
Untuk mendukung penelitian ini diperlukan pengetahuan mengenai parameter proses operasi reaktor Kartini, PLC Siemens S7, Kinetika dan kendali reaktor Kartini, Kinerja sistem pengendali batang kendali menggunakan CRDM, dan *software* LabVIEW sebagai sistem akuisisi data.

### 2.2.1 Reaktor Kartini (TRIGA Mark II)

Reaktor nuklir Kartini yang berlokasi di Yogyakarta merupakan reaktor nuklir jenis TRIGA yang memiliki koefisien reaktifitas suhu negatif sehingga dikategorikan sebagai *inherent safety reactor*, yaitu reaktor yang sangat aman (Suntoro, 2007). TRIGA (*Training Research and Isotope production General Atomic*) Mark II adalah reaktor riset 250-kW yang didisain dan dibuat oleh General Atomic dengan menggunakan air ringan dengan reflektor grafit yang disusun melingkar dalam teras reaktor (Ravnik, 1998). Reaktor Kartini didesain berdasarkan pada sistem reaktor kolam, dengan bahan bakar Uranium Zirkonium Hidrida (U-ZrH) yang diperkaya hingga 20%. Teras reaktor disusun dari

kombinasi elemen bakar dan moderator yang menghasilkan koefisien temperature negatif sebesar (1,5 cent dollar/ $^{\circ}\text{C}$ ) (Setijawan, 1994). Reaktor Kartini yang berjenis TRIGA Mark II ini digunakan untuk pelatihan, edukasi, dan pengembangan penelitian nuklir (Bock et al., 2016).

Adapun tampak bujur reaktor Kartini ditunjukkan pada Gambar 2. 1.

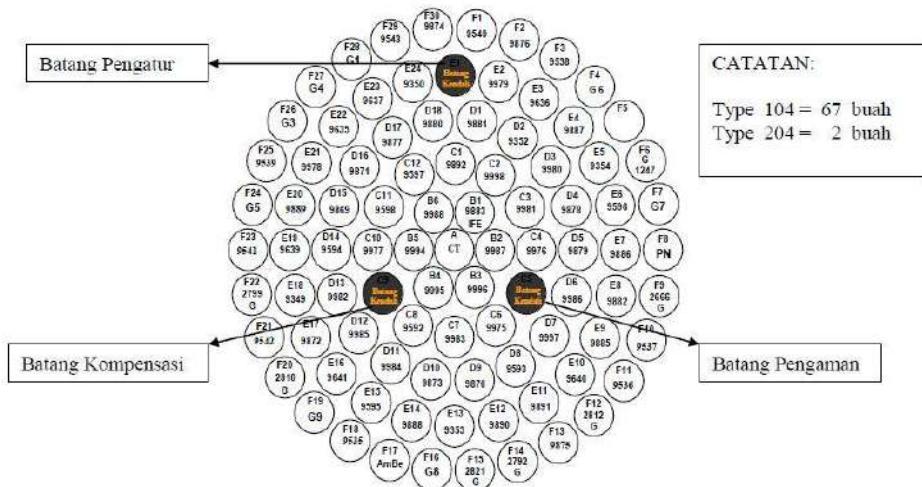


Gambar 2. 1 Tampak Bujur Reaktor Kartini (Khanifatun, 2007)

Inti reaktor terdiri dari 80 elemen bahan bakar (diameter 3,75 cm dan

panjang 72,24 cm) terbuat dari stainless stell (SS-304) yang disusun secara melingkar (Bock, 2016). Elemen bahan bakar tersebut disusun dalam 6 lapis lingkaran, yaitu: A, B, C, D, E, dan F. Jarak antar masing-masing posisi elemen bahan bakar adalah sama. Selain itu reaktor Kartini juga memiliki elemen bahan bakar tiruan (*dummy*) yang ditempatkan pada ring F secara simetris. Fungsi elemen ini adalah untuk menaikkan efisiensi neutron dalam teras reaktor (befungsi sebagai reflektor) (Khanifatun, 2007).

Tiga batang kendali yang digunakan dalam reaktor berjenis TRIGA Mark II ini adalah: Batang Kendali Regulator (R), *Shim* (C), dan *Safety* (S) (Bock, 2016). Ketiga batang kendali ini bentuk dan ukurannya sama. Posisi batang kendali dalam teras reaktor ini diperlihatkan pada Gambar 2. 2. Batang kendali pengatur (Regulator) terletak pada ring E1, sedangkan batang kendali kompensasi (*Shim*) dan batang kendali pengaman (*Safety*) secara berturut-turut terletak pada ring C9 dan C5.



Gambar 2. 2 Posisi Batang Kendali pada Teras Reaktor (Puradwi et al., 2012)

Sistem instrumentasi dan kendali (SIK) reaktor Kartini dirancang untuk

memberikan indikasi seluruh keadaan tingkat daya dari level sumber, reaktor *Start Up*, daya tetap dan reaktor dalam kondisi *Shut Down*. Metode perlindungan kegagalan sistem proteksi menggunakan metode *diversiter* yaitu daya diukur dan dideteksi kegagalannya oleh Kanal Daya Logaritmis NLW-2 dengan detektor *Fission Chamber* (FC) dan Kanal Daya linier NP-1000 dengan detektor *Compensated Ionization Chamber* (CIC) (Abimanyu and Prajitno, 2016).

SIK reaktor Kartini meliputi sub sistem pengendalian reaktor, sub sistem monitor dan sub sistem proteksi yang satu sama lain saling bergayut (*dependent*). Pengendalian reaktor adalah pengaturan posisi batang kendali sedemikian rupa sehingga reaksi inti berantai terjadi pada suatu tingkat daya yang dikehendaki. Sistem pengendalian reaktor terdiri dari sub sistem penggerak batang kendali, dan sub sistem pengendalian manual yang dilengkapi dengan 3 pasang tombol *Up* dan *Down*, penampilan posisi batang kendali, *scram* manual, *scram reset*, dan indikator eksperimen.

Data parameter-parameter tersebut ditampilkan pada monitor komputer dan meter indikator. Kanal pengukur daya terdiri dari kanal daya linier (NP-1000) dan kanal daya logaritmis (NLW-2). Kanal daya linier memperoleh *input* arus dari detektor CIC yang memberi penunjukan daya linier. Sedang untuk kanal daya logaritmis *input* arus dari detektor FC, yang memberi penunjukan persentase daya logaritmis, periode laju perubahan daya diperoleh dari differensial persentase daya logaritmis.

Secara umum SIK Reaktor Kartini terdiri dari: Sub sistem proteksi reaktor, sub sistem pengatur daya reaktor, sub sistem pemantau fluks neutron, sub sistem

alarm atau indikator, sub sistem *interlock*, sub sistem monitor radiasi ruangan, dan sub sistem komputer.

### **2.2.1.1 Sub Sistem Proteksi Reaktor**

Reaksi fisi yang berlangsung secara berantai dalam reaktor nuklir menghasilkan kalor dan sejumlah neutron. Agar kalor yang dibangkitkan tersebut tidak melebihi batas kemampuan bahan teras, terutama kelongsong bahan bakar, dilakukan pengambilan kalor dengan bantuan aliran *fluida* (berupa air, gas). Jika batas kemampuan kelongsong bahan bakar terlampau, dapat terjadi pelepasan bahan radioaktif yang dihasilkan proses reaksi fisi ke lingkungan. Oleh karena itu proses reaksi fisi tersebut harus dimonitor dan dikendalikan agar batas kemampuan bahan teras yang mengungkung proses fisi (terutama kelongsong bahan bakar) tidak terlampau. Jika terjadi kegagalan dalam pengendalian proses fisi, harus dilakukan tindak proteksi yang mencegah kerusakan bahan pengungkung proses fisi.

Fungsi *monitoring*, pengendalian (*controlling*) dan proteksi tersebut dibebankan pada SIK reaktor. Posisi SIK sebagai bagian dari instalasi nuklir, mengharuskan penerapan persyaratan rancang bangun instalasi nuklir pada perancangan dan konstruksi SIK reaktor. Oleh karena itu prinsip *defense-in-depth* (pertahanan berlapis) dalam rancang bangun instalasi nuklir diterapkan pada rancangbangun SIK reaktor. Sistem keselamatan yang dipergunakan pada reaktor Kartini mengimplementasikan prinsip pertahanan berlapis sebagai berikut:

- 1. Lapisan Pertahan Dasar**

Lapisan pertahanan dasar menggunakan sistem kendali daya untuk

mengatasi gangguan *transient* dan sistem catu otomatis air pendingin primer untuk mengatasi kehilangan air pendingin primer. Informasi daya diperoleh dari besaran fluks netron rata-rata yang berbanding lurus dengan daya. Fluks netron rata-rata diukur dengan detektor CIC. Operasi reaktor dapat dikendalikan oleh operator secara manual. Air pendingin primer dimonitor melalui tinggi permukaan air tangki reaktor dan dicatu secara otomatis jika tinggi permukaannya telah mencapai batas minimum yang ditentukan.

## 2. Lapisan Pencegah Gangguan

Lapisan ini fungsinya adalah membuat reaktor mati (*scram*) apabila sistem proteksi reaktor diaktuasi oleh sinyal *trip*, yaitu:

- a. Tegangan tinggi (HV) dari detektor FC berubah  $\pm 10\%$  dari tegangan operasinya ( $\pm 500V$ )
- b. Pada saat *Start-Up* sumber neutron berada diluar teras (level 1)
- c. Persentase (%) daya logaritmis menunjukkan 110%
- d. Periode menunjukkan  $<7$  detik

Pada prinsipnya sistem *scram* reaktor bekerja untuk memutus arus elektromagnet pemegang batang kendali. Batas setiap parameter yang telah ditentukan sebagai batas keselamatan, harus dipergunakan untuk mengaktuasi pemutusan arus tersebut. Manual *scram* adalah tombol *scram* yang mana bila ditekan akan mengakibatkan terputusnya arus ketiga pemegang batang kendali. Manual *scram* ini dapat dilakukan bersama-sama untuk ketiga batang kendali atau dilakukan satu per satu.

Sedangkan rangkaian *trip* dipergunakan untuk memonitor suatu besaran yang dibatasi dan akan mengubah status *trip* apabila besaran yang dimonitor berada di luar batas-batas yang telah ditentukan. Batas-batas *trip* reaktor Kartini adalah sebagai berikut:

a. *Trip* Catu Daya Tegangan Tinggi CIC

Memonitor jika terjadi kegagalan tegangan tinggi yang digunakan untuk mencatu detektor CIC

b. *Trip* Daya Maksimum

Untuk memonitor jika daya eaktor mencapai 110%

c. *Trip* Catu Daya Tegangan Tinggi FC

Untuk memonitor jika terjadi kegagalan tegangan tinggi yang digunakan untuk mencatu detektor FC

d. *Trip* Periode

Terjadi *trip* bila periode kurang dari 7 detik

e. *Trip* Aras Sumber

Untuk memonitor apakah sumber neutron sudah berada pada tempatnya.

*Trip* terjadi bila sumber neutron tidak berada pada tempatnya atau bila pulsa dari *pre-amp* kurang dari 4 pulsa/detik.

f. *Trip* Aras Atas

*Trip* bekerja bila daya reaktor menunjukkan 110%

g. *Trip* manual

Penekanan tombol *scram*, pemutaran KUNCI OPERASI dan monitoring

catu daya 12V jika terjadi hubung singkat dengan ground.

h. Sinyal *reset*

3. Lapisan Pembatas Akibat Gangguan

Cara penanggulangan akibat gangguan kesetimbangan bahang (*heat*), baik berupa gangguan *transient* maupun kehilangan air pendingin perlu dipersiapkan. Gangguan *transient* dapat dibatasi oleh sifat bahan bakar reaktor tipe TRIGA (UZrH) yang mempunyai koefisien reaktivitas negatif suhu, oleh karena sifat tersebut maka daya reaktor akan turun dengan sendirinya jika terjadi gangguan *transient*. Gangguan *transient* ini misalnya akibat batang kendali naik secara tidak terkendali dan sistem proteksi reaktor tidak berfungsi. Kehilangan air pendingin terjadi jika ada kebocoran di kalang primer. Andai sistem proteksi reaktor tidak berfungsi, maka tinggi air tangki reaktor turun dan kemudian berhenti pada ketinggian lubang anti-*siphon* di bagian keluaran pipa pendingin primer (keluaran air pendingin dari tangki reaktor).

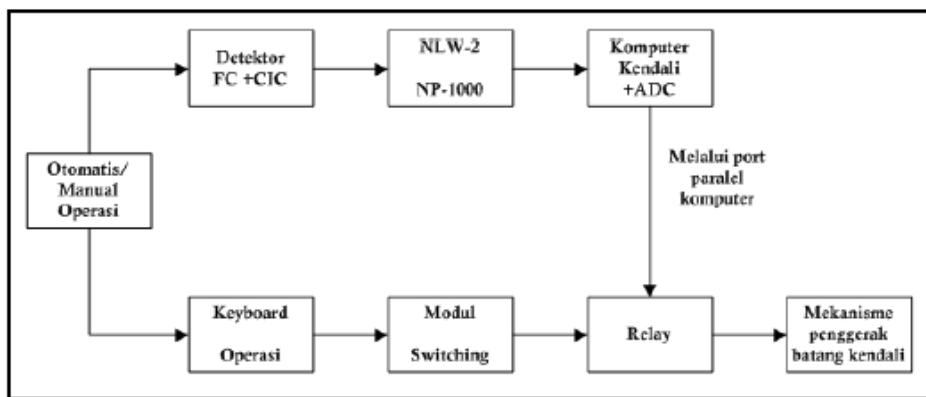
**2.2.1.2 Sub Sistem Pengatur Daya Reaktor**

Reaktor Kartini menggunakan 3 (tiga) buah batang kendali, yang dipergunakan untuk mengimbangi harga reaktivitas teras yang diakibatkan antara lain oleh jumlah bahan bakar yang dipasang pada teras. Ketiga batang kendali tersebut adalah: batang pengaman (*Safety Rod*) berada di ring C5, batang kompensasi (*Shim Rod*) berada di ring C9 dan batang pengatur (*Regulating Rod*) berada di ring E1. Batang-batang kendali tersebut di dalam teras dimasukkan ke dalam pipa pengarah batang kendali.

Reaktor dapat beroperasikan jika berlangsung proses pembelahan (*fisi*), dengan cara menarik batang kendali. Untuk dapat menggerakkan batang kendali naik/turun, diperlukan syarat-syarat yang berkaitan dengan keselamatan operasi yaitu :

- Tidak dapat menggerakan batang kendali tanpa menekan tombol release
- Tidak dapat menaikkan batang akendali lebih dari satu secara bersamaan
- Mengutamakan penurunan batang kendali jika terjadi kejadian menaikkan dan menurunkan batang kendali secara bersamaan
- Dapat dioperasikan secara otomatis atau manual

Berikut ini adalah skema pengendalian daya dalam reaktor yang ditunjukkan pada Gambar 2. 3



Gambar 2. 3 Skema Pengendalian Daya Dalam Reaktor (Abimanyu and Prajitno, 2016)

Gambar 2. 3 menunjukkan skema mengenai pengendalian daya di dalam reaktor. Pengendalian daya reaktor dapat dilakukan oleh operator secara manual atau otomatis. Pada saat reaktor dioperasikan secara manual, dilakukan dengan cara mengatur posisi batang kendali melalui rangkaian *hardware*, dimana fungsi

dari rangkaian ini adalah untuk memenuhi kriteria keselamatan operasi.

Pengendalian daya reaktor secara otomatis dimulai sejak aras sumber hingga tercapai daya konstan yang dikehendaki (*start up*) dan mempertahankan daya konstan tersebut. Untuk itu diperlukan pengendalian ketiga batang kendali reaktor. Pada fase *start up* pengendalian diawali dengan memberikan reaktivitas positif sehingga tercapai keadaan kritis. Setelah reaktor mencapai kondisi kritis, pemberian reaktivitas dihentikan sebab kelebihan pemberian reaktivitas yang diberikan sebelum kondisi kritis tercapai akan menyebabkan kenaikan daya. Pada saat tersebut hanya diperlukan pengurangan kecepatan jika nilai kecepatan mendekati batas kecepatan yang diperbolehkan. Untuk keperluan tersebut dipergunakan algoritma kendali *Proportional Differential* (PD). Setelah daya reaktor mencapai 90% dari daya operasi yang dikehendaki (*power demand*), pengendalian ditujukan untuk mempertahankan daya pada nilai daya operasi yang dikehendaki dan dilakukan dengan algoritma kendali *Proportional Integral Differential* (PID).

#### **2.2.1.3 Pemantauan Fluks Neutron**

Pemantauan fluks neutron dilakukan dengan menggunakan dua sistem yang berbeda, yaitu kanal daya logaritmis dan kanal daya linier. Kanal daya logaritmis menggunakan detektor FC dengan tegangan tinggi sebesar ~530VDC. Perangkat NLW-2 terdiri dari 10 dekade penunjukkan. Enam dekade pertama dijangkau laju cacah logaritmis, sedang empat dekade berikutnya dijangkau dengan rangkaian *Campbell*. Dua jangkauan tersebut disambungkan untuk ditampilkan sebagai keluaran yang menunjukkan persentase daya logaritmis. Penyambungan

sepenuhnya dilakukan secara elektronis tanpa ada saklar atau relay yang bergerak secara mekanis. Hasil penyambungan jangkau laju cacah log dan jangkau *Campbell* ditampilkan pada sebuah meter dengan skala logaritmis 10 dekade. Sedangkan penunjukan periode laju perubahan daya diperoleh dari pendeferensialan hasil penyambungan di atas. Persen daya logaritmis dan periode laju perubahan daya reaktor juga ditampilkan dalam monitor komputer, dengan membaca kedua tegangan keluaran tersebut lewat antar muka pengubah tegangan analog ke digital.

Kanal daya linier menggunakan detektor jenis kamar ionisasi terkompensasi CIC, yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- a. Kepekaan terhadap neutron thermal =  $2 \cdot 10^{-14}$  Ampere/n.v
- b. Kepekaan terhadap sinar gamma =  $2.5 \cdot 10^{-13}$  Ampere/R/jam
- c. Tegangan kerja = +300 sampai dengan 800 V
- d. Tegangan kompensasi = 0 sampai dengan -200 V

#### **2.2.1.4 Sistem Saling Kunci (*Interlock*)**

Sistem interlok (*interlock system*) akan menyebabkan batang kendali tidak dapat dinaikkan apabila kondisi-kondisi yang dikendalikan oleh sistem tidak dipenuhi antara lain:

##### *1. Interlock Kunci Daya Magnet*

Batang kendali hanya dapat dinaikan apabila kunci catu daya magnet dimasukkan ke lubang kunci dan berada di posisi ON. Selama kunci tidak berada pada tempatnya, tombol-tombol *UP* dan *DOWN* tidak dapat difungsikan sehingga reaktor selalu berada dalam keadaan aman.

## 2. *Interlock* Sumber

Untuk mengoperasikan reaktor, sumber neutron luar harus berada di dalam teras reaktor. Apabila pada saat reaktor tidak dioperasikan dan sumber ini berada di luar teras, tingkat fluks neutron/daya reaktor akan amat rendah. NLW-2 (aras-1) akan memberikan sinyal dengan nyala lampu indikator LEVEL-1 sehingga reaktor tidak dapat dioperasikan ( $>4$  pulsa per detik). Hal ini akan mencegah kenaikan daya reaktor yang tak terkendali, karena jika reaktor ternyata sudah dimulai jalankan (*Start-Up*) walaupun sumber neutron masih berada di luar teras, maka berarti jumlah neutron awal sudah terlampaui tinggi, yang menunjukkan bahwa reaktivitas lebih reaktor terlalu tinggi. Hal lain adalah dengan mengingat bahwa di dalam teras reaktor akan selalu terdapat sejumlah neutron yang berasal dari peluruhan inti hasil fisi. Apabila detektor neutron tidak dapat mendeteksi neutron-neutron tersebut maka berarti ia mengalami kerusakan/kegagalan.

## 3. Interlok Gerakan Naik Batang Kendali

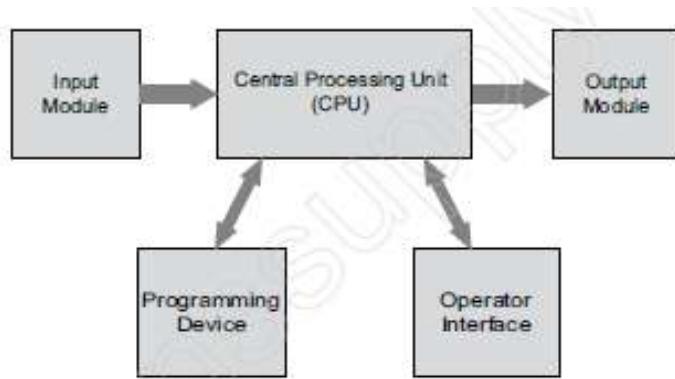
Jika dua atau lebih tombol *up* ditekan secara bersamaan, batang kendali akan tetap diam pada posisi mereka semula. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya kenaikan daya yang terlampaui cepat, yang akan menyebabkan terjadinya *scram*.

### 2.2.2 PLC Siemens S7

*Programmable Logic Controller* (PLC) adalah salah satu jenis pemrograman atau komputer yang pada umumnya digunakan pada kontrol industri (Siemens, 2013b). Perbedaan PLC dengan komputer pada umumnya adalah jenis pekerjaan yang dikerjakan *hardware* dan *software* yang dibutuhkan PLC untuk menjalankan

pekerjaan tersebut. Komponen utama PLC terdiri dari modul *input*, *Central Processing Unit* (CPU), modul *output*, dan perangkat pemrograman (Siemens, 2013b).

Adapun skema proses kerja PLC seperti yang tertera pada Gambar 2. 4.



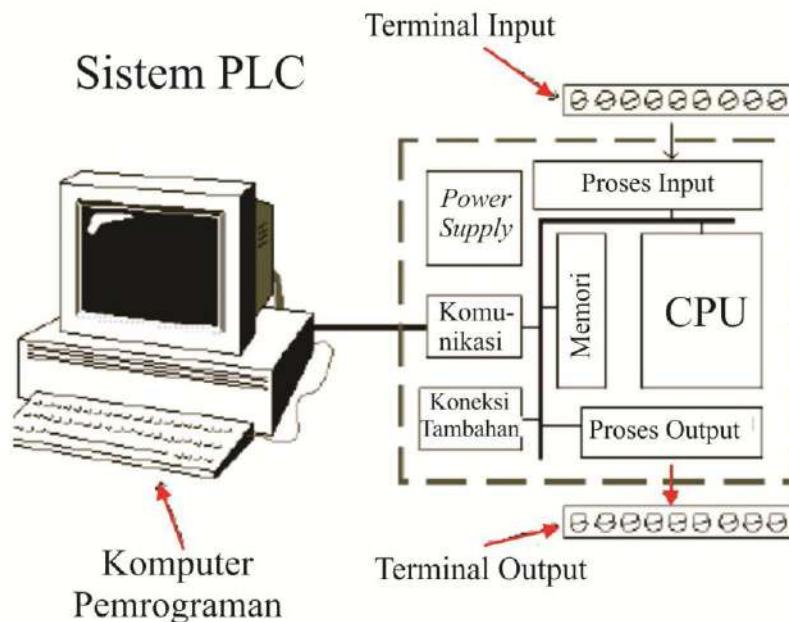
Gambar 2. 4 Skema Proses PLC (Siemens, 2013b)

PLC berfungsi untuk mengkonversi sinyal yang dihasilkan oleh berbagai macam *switch* dan sensor menjadi sinyal logika yang dapat diproses oleh CPU. CPU akan mengevaluasi status *input*, *output* dan variabel kemudian dieksekusi oleh program yang telah dimasukan untuk memperbarui status *output module*.

*Output module* akan mengkonversi sinyal kontrol dari CPU menjadi nilai digital atau analog yang dapat digunakan untuk mengontrol berbagai macam perangkat. *Programming Device* digunakan untuk memasukan perubahan program pada PLC dan juga untuk memonitor. *Operator Interface* merupakan perangkat yang digunakan untuk mengendalikan dan biasanya dipakai oleh operator dalam mengontrol suatu program.

Skema diatas jika divisualisasikan dalam bentuk perangkat sesungguhnya seperti yang terlihat pada Gambar 2. 5. Pada Gambar 2. 5 tersebut CPU terletak pada

unit PLC, sedangkan *Personal Computer* (PC) sebagai *Operator Interface*.



Gambar 2. 5 Komponen Pendukung PLC (Pramudijanto, 2011)

Secara umum komponen PLC terdiri dari: *power supply*, CPU (*central processing unit*), memori, proses *input* dan proses *output*, serta komunikasi (Pramudijanto, 2011).

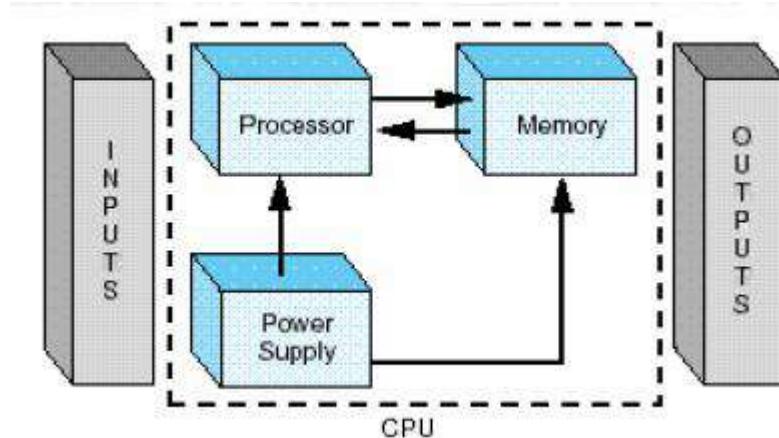
### 2.2.2.1 *Power Supply*

*Power supply* berfungsi sebagai penyedia daya bagi PLC dan komponen yang lainnya. Komponen lainnya berupa tombol, relay dan lain sebagainya Daya ini dapat berupa tegangan AC (120/240 VAC) dan dapat pula berupa tegangan DC (24 VDC).

### 2.2.2.2 Central Processing Unit (CPU)

CPU berfungsi untuk mengatur semua proses yang terjadi di dalam PLC.

Dalam CPU itu sendiri terdiri dari tiga komponen utama, yaitu: prosesor, memori, dan *power supply* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 6.



Gambar 2. 6 Bagaian-bagian CPU (Pramudijanto, 2011)

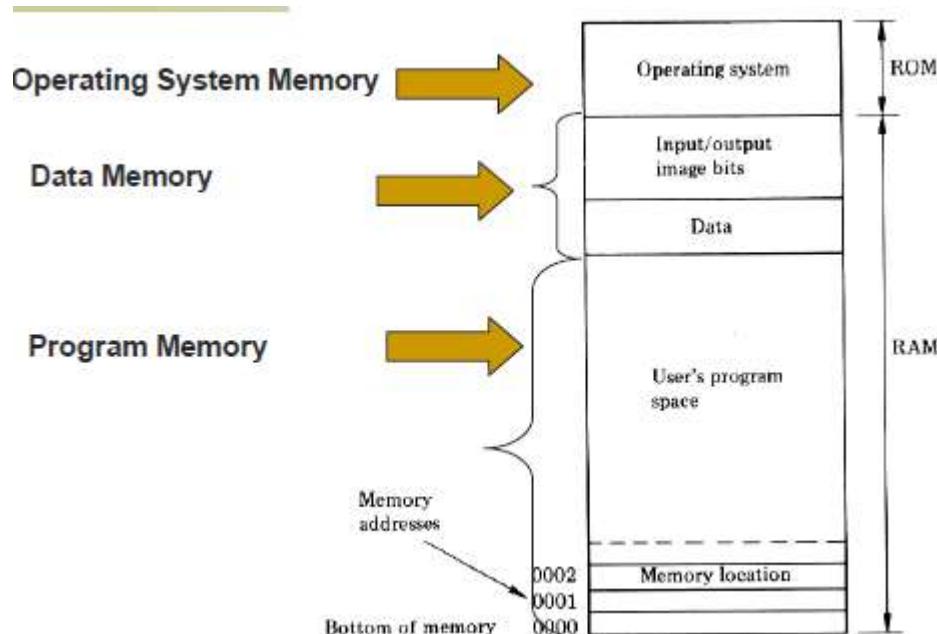
Kecerdasan PLC ditentukan oleh tipe prosesor (mikroprosesor) yang digunakan prosesor ini bertugas untuk memerintah dan mengontrol kegiatan seluruh sistem. Kegiatan tersebut meliputi perhitungan matematika, penangan data, dan diagnostik (Pramudijanto, 2011).

### 2.2.2.3 Memori

Sistem memori pada PLC dibagi berdasarkan tugas yang diberikan. Adapun jenis memori pada PLC adalah sebagai berikut:

1. *Executive Memory* disebut juga ROM adalah lokasi memori untuk menyimpan kumpulan program secara permanen yang merupakan instruksi *software*, yaitu *relay instruction* (Instruksi yang berurutan), *block transfer*, dan *math instruction* (perhitungan matematika). Lokasi memori ini tidak tersedia bagi pemakai tetapi memori ini menjalankan sistem.

2. *Application Memory* disebut juga RAM adalah lokasi memori untuk menyimpan kumpulan *user program* (program pemakai), yaitu area yang menyimpan *ladder diagrams*, timers, dan data-data yang telah dimasukkan dengan kata lain RAM berfungsi untuk menyimpan program yang telah dibuat dan menyimpan data-data yang terbaca oleh program. Data pada RAM akan hilang apabila catu daya pada PLC mati.



Gambar 2. 7 Memori Map pada PLC (Wicaksono, 2012)

Pada Gambar 2. 7 menjelaskan mengenai pembagian memori dalam proses operasi PLC. *Operating system memory* berfungsi untuk menyimpan *operating system* PLC, dan tidak dapat diubah oleh *user*. Data memori berfungsi untuk menyimpan status *input-output*, dan dapat diubah sesuai dengan kondisi *input* atau *output*, namun status akan kembali ke kondisi awal bila PLC mati. *Program memory* berfungsi untuk menyimpan program pengguna (*user*). Pada memori program ini terdiri dari RAM (menyimpan program selama jangka waktu tertentu) dan EEPROM (jenis ROM yang dapat diprogram dan dihapus oleh *user*).

#### **2.2.2.4 Sistem *Input* dan *Output***

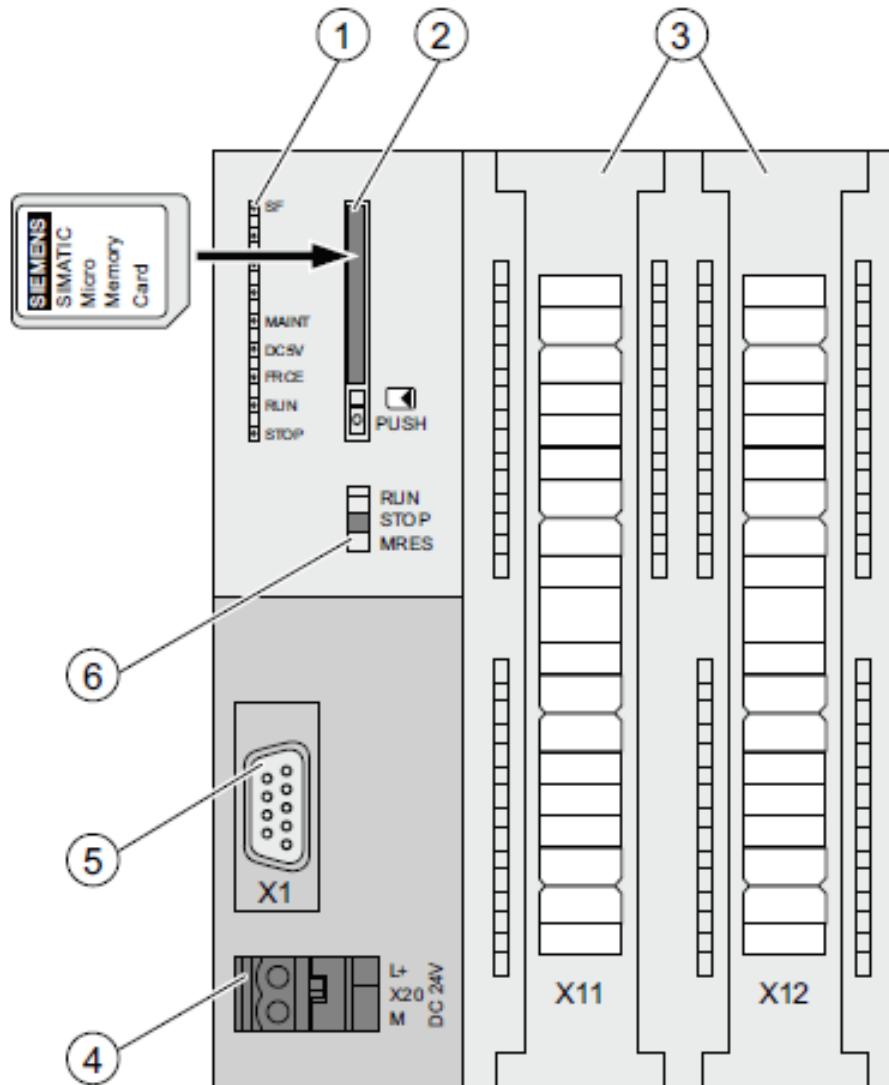
Perangkat ini merupakan bagian dari PLC yang berinteraksi dengan lingkungan luar. Perangkat ini terdiri dari perantara elektronik yang menyediakan fungsi pengkondisian sinyal dan fungsi isolasi. Ini memungkinkan PLC dihubungkan langsung ke aktuator proses dan sensor tanpa memerlukan rangkaian perantara.

Perangkat *input* dan *output* ini dibagi dalam beberapa kelompok, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Perangkat digital *input* (DI)
2. Perangkat digital *output* (DO)
3. Perangkat analog *input* (AI)
4. Perangkat analog *output* (AO)
5. Perangkat untuk komunikasi (serial)

#### **2.2.2.5 Spesifikasi Siemens S7-300 Tipe CPU 313C**

Siemens merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang otomasi teknologi dan menyediakan optimisasi teknologi bagi perusahaan yang bergerak atau menggunakan sistem automasi. Selain menyediakan teknologi automasi, Siemens juga menyediakan software yang berfungsi untuk melakukan uji coba dan pemograman PLC yang disebut Simatic. *Software* Simatic ini terdiri dari beberapa fungsi, diantaranya: *Programmable Controller*, *Distributed I/O*, dan *Programming devices*.



Gambar 2. 8 Operator Kontrol dan Indikator CPU 313C (Siemens, 2013a)

Keterangan Gambar 2. 8 adalah sebagai berikut:

1. Indikator Status dan *Error*

Indikator status dan *error* ini memperlihatkan jika ada *hardware* atau *software* yang keliru, penunjukkan mode operasi, dan keterangan *power supply* CPU. Adapun indikator *error* yang tertera pada Tabel 2. 1 adalah:

Tabel 2. 1 Indikator dan Status Error pada PLC Siemen S7-300 313C

LED	Warna	Arti
SF	Merah	<i>Hardware</i> mengalami <i>fault</i> atau terjadi <i>software error</i>
MAINT	Kuning	Dibutuhkan perawatan
DC5V	Hijau	<i>Power supply</i> (catu daya) 5V untuk CPU dan S7-300 telah siap
FRCE	Kuning	LED tetap menyala : <i>active force job</i> LED berkelip : Tes fungsi <i>node flash</i>
RUN	Hijau	CPU berada pada mode RUN LED berkelip selama <i>Start-Up</i> dengan frekuensi 2 Hz dan pada mode stop berkelip dengan frekuensi 0.5 Hz
STOP	Kuning	CPU berada pada mode STOP atau HOLD atau <i>Start-Up</i> LED berkelip dengan frekuensi 0.5 Hz dan ketika memori direset akan berkelip dengan frekuensi 2 Hz selama reset.

Sumber (Siemens, 2013a)

## 2. Slot untuk kartu memori mikro SIMATIC beserta ejektronnya

PLC Siemens S7 ini menggunakan kartu mikro memori keluaran SIMATIC sebagai modul memori. Hal ini dikarenakan CPU tidak memiliki memori yang terintegrasi sehingga membutuhkan kartu mikro memori keluaran dari SIMATIC untuk beroperasi.

## 3. Slot terminal *input* dan *output*

## 4. Koneksi *power supply* (catu daya)

CPU dilengkapi dengan koneksi 2-pin soket untuk konektivitas *power supply* (catu daya).

## 5. *Interface MPI* (DB-9)

Untuk komunikasi, CPU ini dilengkapi dengan 9-pin MPI *interface* yang menggunakan prinsip komunikasi serial dalam melakukan pengiriman data ataupun penerimaan data.

## 6. Selektor mode

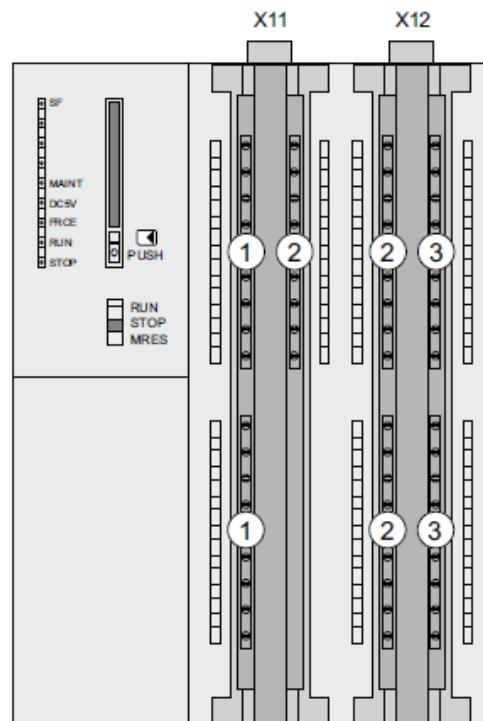
Pada CPU 313C tersedia 3 pilihan mode, yaitu: RUN, STOP, dan MRES.

Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2      Selektor Mode pada PLC Siemens S7-300 313C

Seting	Arti	Keterangan
RUN	Mode RUN	CPU sedang melakukan eksekusi program
STOP	Mode STOP	CPU tidak melakukan eksekusi program
MRES	Memory reset	Untuk melakukan reset memori dilakukan dengan menekan tombol reset.

Sumber (Siemens, 2013a)



Gambar 2. 9    Analog *input/output* CPU 313C (Siemens, 2013a)

Keterangan Gambar 2. 9 adalah sebagai berikut:

### 1. *Input* analog dan *output* analog

Siemens S7-300 dengan CPU 313C ini memiliki slot analog *input* dan analog *output* yang masing-masing berjumlah 5 dan 2 buah.

## 2. Digital *input*

Digital *input* yang disediakan sebanyak 24 buah yang berada di kolom X11 dan kolom X12.

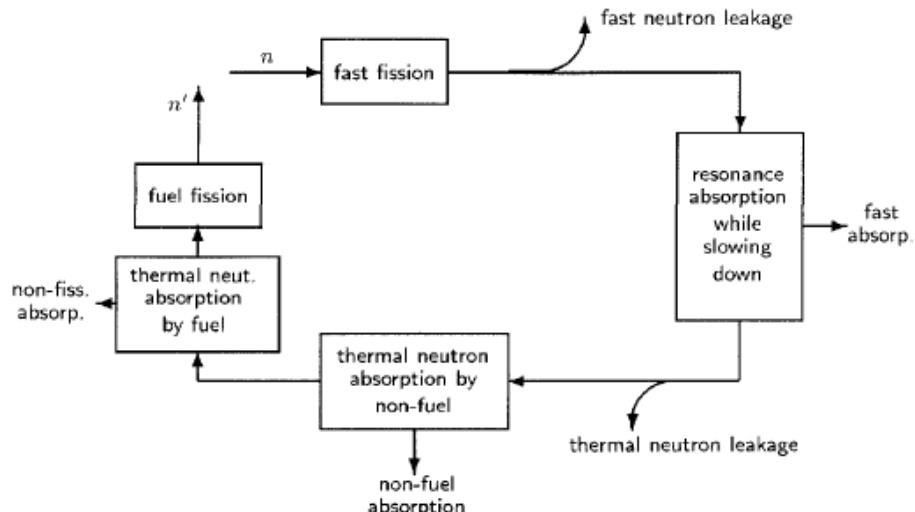
## 3. Digital *output*

Digital *output* yang disediakan lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah digital *input* yaitu sebanyak 16 buah yang tersedia di sebelah kanan kolom X12

### 2.2.3 Kinetika dan Kendali Reaktor Kartini

#### 2.2.3.1 Reaktivitas dan Kekritisan

Pada reaktor thermal beberapa neutron cepat ( $\sim 2$  MeV) dihasilkan dari neutron thermal ( $\sim 0.025$  eV) yang diserap oleh bahan bakar dan mengakibatkan bahan bakar tersebut mengalami pembelahan fisi sehingga mengasilkan neutron cepat (Shultis and Faw, 2002). Siklus hidup neutron ditampilkan pada Gambar 2. 10.



Gambar 2. 10 Siklus Hidup Neutron pada Reaktor Thermal (Shultis and Faw, 2002)

Saat bahan bakar mengalami reaksi fisi (*fast fission*) maka akan menghasilkan neutron cepat (*fast neutron*), dimana neutron cepat ini mengalami kebocoran (*fast neutron leakage*) dan mengalami penyerapan ketika sedang dimoderasi (*fast absorp*). Setelah mengalami moderasi neutron akan menjadi neutron lambat (*thermal neutron*) yang mengalami dua kejadian, yaitu diserap oleh non-bahan bakar (*non-fuel absorption*) dan diserap oleh bahan bakar yang nantinya akan menghasilkan neutron cepat pada pembelahannya. Siklus ini terjadi terus-menerus dan berulang, yang perlu diperhatikan adalah kondisi jumlah neutron atau populasi neutron harus tetap (konstan). Sehingga reaktor dapat beroperasi dalam keadaan kritis.

Pelipatan neutron dalam satu siklus atau disebut juga sebagai Faktor Multiplikasi Efektif per siklus neutron dapat dituliskan dalam Persamaan (2.1)

$$k_{eff} = \frac{n'}{n} \quad (2.1)$$

Dimana

$n'$  = jumlah neutron pada waktu tertentu dalam satu siklus

$n$  = jumlah neutron pada waktu tertentu dalam siklus sebelumnya

Nilai  $k_{eff}$  ini menentukan sifat operasi reaktor itu sendiri. Apabila  $k_{eff} < 1$  menandakan bahwa populasi neutron berkurang dari siklus sebelumnya. Sehingga operasi reaktor disebut dalam keadaan subkritis dan membutuhkan sumber neutron untuk menjaga populasi neutron agar seimbang. Namun apabila  $k_{eff} > 1$  menandakan bahwa populasi neutron meningkat dari siklus sebelumnya. Sehingga operasi reaktor disebut dalam kondisi superkritis. Saat  $k_{eff} = 1$ , jumlah neutron konstan dan sistem dikatakan stabil atau berada dalam kondisi kritis.

Di dalam kinetika reaktor, kondisi kekritisan selain dinyatakan dengan besaran  $k$ , juga bisa dinyatakan dengan perubahan  $k$  terhadap nilai satu dan biasa disebut sebagai reaktivitas dengan simbol  $\rho$  yang didefinisikan sebagai Persamaan (2.2)

$$\rho = \frac{K_{eff} - 1}{K_{eff}} = \frac{\delta k}{k_{eff}} \quad (2.2)$$

### 2.2.3.2 Kinetika dan Periode Reaktor

#### a. Persamaan Kinetika Reaktor

Kelakuan neutron dalam reaktor nuklir ditunjukkan dengan persamaan kinetika reaktor. Persamaan yang paling sederhana adalah persamaan kinetika pada model reaktor titik. Persamaan ini diturunkan dari kesetimbangan populasi neutron dalam teras dengan asumsi reaktor bertenaga tunggal (*thermal*), homogen, dan tidak bergantung pada variabel ruang. Untuk perhitungan dengan model kinetika reaktor dilakukan dengan Persamaan (2.3) dan (2.4).

$$\frac{d}{dt}n(t) = \frac{\rho(t) - \beta}{\ell}n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_u C_i(t) + S(t) \quad (2.3)$$

Dan

$$\frac{d}{dt}C_i(t) = \frac{\beta_i}{\ell}n(t) - \lambda_i C_i t \quad (2.4)$$

Dengan

$n(t)$  = rapat neutron pada saat  $t$  (neutron/cm<sup>3</sup>)

$C_i(t)$  = konsentrasi precursor neutron kasip kelompok ke- $i$

$\rho(t)$  = reaktivitas total teras pada saat  $t$

- $\beta_i$  = fraksi neutron kasip kelompok ke-i  
 $\beta$  = fraksi kelompok neutron kasip efektif  
 $\lambda_i$  = konstanta peluruhan prekursor neutron kasip kelompok ke-i (detik-1)  
 $\ell$  = umur generasi neutron (detik)  
 $S$  = sumber neutron eksternal (neutron/cm<sup>3</sup>.detik)

### b. Konversi Perubahan Posisi Batang Kendali

Pada perhitungan simulasi reaktor perlu mempertimbangkan rumusan konversi perubahan posisi batang kendali ke dalam reaktivitas agar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kinetika reaktor yang dituliskan pada Persamaan (2.3). Nilai reaktivitas dapat dihitung dari nilai perubahan posisi batang kendali dengan menggunakan Persamaan (2.5) (Anglart).

$$\Delta\rho(x) = \Delta\rho(H) \left( \frac{x}{H} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{H} \right) \quad (2.5)$$

Dengan

- $\rho$  = reaktivitas batang kendali (\$)  
 $\Delta\rho(x)$  = perubahan reaktivitas (\$)  
 $H$  = tinggi total teras reaktor  
 $\Delta\rho(H)$  = perubahan reaktivitas akibat insersi full batang kendali

### c. Persamaan Per-jam dan Periode Reaktor

Pada pengendalian reaktor, nilai reaktivitas tersebut dikendalikan oleh batang-batang kendali sehingga batang-batang kendali dikatakan mempunyai nilai reaktivitas atau *rod worth* (Syarip, 2001). Penentuan atau kalibrasi nilai reaktivitas

batang kendali reaktor harus dilakukan secara periodik, yang dinyatakan dalam Persamaan (2.6)

$$\rho = \frac{\ell}{\ell + T} + \frac{T}{\ell + T} \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_{eff}}{1 + \lambda_i T} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.5) juga biasa disebut dengan persamaan Per-jam. Besaran  $\ell$  menyatakan umur generasi neutron yang didefinisikan sebagai umur neutron sejak dilahirkan dari proses pembelahan sampai dengan diserap oleh nuklida di dalam material bahan bakar atau bocor keluar dari reaktor. Nilai  $\ell$  Reaktor Kartini menurut dokumentasi General Atomic sebesar  $\ell = 3,8999999 \times 10^{-5}$ . Nilai  $\beta_{eff}$  adalah fraksi neutron kasip dari U-235. Besarnya  $\beta_{eff}$  untuk Reaktor Kartini yang dikategorikan reaktor termal sebesar  $\beta_{eff} = 6,999999 \times 10^{-3}$ .

Reaktivitas  $\rho$  bisa bernilai negatif, positif, atau nol. Reaktivitas negative ( $\rho < 0$ ) berarti  $k < 1$  maka kondisi reaktor adalah subkritis, reaktivitas positif ( $\rho > 0$ ) berarti  $k > 1$  maka kondisi reaktor adalah superkritis, dan reaktivitas nol ( $\rho = 0$ ) berarti  $k = 1$  maka reaktor disebut pada kondisi kritis. Jika reaktivitas undak  $\rho$  positif atau  $k > 1$ , maka fluks neutron  $n(t)$  dirumuskan menjadi Persamaan (2.7).

$$n(t) = A_0 e^{w_0 t} \quad (2.7)$$

Nilai  $A_0$  merupakan aktivitas awal cuplikan dan  $t$  merupakan nilai periode. Untuk mencari nilai periode reaktor dapat dilakukan dengan membandingkan fluks neutron yang dihasilkan dengan jumlah neutron sebelumnya. Periode reaktor  $T$  didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan untuk perubahan fluks neutron atau daya reaktor dengan faktor  $e$ , sehingga diperoleh Persamaan (2.8).

$$n(t) = n_0 e^{\frac{t}{T}} \quad (2.8)$$

Dalam hal ini  $T = 1/w_0$  disebut sebagai periode reaktor stabil, dan  $T = 1/w_1, 1/w_2, \dots, 1/w_6$  disebut sebagai periode transien. Untuk penyisipan reaktivitas negatif atau  $K < 1$ , sebagai contoh dapat dianggap hanya ada satu kelompok neutron kasip dengan fraksi  $\beta$  tetapan peluruhan  $\lambda$  pada Persamaan (2.9)

$$\frac{\beta}{\lambda} = \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{\lambda_i} \quad (2.9)$$

Persamaan kinetika reaktor dengan menganggap hanya ada satu kelompok neutron kasip dapat dituliskan sebagai pada Persamaan (2.10)

$$n(t) = \frac{\beta}{\beta - \rho} n_0 e^{\frac{\lambda\rho}{\beta - \rho} t} - \frac{\rho}{\beta - \rho} n_0 e^{\frac{\beta - \rho}{\lambda} t} \quad (2.10)$$

Dimana  $n(t)$  adalah kerapatan neutron sebagai fungsi waktu  $t$  dan penyisipan reaktivitas undak  $\rho$ . Persamaan (2.8) dapat ditulis sebagai berikut:

$$n(t) = \frac{\beta}{\beta - \rho} n_0 e^{\frac{\lambda\rho}{\beta - \rho} t} \quad (2.11)$$

Sehingga dari Persamaan (2.11) dan sesuai dengan pengertian periode reaktor seperti yang dituliskan pada Persamaan (2.8), maka periode reaktor stabil dengan asumsi hanya ada satu kelompok neutron kasip sesuai dengan Persamaan (2.12).

$$T_0 \approx \frac{\beta - 1}{\lambda\rho} \quad (2.12)$$

### 2.2.3.3 Konversi Daya

Perhitungan kinetika reaktor dengan menggunakan persamaan (2.3) dan (2.4) menghasilkan densitas neutron yang akan dikonversi menjadi daya mengacu pada Persamaan (2.13).

$$P = \frac{\sum f \phi V_r}{3,125 \times 10^{10}} \quad (2.13)$$

Dengan

$P$  = daya reaktor (watt)

$\Sigma_f$  = tampang lintang makroskopik ( $\text{cm}^{-1}$ )

$\phi$  = fluks neutron ( $\text{neutron}/\text{cm}^2 \cdot \text{detik}$ )

$V_r$  = volume teras reaktor ( $\text{cm}^3$ )

$3.125 \times 10^{10}$  = ketetapan untuk satu pembelahan inti

Tampang lintang makroskopik bergantung pada kerapatan bahan dapat belah yang dihasilkan. Tampang lintang makroskopik dirumuskan sesuai dengan Persamaan (2.14).

$$\sum f = N \times \sigma_f \quad (2.14)$$

Sedangkan kerapatan bahan dapat belah dirumuskan sesuai dengan Persamaan (2.15).

$$N = \frac{N_A m}{VBA} \quad (2.15)$$

Dengan

$N$  = kerapatan bahan dapat belah ( $\text{inti}/\text{cm}^3$ )

$\sigma_f$  = tampang lintang mikroskopik ( $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ )

$N_A$  = bilangan Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$ )

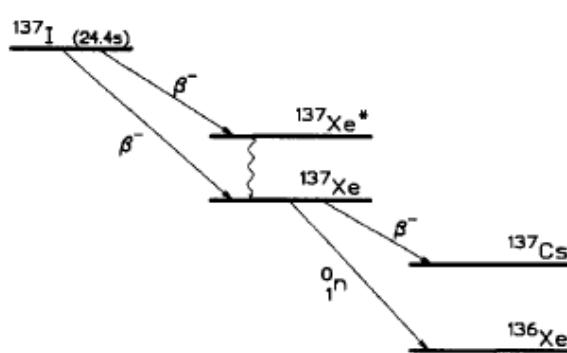
$m$  = massa bahan bakar (kg)

$V$  = volume teras ( $\text{cm}^3$ )

$BA$  = massa atom uranium (235)

#### 2.2.3.4 Neutron Serentak dan Neutron Kasip

Pada saat bahan bakar ditembak oleh sejumlah neutron maka akan terjadi reaksi fisi yang menghasilkan neutron serentak. Namun neutron ini tidak dapat digunakan dalam persamaan kinetika sederhana karena neutron serentak memiliki karakteristik umur yang lebih pendek jika dibandingkan dengan neutron kasip (Shultis and Faw, 2002). Oleh karena itu, meskipun presentase neutron kasip kecil tetapi dapat menambah umur generasi neutron yang cukup berarti. Neutron serentak ini memancarkan sejumlah fraksi kecil  $\beta^-$  (0.65% dari  $^{235}\text{U}$ ) sebagai peluruhan dari hasil fisi tertentu. Proses terjadinya neutron kasip dapat dilihat pada Gambar 2. 11.



Gambar 2. 11 Proses terjadinya Neutron Kasip (Shultis and Faw, 2002)

Hasil fisi berupa unsur yang meluruh karena melepaskan neutron disebut dengan prekursor neutron kasip dan neutron yang dipancarkan disebut dengan

neutron kasip. Sebagai contoh pada Gambar 2. 11 dimana  $^{137}\text{I}$  merupakan penghasil neutron kasip.  $^{137}\text{I}$  meluruh dengan memancarkan  $\beta^-$  menghasilkan  $^{137}\text{Xe}$ . Selanjutnya  $^{137}\text{Xe}$  akan memancarkan  $\beta^-$  atau memancarkan neutron kasip. Neutron kasip yang dipancarkan inilah yang dapat menambah umur generasi neutron.

#### 2.2.4 Control Rod-Drive Mechanism (CRDM)

CRDM terdiri dari pengendali (*driver*) motor, *driveline*, dan rangka mekanik (Lee and Koo, 2013). Pada bagian *driveline* terdiri dari tiga bagian, yaitu batang *drive*, tabung tensi, dan indikator posisi yang terhubung dengan *motor drive* ke CRA (*Control Rod Assemblies*). Struktur CRDM berdasarkan Lee dan Koo ditunjukkan pada Gambar 2. 12.



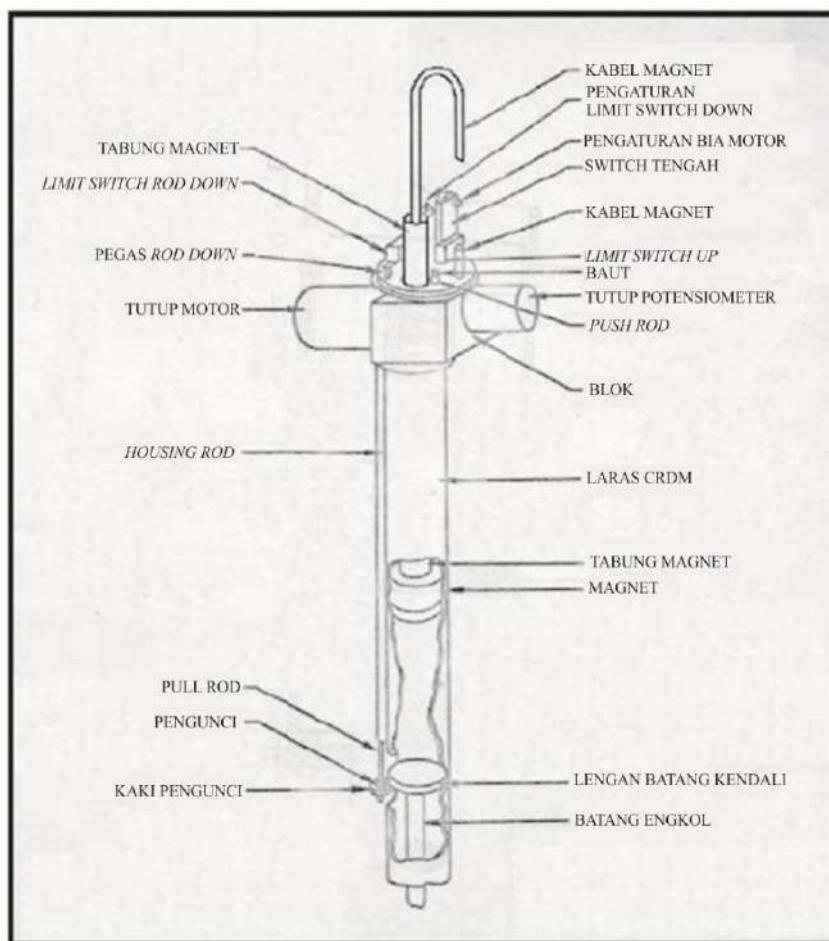
Gambar 2. 12 Struktur CRDM (Lee and Koo, 2013)

Masing-masing CRDM memiliki 2 mekanisme insersi ke dalam teras reaktor (Lee and Koo, 2013).

1. Melepaskan pegangan CRA dari *driveline* (melepaskan medan elektromagnetik pengait), sehingga memungkinkan batang kendali jatuh ke dalam teras reaktor karena efek gravitasi.
2. Mengontrol motor atau dengan *drive-in* motor cepat yang diaktifkan oleh *control plant* atau sistem proteksi.

Mekanisme pergerakkan batang kendali pada reaktor Kartini menggunakan penggerak motor listrik 110 VAC-60 Hz. Motor dihubungkan *Roda gigi pinion*

yang menggunakan *Magnet Draw Tube*. Motor penggerak ini juga akan menggerakkan roda gigi yang akan memutar potensiometer (tipe linier) 10 putaran. Potensiometer pada kedua ujung diberi catu daya 5 VDC, sehingga keluaran dari tap tengah potensiometer berupa tegangan yang bervariasi sesuai dengan naik turunnya batang kendali (Abimanyu and Prajitno, 2016), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 13 berdasarkan pembacaan tegangan inilah posisi batang kendali dapat diketahui.



Gambar 2. 13 Mekanisme Penggerak Batang Kendai Reaktor Kartini (Abimanyu and Prajitno, 2016)

Elektromagnet berfungsi untuk mengaitkan batang kendali pada sistem CRDM yang digerakkan naik/turun oleh motor listrik. Pada saat sinyal *trip* dihasilkan, elektromagnet ini akan hilang sehingga batang kendali akan jatuh ke dalam teras reaktor. Pada saat akan diangkat kembali, elektromagnet harus menempel terlebih dahulu pada armature batang kendali, sehingga saat elektromagnet dialiri listrik batang kendali dapat menempel dengan kuat pada armature CRDM.

Keterangan dibawah ini menjelaskan mengenai spesifikasi CRDM yang dimiliki oleh reaktor Kartini. Sesuai dengan yang tertera pada Tabel 2. 3 dan Tabel 2. 4.

Tabel 2. 3 Spesifikasi CRDM

No	Spesifikasi CRDM	Keterangan
1.	Panjang Lintasan	: 400 mm
2.	Kecepatan Linier	: 6,27 mm/detik
3.	Jangkaun Penyetelan Saklar Pembatas	: +/- 10 mm
4.	Motor Penggerak	
	a. Tipe	: Reversible Motor
	b. Daya	: 15 watt
	c. Torsi	: 10,26 kg-cm
	d. Power Supply	: 220 VAC/50 Hz
	e. Kecepatan Motor	: 1200 rpm
	f. Ratio roda Gigi Reduksi	: 1:180
	g. Kecepatan Putar Akhir	: 6,66 rpm
5.	Diamater Efektif Pinion	: 18 mm
6.	Panjang Rack	: 500 mm
7.	Magnet Scram	
	a. Tegangan Supply	: 24 VDC
	b. Arus	: 240 mA
	c. Daya Angkat Maksimum	: 40 kg
	d. Dimensi	: Diameter 40mm, tinggi 40 mm
8.	Kondisi Ruang Kerja	
	Kelembaban Relatif	: 90%
	Suhu Maksimum	: 55 °C

Sumber BATAN (2015)

Tabel 2. 4 Indikator Posisi Batang Kendali (CRDM)

Nama Batang Kendali	Posisi Batang Kendali	Tegangan Pada Pontensio (Volt)	Lampu Indikator	Posisi Batang Kendali
Pengaman (Saftey Rod)	0% 100%	0,64 7,33	POSITION DOWN POSITION UP	0 mm 380 mm
Kompensasi (Compensation Rod)	0% 100%	1,02 7,64	POSITION DOWN POSITION UP	0 mm 380 mm
Pengatur (Regulation Rod)	0% 100%	1,93 8,71	POSITION DOWN POSITION UP	0 mm 380 mm

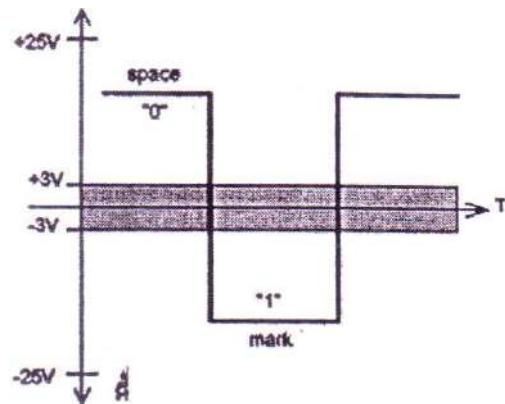
Sumber BATAN (2015)

## 2.2.5 Komunikasi Serial RS-232

Komunikasi serial RS-232 adalah protokol *asynchronous*, yang berarti jalur *clock* tidak terpisah dari jalur data sehingga kedua titik harus mengetahui kecepatan komunikasi yang dikenal dengan sebutan *baud rate*. RS-232 memiliki 2 jalur data yaitu Tx (*Transmit*) dan Rx (*Receive*) karena jalurnya terpisah, jadi mengirim dan menerima data dapat dilakukan secara bersamaan, membuat sistem ini *full duplex*. Selain jalur Tx dan Rx terdapat juga jalur *ground* (Amora, 2016). RS-232 sebagai protokol komunikasi, mengirimkan informasi tiap bit dan memiliki 2 level sinyal seperti yang terlihat pada Gambar 2. 14 yaitu:

1. Tegangan antara -3 sampai dengan -25 volt sebagai *logic 1*.
2. Tegangan antara +3 sampai dengan +25 volt sebagai *logic 0*.

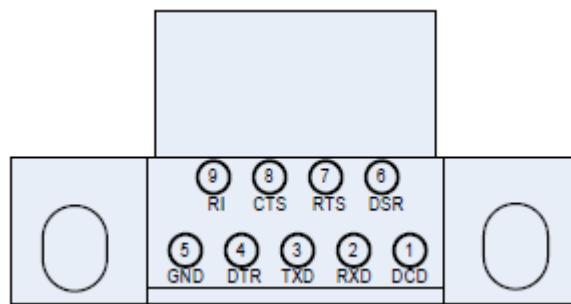
Salah satu port serial DB9 dapat dilihat pada Gambar 2. 15. Pada Gambar 2. 16 memperlihatkan struktur port serial DB9, pin 2 merupakan Rx, pin 3 merupakan Tx dan pin 5 merupakan gnd (*ground*) (International, 2010).



Gambar 2. 14 Tegangan Level Serial RS-232 (Amora, 2016)



Gambar 2. 15 Port Serial DB-9 (Amora, 2016)



Gambar 2. 16 Keterangan Pin-Out Port Serial DB-9 (Datasheet, 2010)

Untuk dapat lebih memahami Gambar 2. 16 dapat melihat keterangan pada

Tabel 2. 5.

Tabel 2. 5 Keterangan Pin-Out Port Serial DB-9

Nomor Pin	Fungsi Pin	Keterangan
1	<i>Input</i>	DCD ( <i>Data Carrier Detect</i> )
2	<i>Input</i>	RXD ( <i>Receive Data</i> )
3	<i>Output</i>	TXD ( <i>Transmit Data</i> )
4	<i>Output</i>	DTR ( <i>Data Terminal Ready</i> )
5	<i>Ground</i>	GND (RS-232 sinyal <i>ground</i> )
6	<i>Input</i>	DSR ( <i>Data Set Ready</i> )
7	<i>Output</i>	RTS ( <i>Request to Send</i> )
8	<i>Input</i>	CTS ( <i>Clear to Send</i> )
9	<i>Input</i>	RI ( <i>Ring Indicator</i> )
shield	<i>Case ground</i>	Drain (biasanya terhubung pada <i>casing PC</i> )

Sumber DB9-USB-RS232 Datasheet (2010)

## 2.2.6 Perangkat Lunak LabVIEW

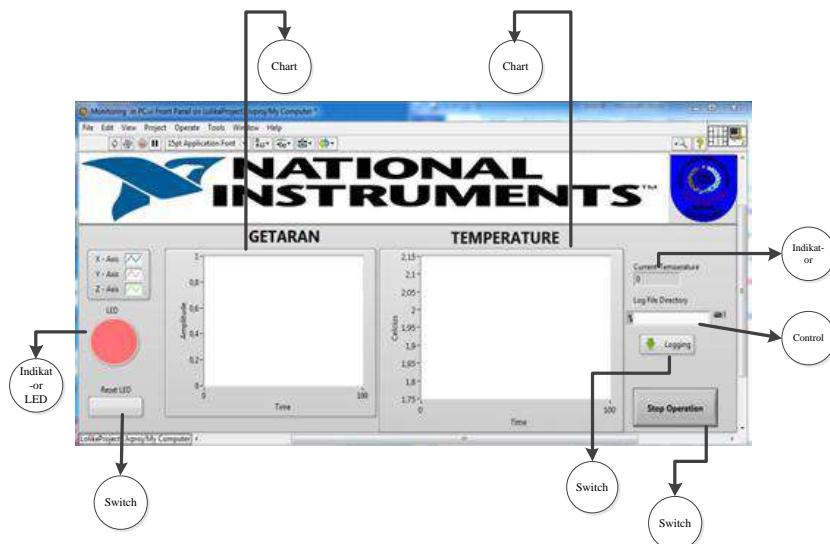
LabVIEW yang merupakan singkatan dari *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* ini ialah perangkat lunak yang khusus digunakan untuk pemrosesan dan visualisasi data dalam bidang akuisisi data, kendali, dan instrumentasi, serta otomasi industri. Perangkat lunak ini pertama kali dikembangkan oleh perusahaan National Instruments pada tahun 1986. Perangkat lunak ini dapat dijalankan pada sistem operasi Unix, Linux, Mac OS X dan Windows. Konsep dari LabVIEW ini berbeda dengan bahasa pemrograman lainnya seperti C++, Matlab, atau Visual Basic, bahwa LabVIEW menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis atau blok diagram sementara bahasa pemrograman lainnya menggunakan basis *text*. Program LabVIEW biasa dikenal dengan sebutan VI atau *Virtual Instruments*, dikarenakan penampilan dan operasinya dapat meniru sebuah instrumen (Amora, 2016).

Pada LabVIEW, *user* pertama kali membuat *front panel* dengan menggunakan *controls* dan *indicators*. *Controls* adalah *knobs*, *push buttons*, *dials* dan peralatan *input* lainnya. Sedangkan *indicators* adalah *graphs*, LEDs dan

peralatan *displays* lainnya. Setelah menyusun *user interface*, lalu *user* menyusun blok diagram yang berisi kode-kode VIs untuk mengontrol *front panel*.

### 2.2.6.1 *Front Panel*

Objek-objek pada jendela *Front Panel* akan terlihat oleh pengguna saat program dijalankan. Objek-objek pada *Front Panel* ini, akan secara otomatis memiliki representasi VI di Blok Diagram, khususnya untuk objek-objek yang membawa data, baik data yang masuk dari pengguna ke program maupun data yang keluar dari program ke pengguna. Gambar 2. 17 merupakan tampilan *Front Panel* LabVIEW yang berisi contoh sebuah program dengan menampilkan informasi dalam bentuk *chart*. *Front Panel* ini akan secara otomatis memiliki representasi VI di Blok Diagram yang dapat dilihat pada Gambar 2. 19.



Gambar 2. 17 *Front Panel*

### 2.2.6.2 *Palet Controls*

*Palet controls* akan muncul ketika dilakukan klik kanan pada jendela *Front Panel*. *Palet Controls* hanya berada di jendela *Front Panel*. *Palet Controls* digunakan untuk membuat objek HMI. Pengguna dapat mencari objek dengan

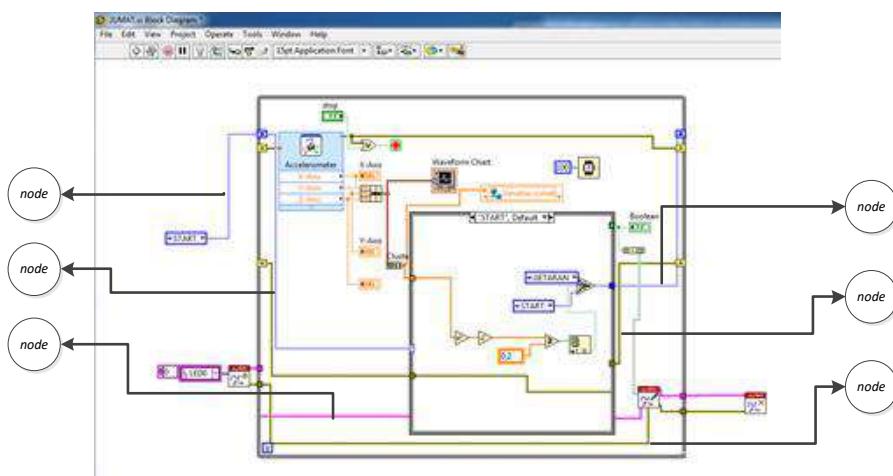
melihat pada kategori yang disediakan atau menggunakan bantuan tombol. Gambar 2. 18 merupakan jendela dari *Palet Controls*.



Gambar 2. 18 *Palet Controls*

### 2.2.6.3 Blok Diagram

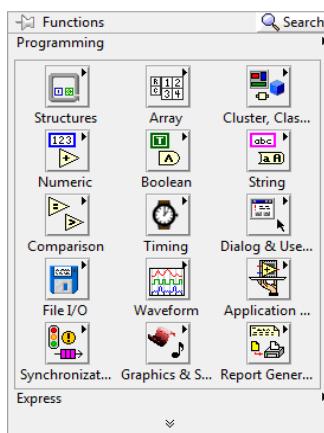
Blok diagram adalah tempat pembuatan program. Jendela ini tidak akan terlihat oleh pengguna saat program dijalankan. Pembuatan program dilakukan dengan cara menempatkan beberapa *node* dan menghubungkan satu dengan yang lain, sehingga membentuk satu kesatuan program. Gambar 2. 19 merupakan program yang berisi perintah-perintah sehingga dapat ditampilkan pada *Front Panel*.



Gambar 2. 19 Blok Diagram

#### 2.2.6.4 Palet Functions

*Palet Functions* akan muncul ketika dilakukan klik kanan pada jendela blok diagram. Palet ini digunakan untuk mengambil VI guna pembuatan program di blok diagram. Tersedia juga tombol *Search* untuk membantu pencarian. Gambar 2. 20 menunjukkan *window* dari *Palet Functions*.

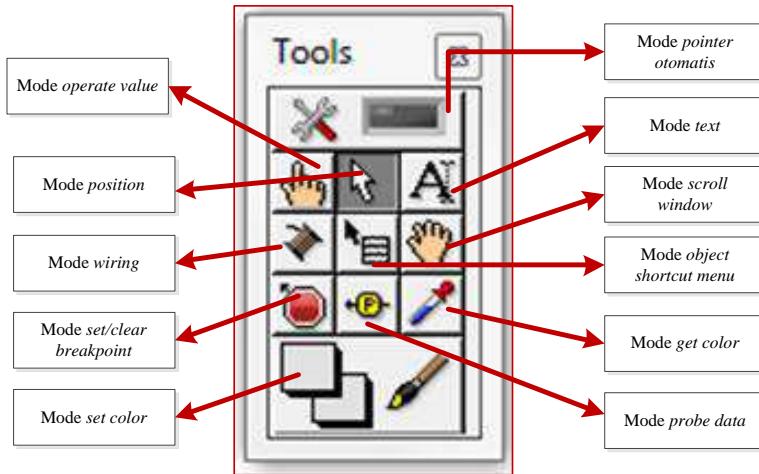


Gambar 2. 20 *Palet Function*

#### 2.2.6.5 Palet Tool

Berbeda dengan kedua *Palet* sebelumnya yang hanya bisa dimunculkan pada satu jendela tertentu, *Palet Tool* ini dapat dimunculkan di *Front Panel* maupun Blok Diagram. Tekan tombol *Shift* diikuti dengan klik kanan untuk memunculkan *Palet Tool* ini. Isi *Palet Tool* ini berhubungan dengan mode pada *pointer mouse*, apakah *pointer mouse* akan digunakan untuk menempatkan teks, memberi warna, memilih objek, meng gulung layar dan sebagainya. Masing-masing memiliki gambar *pointer* yang berbeda. *Tool* pada *Palet* bekerja secara otomatis memilih mode yang tepat untuk *pointer* apabila indikator LED pada *Palet Tool* menyala. Namun, apabila menginginkan pengaturan *tool pointer* sendiri, pengguna dapat mematikan fungsi otomatis ini dengan mengklik LED indikator *Palet Tool* tersebut hingga padam, hal ini seperti ditunjukkan pada Gambar 2. 21.

Pada kondisi ini, sekali sebuah *tool pointer* dipilih, *tool* tersebut tidak akan berubah, kecuali pengguna mengklik pada pilihan *tool* yang lain di *Palet Tool*.



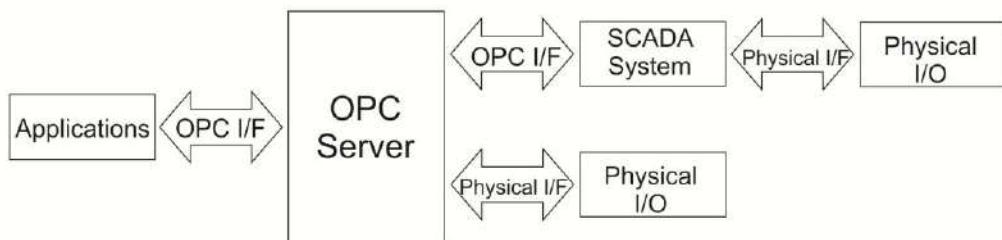
Gambar 2. 21 *Palet Tool*

### 2.2.7 LabVIEW – OPC (OLE for Process Control)

OPC diluncurkan pertama kali pada tahun 1996, yang bertujuan menjadi sebuah perantara/antarmuka PLC dengan sistem *Human Machine Interface* (HMI) / *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). OPC menyediakan mekanisme standar untuk tukar menukar data melalui jaringan ethernet menggunakan teknologi dari microsoft meliputi *Object Linking and Embedded* (OLE), *Component Object Model* (COM) dan *Distributed Component Object Model* (DCOM) (Knapp, 2011).

OPC pertama yang diluncurkan adalah OPC *Data Access* (OPC-DA). OPC-DA memberikan spesifikasi standar dalam komunikasi data *real-time* dari perangkat akuisisi data dengan perangkat HMI (Hong and Jianhua, 2005). Konsep OPC-DA adalah menjadi antarmuka standar dari berbagai macam jenis merk perangkat akuisisi data dan perangkat (Rachman, 2015).

Desain utama dari OPC adalah untuk mengakses data dari jaringan *Server*, selain itu antarmuka OPC dapat digunakan pada berbagai aplikasi. Contohnya adalah OPC dapat mengambil data mentah dari perangkat keras kedalam SCADA atau DCS, atau sebaliknya (Rachman, 2015). Salah satu konfigurasi komunikasi menggunakan OPC ditampilkan pada Gambar 2. 22.

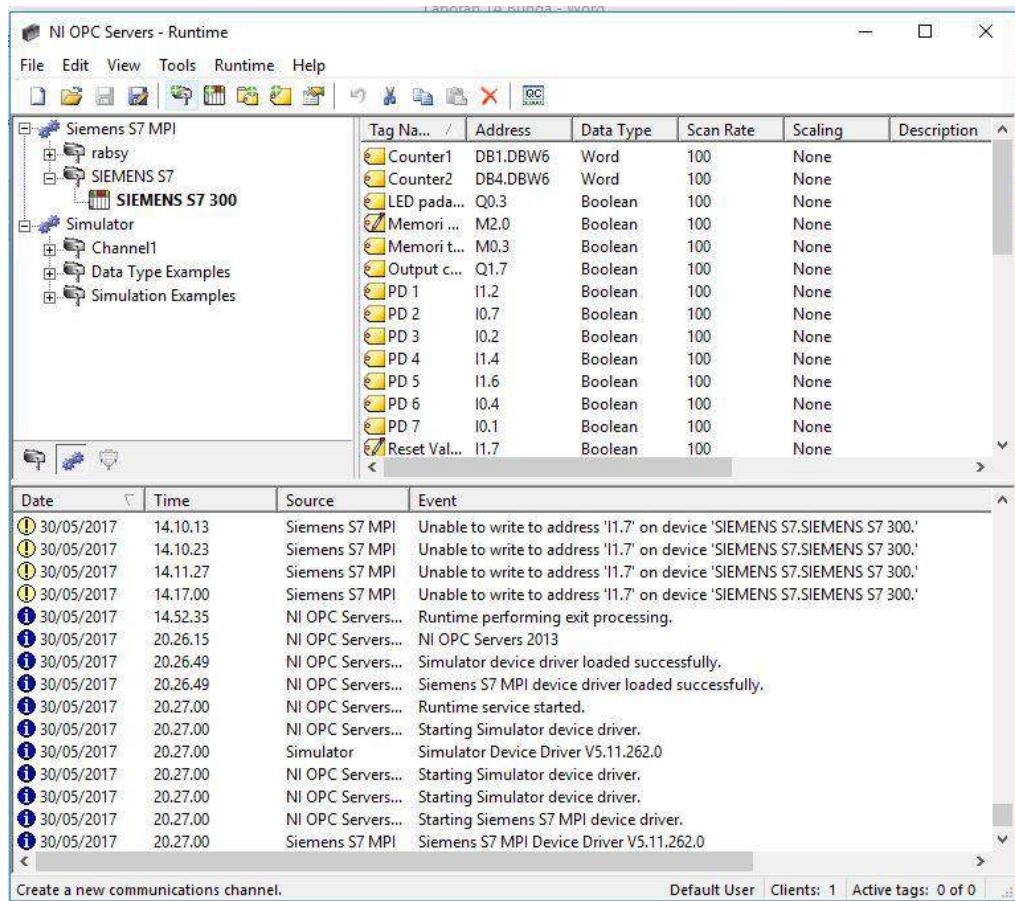


Gambar 2. 22 Blok Komunikasi OPC (OPC-Foundation, 2002)

### 2.2.8 *National Instruments OPC Server*

*National Instruments* (NI) OPC *Server* menyediakan sebuah antarmuka untuk berkomunikasi dengan berbagai perangkat. Kombinasi NI OPC *Server* dan LabVIEW menyediakan satu *platform* untuk memberikan pengukuran berkinerja tinggi dan kontrol untuk kedua sistem instrumentasi baru dan yang sudah ada (Rachman, 2015). Server NI OPC terhubung melalui OPC *Client* di data *logging* LabVIEW dan *Modul Supervisory Control* (DSC) sehingga memungkinkan dapat mengembangkan sistem HMI / SCADA secara total dengan PLC, *Programmable Automation Controller* (PACs) dan sensor (Hans-Petter Halvorsen, 2012).

Tampilan NI OPC Server pada Gambar 2. 23.



Gambar 2. 23 Tampilan NI-OPC Server

#### LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*)

adalah *platform* untuk bahasa pemrograman visual dari *National Instruments* (NI) yang membantu para insinyur merancang sampai kepengujian dari skala kecil hingga skala besar. LabVIEW umumnya digunakan untuk akuisisi data, kontrol instrumen, dan otomasi industri pada berbagai *platform* termasuk Microsoft Windows, Linux, dan Mac OS X. LabVIEW menggunakan bahasa pemrograman berbagai grafis atau blok diagram. Program LabVIEW dikenal dengan sebutan *Virtual Instruments* (VI) karena penampilan dan operasinya dapat meniru sebuah instrumen. Dengan bahasa pemrograman berbasis grafis ini maka seorang

programmer pemula dapat dengan mudah membangun sebuah program sederhana (Hans-Petter Halvorsen, 2012).

### **2.3 Hipotesis**

Berdasarkan tinjauan pustaka dan landasan teori maka didapatkan hipotesis bahwa dapat dibuat suatu simulator reaktor Kartini berbasis PLC dengan menggunakan aktuator CRDM (*Control Rod-Drive Mechanism*).

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Alat dan Bahan**

Pada penelitian rancang bangun simulator Reaktor Kartini berbasis PLC dengan Aktuator CRDM, digunakan beberapa peralatan dan bahan.

##### **3.1.1 Alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Perangkat keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah PC/Laptop dengan spesifikasi minimum Processor Intel® Core™ i5 CPU 1.6GHz 2.30GHz yang fungsinya untuk menjalankan perangkat LabVIEW.

2. Perangkat lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini ialah perangkat lunak LabVIEW yang fungsinya untuk membuat program Kinetika Reaktor dan penampil pada PC/Laptop. Simatic Step 7 TIA 11 berfungsi untuk membuat program diagram *Ladder* dan untuk mengunduh program ke PLC.

##### **3.1.2 Bahan**

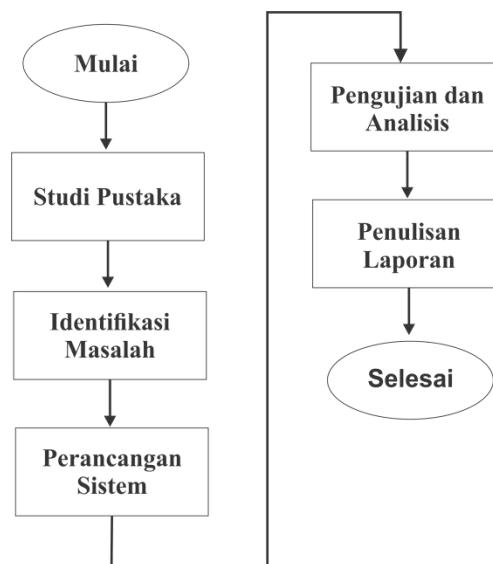
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi modul perangkat keras dan perangkat lunak. Modul perangkat keras diantaranya seperti yang tertera pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Bahan *hardware*

No	Perangkat Keras	Fungsi	Jumlah
1	PLC Simatic S7-300 tipe 313C	Menjalankan CRDM	1 buah
2	SSR 3-32 VDC/24-380	Menghubungkan keluaran DC dari PLC untuk menggerakkan motor 220 VAC pada CRDM	6 buah
3	Tombol push on	Sebagai masukan digital yang dibutuhkan PLC untuk menjalankan CRDM	9 buah
4	Panel box	Box kontroler	1 buah

### 3.2 Tata Laksana Penelitian

Secara umum, tahapan – tahapan penelitian digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3. 1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

#### 3.2.1 Studi Pustaka

Pada studi pustaka dilakukan kajian yang berkaitan dengan parameter yang dibutuhkan dalam merancang bangun reaktor Kartini, PLC Siemens S7, LabVIEW, Komunikasi menggunakan OPC Server LabVIEW, dan prinsip kerja CRDM.

Kajian pustaka dilakukan dengan membaca referensi pada perpustakaan khususnya penelitian yang serupa, membaca jurnal dan prosedur yang berkaitan dengan perancangan simulator reaktor, wawancara dengan pembimbing lapangan, dosen pembimbing maupun berdiskusi dengan rekan yang memiliki keahlian dalam bidang penelitian.

### **3.2.2 Identifikasi Masalah**

Operator reaktor perlu memiliki skill pengoperasian yang baik guna mewujudkan availabilitas reaktor dan menghindari terjadinya *unforced scram*. Untuk mewujudkan hal tersebut perlu adanya simulator operasi reaktor. Permasalahan yang akan diteliti pada penelitian ini ialah mengenai rancang bangun simulator reaktor kartini berbasis PLC dengan menggunakan CRDM yang terkoneksi pada PC/Laptop sebagai penampil dan penyimpan informasi.

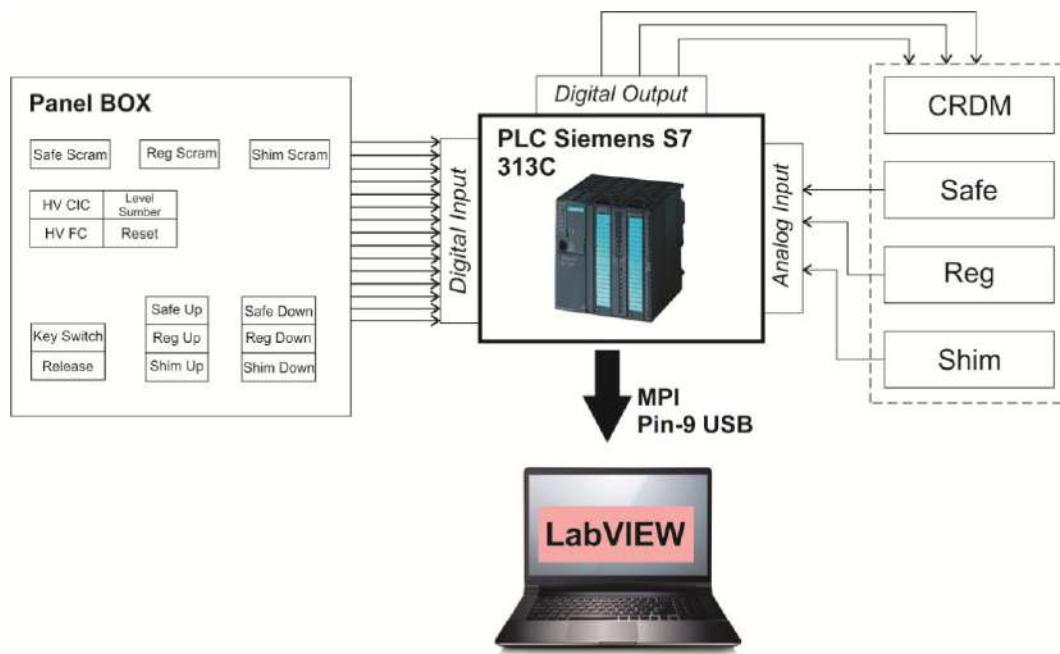
### **3.2.3 Perancangan Sistem**

Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun suatu perangkat simulator Reaktor Kartini beserta sistem penampil Reaksi yang terjadi di dalam reaktor yang divisualisasikan menggunakan LabVIEW. Sedangkan sistem kontroler CRDM atau batang kendali digunakan PLC Siemens S7-300 dengan tipe CPU 313C dan kemudian hasilnya akan diolah dan ditampilkan pada komputer dengan perangkat lunak LabVIEW.

Rancang bangun sistem simulator Reaktor Kartini berbasis PLC Siemens S7-300 313C menggunakan LabVIEW sebagai pengolah sinyal dan sebagai akuisisi data serta pengolah data. Modul PLC Siemens S7-300 313C akan mengambil sinyal analog maupun digital dari *panel box* (tombol pengatur) dan CRDM. Data

dari perubahan batang kendali karena adanya pengaturan yang dilakukan oleh tombol akan dibaca oleh PLC sebagai sinyal analog yang kemudian dikirimkan ke komputer untuk diolah dan dilakukan komputasi, sehingga dapat dihasilkan reaktivitas dari perubahan batang kendali yang diberikan oleh CRDM.

Terdapat 3 buat masukan analog sebagai masukan dari perubahan ketinggian batang kendali, yaitu: *Safety Rod*, *Shim Rod*, dan *Regulator Rod*. Ketiga batang kendali ini akan dikendalikan dengan menggunakan tombol *Up* dan *Down* serta tombol *SCRAM*. Adapun blok diagram rancang bangun simulator Reaktor Kartini dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 2.



Gambar 3. 2 Blok Diagram Perancangan Sistem Simulator Reaktor Kartini

Pada saat tombol *Release* dan *Up* ditekan maka motor akan menggerakkan motor pada CRDM sehingga batang kendali terangkat keatas meninggalkan teras reaktor. Pergerakan motor pada CRDM akan memutar potensio sehingga menyebabkan adanya perubahan tegangan. Perubahan tegangan

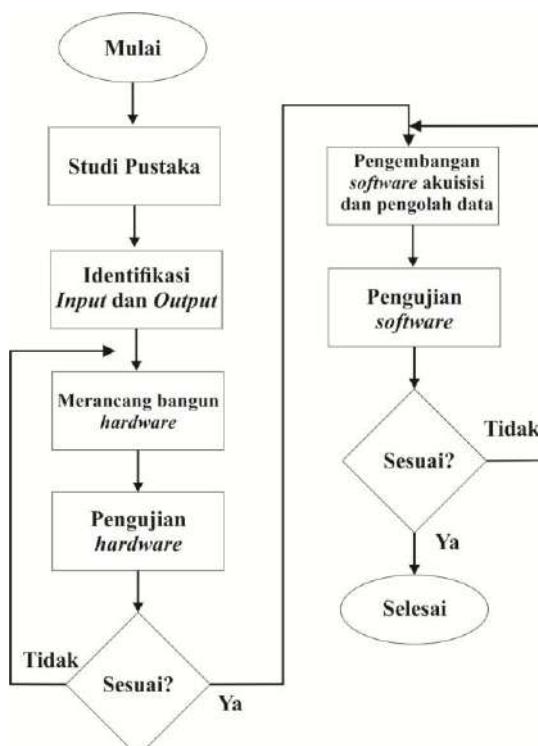
inilah yang akan dibaca sebagai representasi perubahan ketinggian batang kendali dalam teras reaktor. Mengasumsikan bahwa 0V sebagai posisi 0% dan 8V sebagai posisi 100%. Data perubahan tegangan ini akan dikirim oleh PLC ke komputer dengan menggunakan koneksi Serial Data OPC Server yang telah disediakan oleh LabVIEW. Koneksi serial ini menggunakan kabel SIPAC DB-9 dan *converter USB to Serial*.

Pembacaan posisi batang kendali dalam tegangan ini akan dihitung oleh LabVIEW sesuai dengan persamaan kinetika reaktor. Dari pembacaan posisi tegangan ini akan diubah ke dalam reaktivitas dan daya menggunakan persamaan kinetika reaktor yang sudah dibangun didalam perangkat lunak LabVIEW. Dari hitungan daya yang dihasilkan ini tidak boleh melampaui 110% karena apabila melampaui nilai daya pada 110% maka akan memicu sinyal *trip* yang akan dikirimkan LabVIEW ke PLC, sehingga memutus aliran elektromagnet pada CRDM. Akibat terputusnya aliran listrik membuat elektromagnek pada CRDM hilang sehingga batang kendali akan terjatuh ke dalam teras reaktor dan mengakibatkan terjadinya *SCRAM*.

Sinyal *trip* juga dipicu dengan periode pelipatan neutron yang kurang dari 7 detik. Periode ini dihasilkan dari hitungan pelipatan neutron menggunakan program pada LabVIEW. Sinyal *trip* periode ini akan dikirimkan dari LabVIEW ke PLC yang mengakibatkan terputusnya aliran listrik sehingga membuat elektromagnet pada CRDM hilang dan batang kendali jatuh ke dalam teras reaktor. Selain diwujudkan melalui perhitungan kinetika reaktor, sinyal *trip* juga

diwujudkan dalam tombol *trip*. Tombol *trip* tersebut diantaranya adalah: *trip* Level Sumber, *trip* HV FC, dan *trip* HV CIC.

Diagram alir perancangan sistem simulator reaktor Kartini ditunjukkan seperti pada Gambar 3. 3. Perancangan sistem didahului dengan identifikasi *input* dan *output* yang akan digunakan dalam penelitian, kemudian dilanjutkan dengan merancangbangun perangkat keras dan pengujian perangkat keras (*hardware*). Apabila pengujian perangkat keras telah sesuai, langkah selanjutnya adalah pengembangan perangkat lunak. Pengembangan perangkat lunak meliputi akuisisi dan pengolah data dari perangkat keras serta menampilkan informasi. Pengujian perangkat lunak dilakukan untuk mengetahui kesesuaian data yang dikirim dan yang diterima oleh pengolah data.



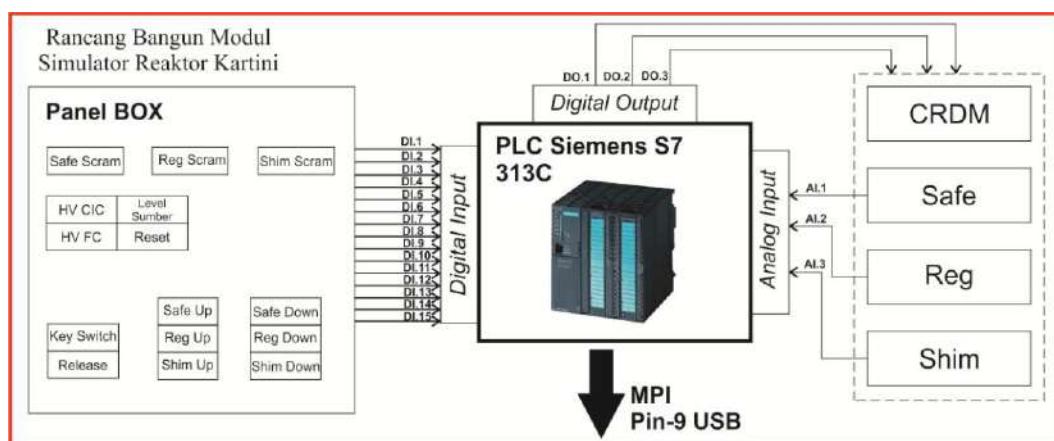
Gambar 3. 3 Diagram alir perancangan sistem keseluruhan

### 3.2.3.1 Rancang Bangun Simulator Reaktor Kartini

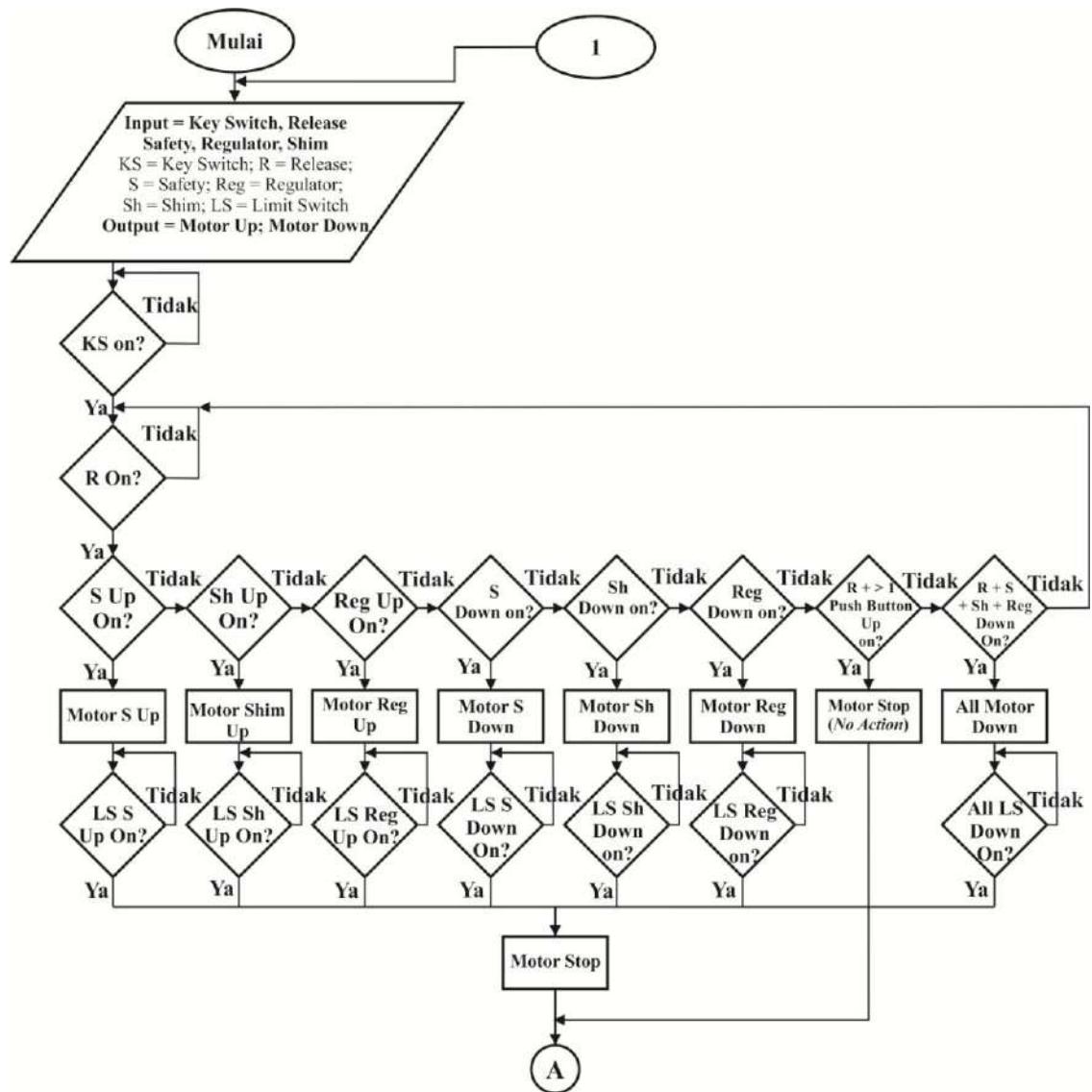
#### Sistem Perangkat Keras

Rancang bangun perangkat keras simulator Rektor Kartini ditunjukkan secara berturut-turut pada Gambar 3. 4, Gambar 3. 5, Gambar 3. 6, Gambar 3. 7, Gambar 3. 8, dan Gambar 3. 9.

Perancangan perangkat keras Simulator Reaktor mengacu pada Gambar 3. 4. *Panel box* yang berupa tombol *push button* akan memberikan sinyal *true* atau *false* (1 atau 0) ke dalam PLC. PLC akan memberikan sinyal DO.1, DO.2, dan DO.3 ke CRDM untuk mengatur pergerakkan motor sehingga dapat mengatur naik dan turunnya batang kendali. Perubahan posisi batang kendali ini akan direpresentasikan dalam tegangan yang akan dibaca oleh PLC sebagai analog input AI.1, AI.2, dan AI.3. hasil pembacaan dari analog input ini akan dikirim oleh PLC ke PC untuk dilakukan perhitungan dengan menggunakan program LabVIEW dan persamaan kinetika reaktor.



Gambar 3. 4 Modul Simulator Reaktor Kartini



Gambar 3. 5 Diagram alir sistem *Interlock* Batang Kendali

Gambar 3. 5 menunjukkan cara kerja sistem *interlock* pada batang kendali.

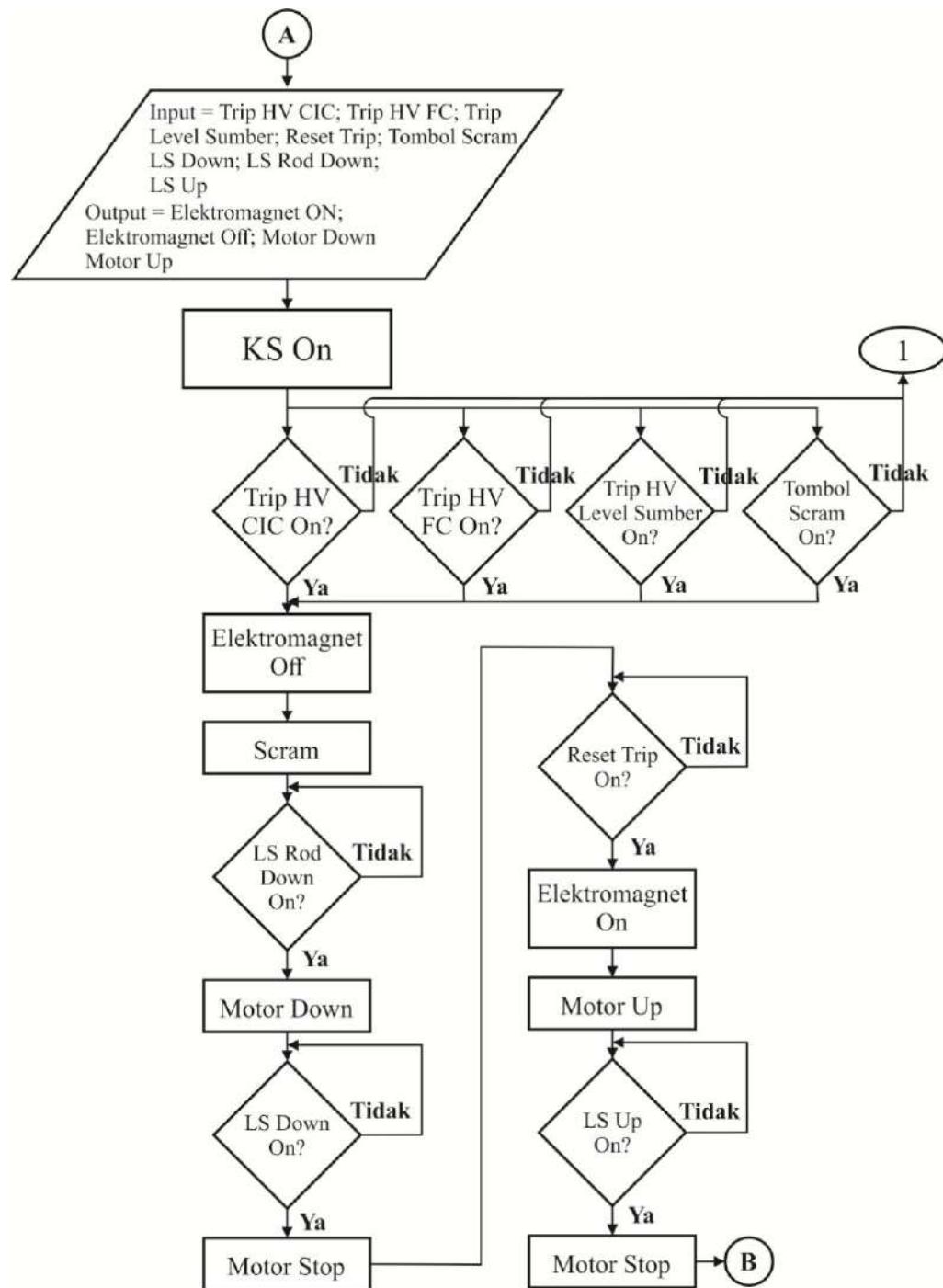
Nilai *input* yang diberikan berupa *Key Switch*, tombol *Release*, *Safety Up*, *Safety Down*, *Shim Up*, *Shim Down*, *Reg Up* dan *Reg Down*. Motor tidak akan bergerak jika hanya tombol *Up* atau *Down* saja yang ditekan. Untuk menggerakkan motor, tombol pada *panel box* perlu dialiri tegangan DC yang dihasilkan dari *Power Supply*. Selain itu perlu dipicu dengan memberikan sinyal dari *Key Switch ON*.

Selanjutnya untuk menggerakan motor perlu menekan tombol *Release* bersamaan dengan tombol *Up* atau tombol *Down*.

Sistem kerja untuk menggerakkan motor menjadi naik (*Up*) menerapkan sistem *interlock*. Sistem *interlock* ini membuat batang kendali lain tidak akan bisa naik meskipun telah menekan tombol *Release*, jika tombol *Up* batang kendali yang lain telah ditekan. Namun tidak berlaku pada kondisi motor turun (*Down*). Ketiga batang kendali dapat turun secara bersamaan dengan menekan tombol *Release* dan tombol *Down* pada ketiga batang kendali. Motor akan berhenti bergerak apabila batang kendali telah mencapai posisi *up* maksimal atau *down* maksimal yang ditandai dengan aktifnya *limit switch up* dan *limit switch down*.

Gambar 3. 6 menunjukkan sistem *Scram* dan *trip* batang kendali yang dibangun pada *panel box*. Sinyal *trip* dari tombol antara lain *trip HV CIC*, *trip HV FC*, dan *trip level sumber*. Sedangkan untuk masing-masing batang kendali memiliki tombol *scram* masing-masing, yaitu: *scram Safety*, *scram shim*, dan *scram Regulator*. Cara kerja kedua jenis tombol ini hampir sama, yaitu apabila salah satu tombol *trip* ditekan maka akan memicu hilangnya aliran listrik pada CRDM sehingga elektromagnet yang menghubungkan *armature* CRDM dengan batang kendali akan terlepas. Saat batang kenali jatuh ke dalam teras reaktor akan menyentuh *limit switch rod down*. *Limit switch rod down* ini berfungsi untuk mengaktifkan motor *down* sehingga dapat mengejar batang kendali ke dalam teras reaktor. Motor akan berhenti bergerak apabila telah menyentuh *limit switch down*. Untuk mengaktifkan elektromagnet kembali perlu ditekan tombol *Reset Trip*.

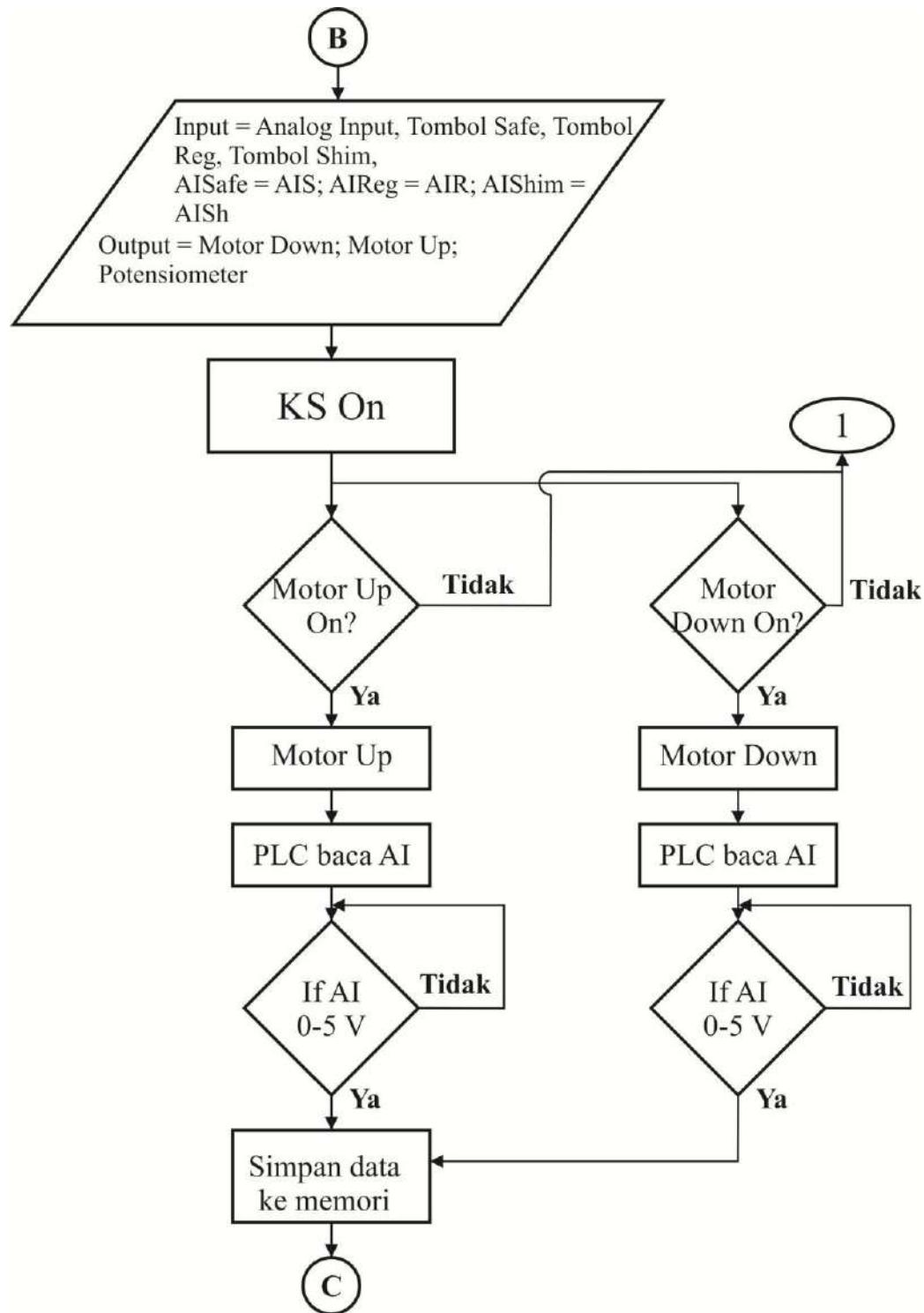
Setelah menekan tombol reset batang kendali akan menempel kembali pada armature CRDM.

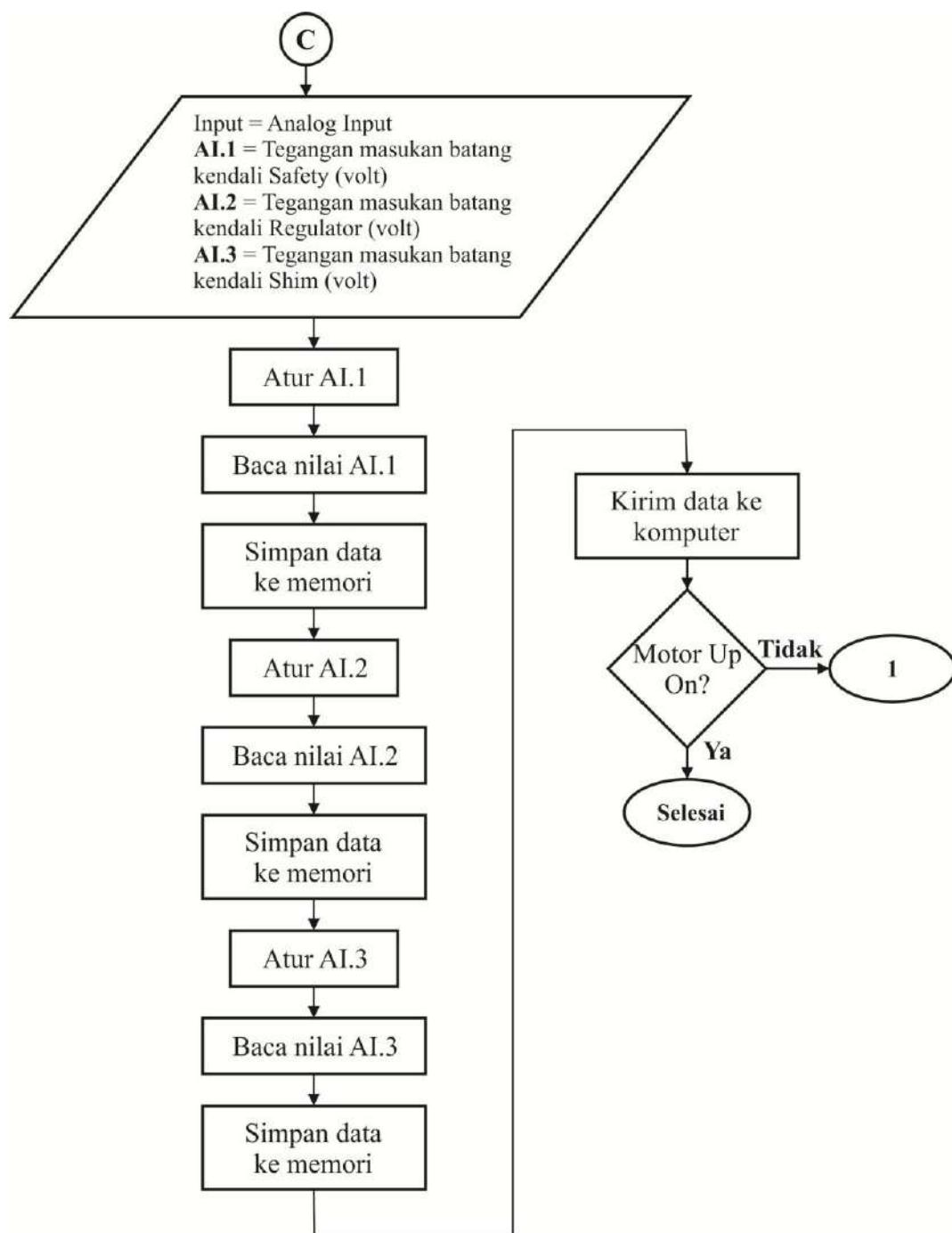


Gambar 3. 6 Diagram alir sistem *Scram* dan *Trip* Batang Kendali

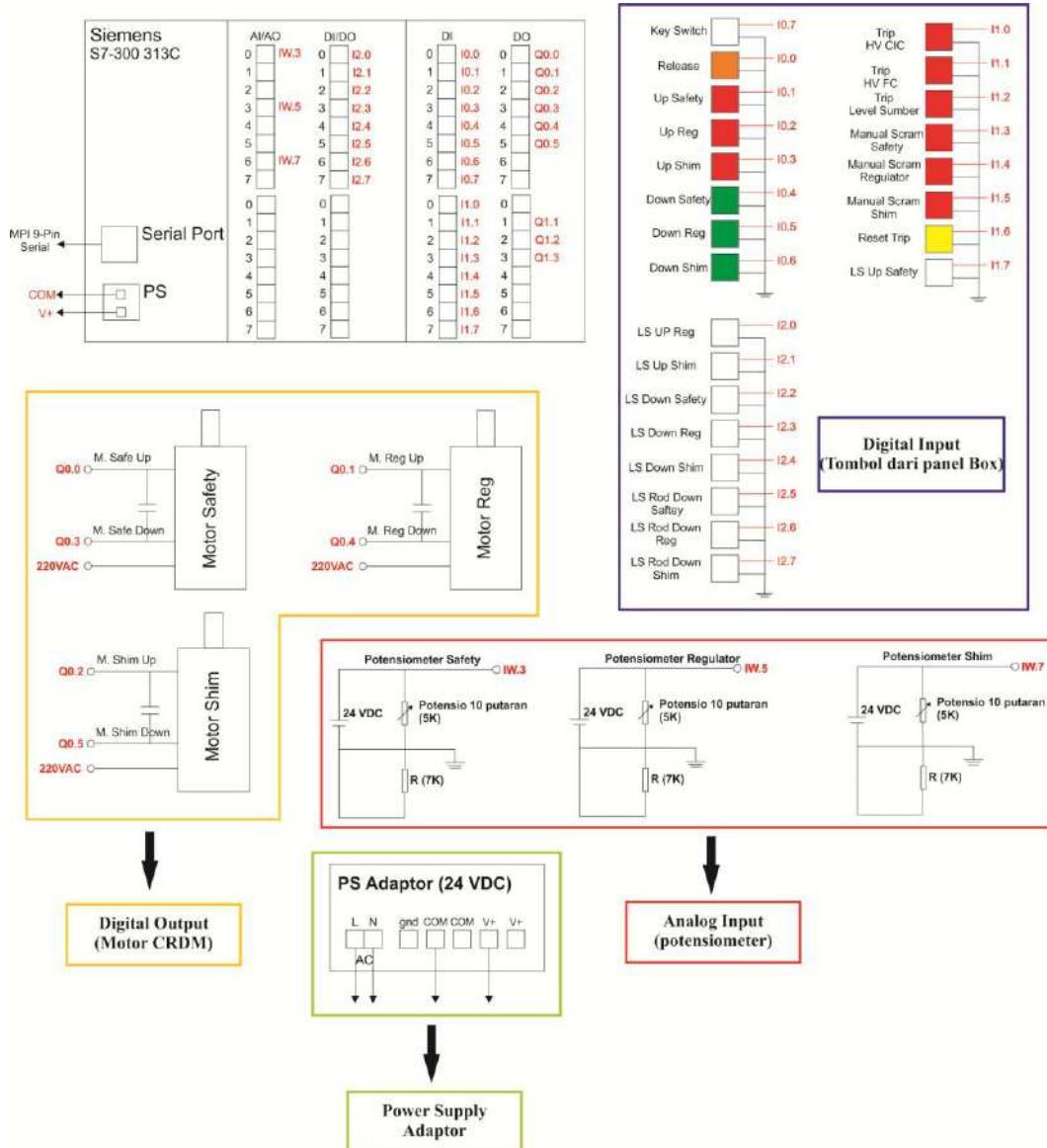
Pada Gambar 3. 7 dapat dilihat diagram alir mengenai *input* analog dari CRDM ke PLC. Pada saat motor naik (*Up*) atau turun (*Down*) PLC akan melakukan pembacaan potensiometer dengan rentang 0V sampai 5V. Nilai 0V ini mewakili posisi batang kendali berada pada 0% dan 5V mewakili posisi pada 100%. Pembacaan posisi ini akan disimpan didalam memori kemudian dikirim ke komputer untuk dikonversi ke dalam posisi dengan satuan cm dan persen (%) oleh LabVIEW. Posisi batang kendali ini kemudian akan diubah kedalam reaktivitas dan dibaca sebagai perubahan reaktivitas batang kendali.

Pada Gambar 3. 8 menunjukkan sistem batang kendali. Analog *input* dari ketiga batang kendali dibaca oleh PLC sebagai AI.1, AI.2, dan AI.3 dengan satuan volt. Pada saat motor bergerak naik atau bergerak turun akan mengubah kedudukan potensiometer sehingga tegangan yang terbaca akan berubah. Perubahan nilai tegangan ini akan dibaca oleh PLC dan disimpan didalam memori. Nilai perubahan tegangan ini akan dibaca sebagai bit adc. Kemudian data perubahan tegangan yang telah terbaca dalam bentuk bit adc ini akan dikirim ke komputer dengan menggunakan LabVIEW OPC Server. Setelah itu data akan dipanggil oleh program LabVIEW untuk dikonversi menjadi satuan panjang (cm) dan satuan persen (%). Data yang telah dikonversi kedalam satuan panjang (cm) dan satuan persen (%) akan dihitung sebagai perubahan reaktivitas akibat perubahan posisi batang kendali. Setiap kali terjadi perubahan posisi PLC akan membaca perubahan tegangan dan PC akan meminta data tersebut untuk dibaca dan dilakukan perhitungan.

Gambar 3. 7 Diagram alir analog *input* CRDM ke PLC



Gambar 3. 8 Diagram alir Sistem Batang Kendali



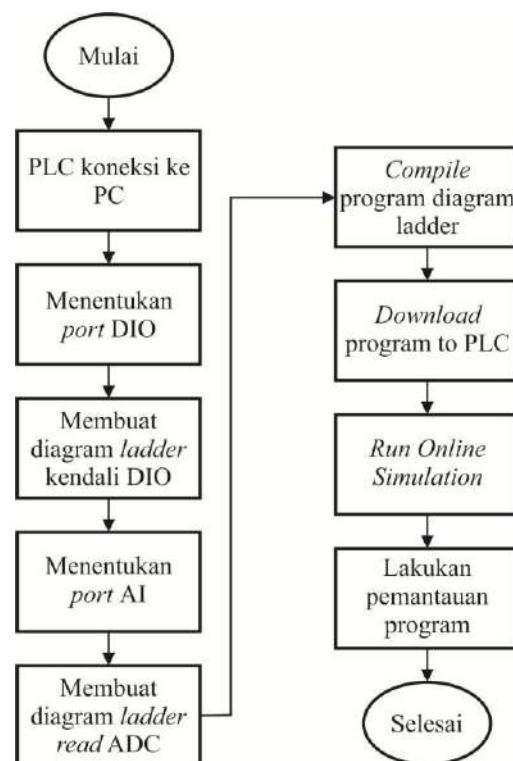
Gambar 3. 9 *Wiring diagram* perancangan perangkat keras

Gambar 3. 9 menunjukkan gambar *wiring diagram* perancangan perangkat keras simulator Reaktor Kartini. PLC Siemens S7-300 313C mendapatkan *supply* tegangan dari power *supply* adaptor 24VDC yang sesuai dengan spesifikasi PLC tersebut. Catu daya tombol sebesar 24VDC diperoleh dari power *supply* adaptor 24VDC. Motor membutuhkan catu daya 220VAC sehingga membutuhkan relay 24VAC – 340VAC untuk mengalirkan catu daya VAC. Potensiometer

mendapatkan catu daya sebesar 24VDC dari power *supply adaptor*. *Port Serial MPI* dengan 9 pin *female* (pada PLC Siemens S7-300 313C) dihubungkan dengan kabel serial SIPAC SP RS232 *adapter for DP/MPI network* yang dihubungkan ke kabel Aten USB *to Serial (RS232) converter* untuk berkomunikasi ke PC menggunakan OPC Server milik program LabVIEW.

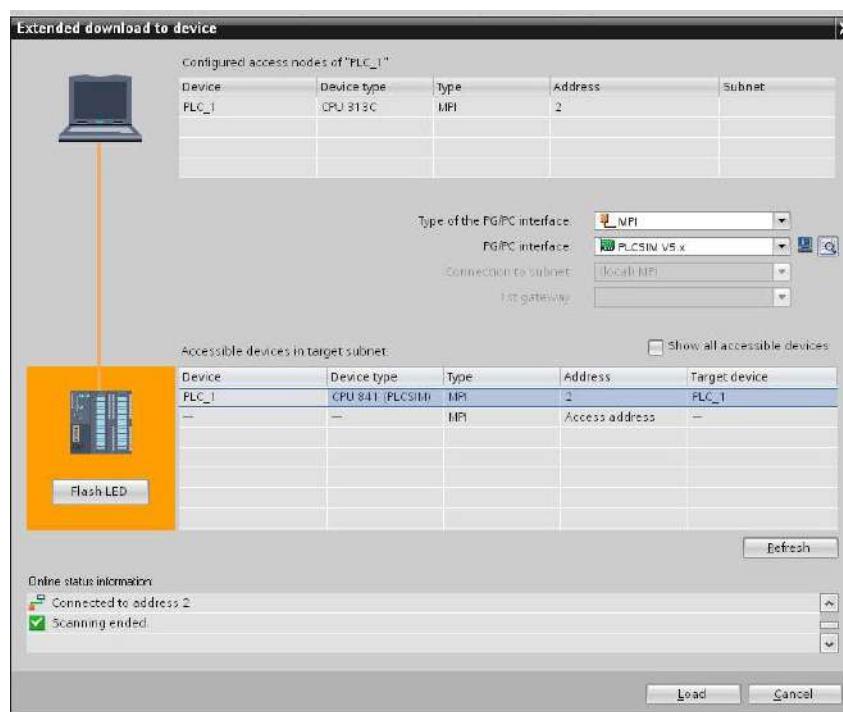
### Sistem Pengolah Sinyal

Pemrograman pada PLC Siemens S7-300 313C menggunakan perangkat lunak bawaan dari perusahaan penyedia, yaitu Simatic Step 7 versi TIA 11. PLC Siemens S7-300 313C diprogram dengan menggunakan diagram *ladder*. Gambar 3. 10 merupakan gambar diagram alir perancangan sistem pengolah sinyal pada PLC Siemens S7-300 313C.



Gambar 3. 10 Diagram alir sistem pengolah sinyal

Berdasarkan Gambar 3. 10 langkah awal untuk dapat men-download program ke PLC adalah dengan mengoneksikan PLC dengan PC terlebih dahulu. Untuk dapat melihat apakah PLC dan PC telah terkoneksi dengan baik perlu dilakukan dengan melihat pada perangkat lunak Simatic Step 7 versi TIA 11. Adapun tampilan konektivitas PLC dengan dapan dilihat pada Gambar 3. 11.

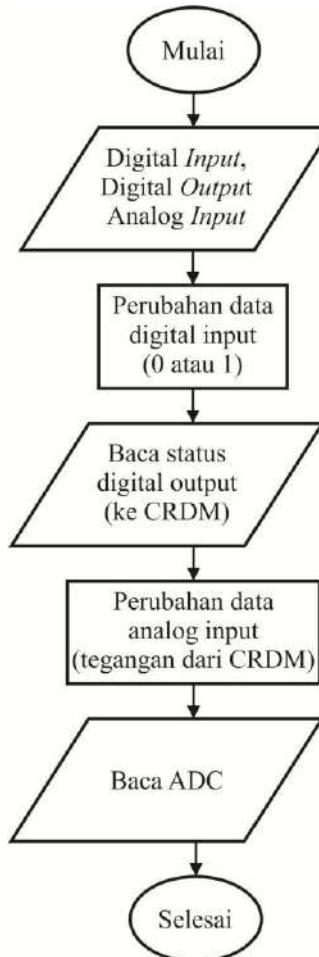


Gambar 3. 11 PLC dan PC telah terkoneksi

Apabila PLC dengan PC terlah terkoneksi maka akan terlihat garis berwarna jingga yang menghubungkan PLC dengan PC seperti pada Gambar 3. 11. Untuk membuktikan apabila PC dan PLC telah terkoneksi juga dapat dilakukan dengan mengeklik *Flash LED* lalu melihat pada perangkat PLC apakah *flash LED*-nya menyala atau tidak.

Pembuatan program *ladder* pada PLC didahului dengan mengidentifikasi dan menentukan port DIO (masukan dan keluaran) yang akan digunakan. Sebelum

menentukan port masukan/keluaran yang akan digunakan, terlebih dahulu dibuat diagram alir untuk program *ladder* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 12.



Gambar 3. 12 Diagram alir program *ladder*

Terdapat masukan digital dari tombol yang dibagun pada *hardware* menyebabkan adanya perubahan pada keluaran digital yang berfungsi untuk mengatur pergerakkan batang kendali. Perubahan posisi batang kendali ini akan menyebabkan perubahan masukan analog yang akan dibaca oleh PLC.

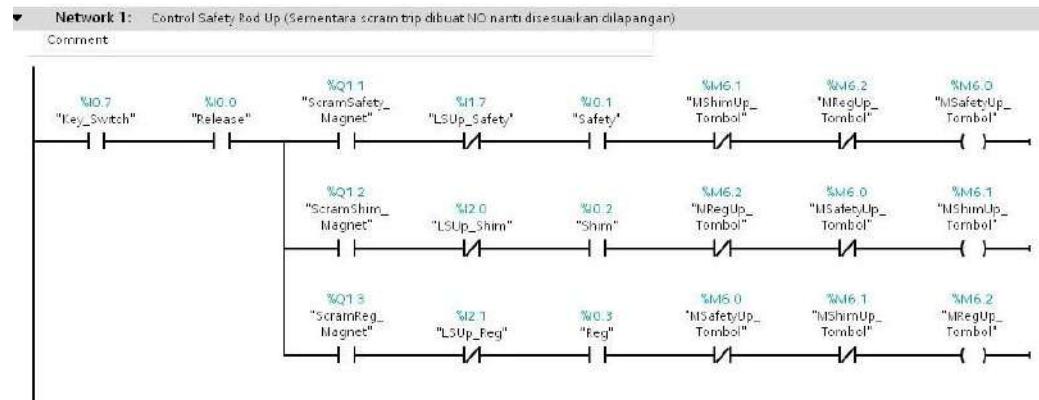
Adapun port *input – output* (I/O) digital yang digunakan pada PLC tertampil pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Fungsi Port Digital *Input – Output* DIO pada PLC

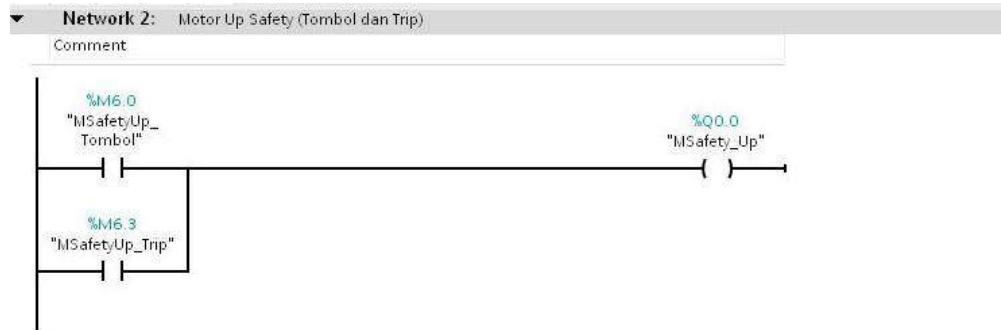
Nomor Pin DIO	Input/ Output	Address	Fungsi
0 (DI 1)	Input	I0.0	<i>Input</i> tombol Release
1 (DI 1)	Input	I0.1	<i>Input</i> tombol Up Safe
2 (DI 1)	Input	I0.2	<i>Input</i> tombol Up Reg
3 (DI 1)	Input	I0.3	<i>Input</i> tombol Up Shim
4 (DI 1)	Input	I0.4	<i>Input</i> tombol Down Safe
5 (DI 1)	Input	I0.5	<i>Input</i> tombol Down Reg
6 (DI 1)	Input	I0.6	<i>Input</i> tombol Down Shim
7 (DI 1)	Input	I0.7	<i>Input</i> tombol Key Switch
0 (DI 2)	Input	I1.0	<i>Input</i> tombol Trip HV CIC
1 (DI 2)	Input	I1.1	<i>Input</i> tombol Trip HV FC
2 (DI 2)	Input	I1.2	<i>Input</i> tombol Trip Level Sumber
3 (DI 2)	Input	I1.3	<i>Input</i> tombol Manual Scram Safe
4 (DI 2)	Input	I1.4	<i>Input</i> tombol Manual Scram Reg
5 (DI 2)	Input	I1.5	<i>Input</i> tombol Manual Scram Shim
6 (DI 2)	Input	I1.6	<i>Input</i> tombol Reset Trip
7 (DI 2)	Input	I1.7	<i>Input</i> tombol LS Up Safe
0 (DI 3)	Input	I2.0	<i>Input</i> tombol LS Up Reg
1 (DI 3)	Input	I2.1	<i>Input</i> tombol LS Up Shim
2 (DI 3)	Input	I2.2	<i>Input</i> tombol LS Down Safe
3 (DI 3)	Input	I2.3	<i>Input</i> tombol LS Down Reg
4 (DI 3)	Input	I2.4	<i>Input</i> tombol LS Down Shim
5 (DI 3)	Input	I2.5	<i>Input</i> tombol LS Rod Down Safe
6 (DI 3)	Input	I2.6	<i>Input</i> tombol LS Rod Down Reg
7 (DI 3)	Input	I2.7	<i>Input</i> tombol LS Rod Down
0 (DO 1)	Output	Q0.0	<i>Input</i> tombol Motor Safe Up
1 (DO 1)	Output	Q0.1	<i>Input</i> tombol Motor Reg Up
2 (DO 1)	Output	Q0.2	<i>Input</i> tombol Motor Shim Up
3 (DO 1)	Output	Q0.3	<i>Input</i> tombol Motor Safe Down
4 (DO 1)	Output	Q0.4	<i>Input</i> tombol Motor Reg Down
5 (DO 1)	Output	Q0.5	<i>Input</i> tombol Motor Shim Down
1 (DO 2)	Output	Q1.1	<i>Input</i> tombol Magnet Safe
2 (DO 2)	Output	Q1.2	<i>Input</i> tombol Magnet Reg
3 (DO 2)	Output	Q1.3	<i>Input</i> tombol Magnet Shim

Apabila terdapat masukan digital dari tombol pada *panel box*, maka sistem akan memberikan reaksi dengan membaca perubahan data pada keluaran digital. Adanya perubahan keluaran digital menyebabkan perubahan pada pergerakkan CRDM sehingga posisi batang kendali berubah. Perubahan posisi batang kendali ini berupa masukan analog yang akan dibaca oleh PLC. Agar dapat menggerakkan posisi batang kendali sehingga dapat dilakukan pembacaan

masukan analog maka perlu dibuat program *ladder*. Adapaun program *ladder* ditunjukkan pada Gambar 3. 13.



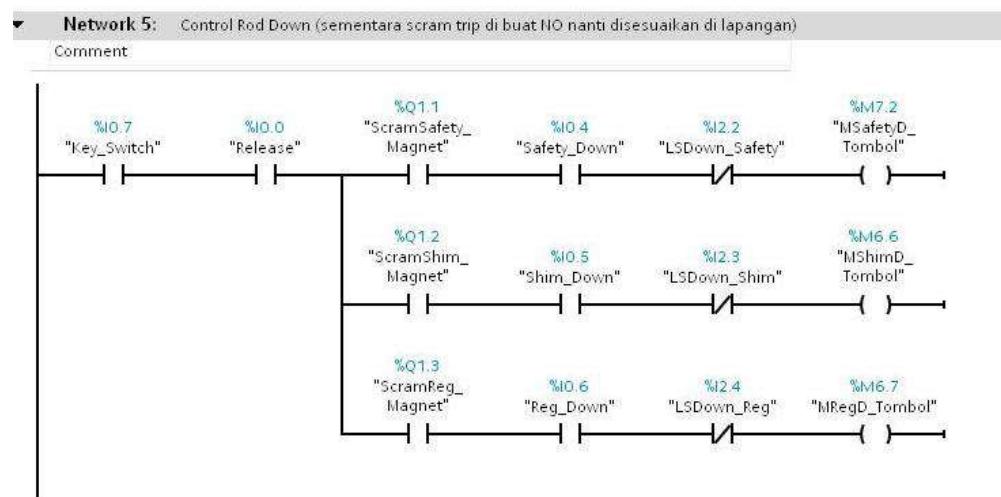
Gambar 3. 13 Program *ladder* batang kendali CRDM *Up*



Gambar 3. 14 Program *ladder* batang kendali *Safety Up*

Gambar 3. 13 dan Gambar 3. 14 menunjukkan program *ladder* untuk sistem batang kendali *Up*. Sistem *interlock* batang kendali ini dibangun untuk mengendalikan batang kendali saat naik (*Up*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 13. Batang kendali ini dikendalikan dengan memberikan masukan digital berupa *true* atau *false* dari tombol. Sebelum digunakan, *panel box* perlu diaktifkan sistemnya dengan memberikan *inputan true* pada *Key\_Switch* (I0.7). Untuk menjalankan motor *safety Up* selain menekan tombol *Safety* (I0.1) juga perlu menekan tombol *Release* (I0.0) sehingga mengaktifkan alamat memori. Hal ini mengacu standar keselamatan yang telah ditetapkan dalam merancang *panel*

*box.* Alamat memori *MSafetyUp\_Tombol* (M6.0) pada *network* dua akan mengaktifkan motor *MSafety\_Up* (Q0.0). Motor akan berhenti apabila telah menyentuh *limit switch LSUp\_Safety* (I1.7) yang memutus *ladder*. Untuk menjalankan motor SHIM Up dan motor Reg Up juga diterapkan prinsip yang sama.



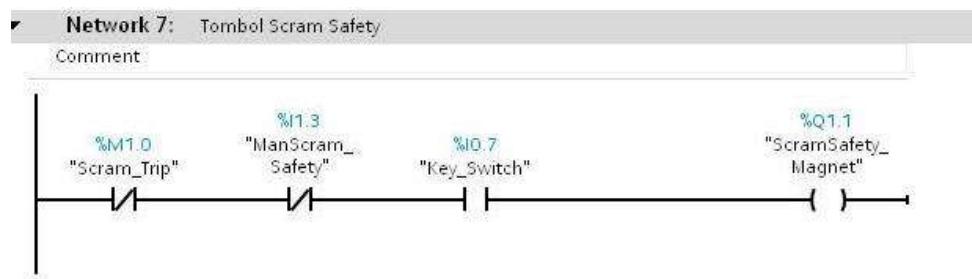
Gambar 3. 15 Program *ladder* batang kendali CRDM Down



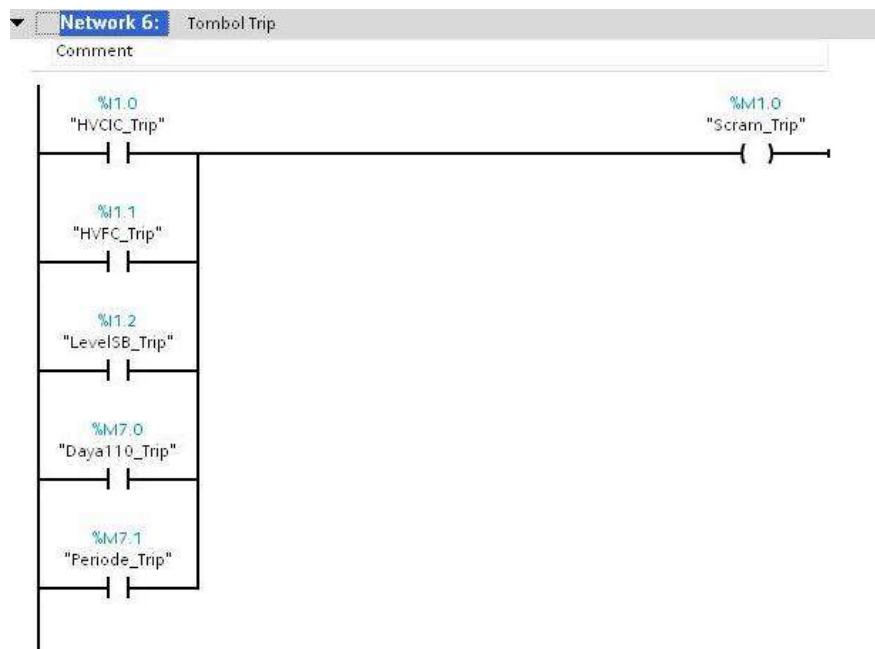
Gambar 3. 16 Program ladder batang kendali *Safety Down*

Gambar 3. 15 memperlihatkan program batang kendali *Down* untuk *safety*, *shim*, dan *regulator*. Sedangkan Gambar 3. 16 merupakan *network* untuk menjalankan motor *safety Down*. Untuk menjalankan motor *Down* diperlukan dua *network*. *Network* pertama adalah *ladder* program utama dimana untuk

menjalankan motor perlu memberikan masukan *true* pada tombol *release* dan tombol *down* yang akan mengaktifkan alamat memori. Sebagai contoh, untuk mengaktifkan motor *safety down* perlu memberikan masukan *true* pada tombol *Release* (I0.0) dan tombol *Safety\_Down* (I0.4) yang dapat mengaktifkan memori *MSafetyD\_Tombol* (M7.2). alamat memori M7.2 ini akan mengaktifkan motor *MSafety\_Down* (Q0.3). Hal yang sama berlaku juga untuk motor *shim down* dan motor *regulator down*.



Gambar 3. 17 Program *ladder Scram*



Gambar 3. 18 Program *ladder Trip*

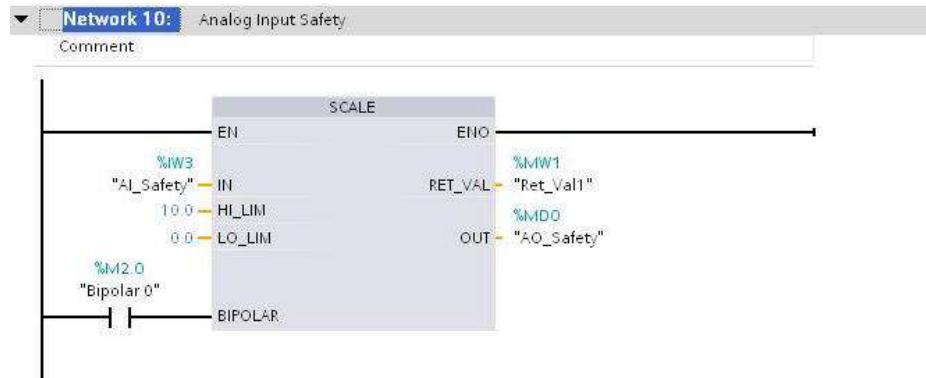
Gambar 3. 17 menunjukkan program *ladder* batang kendali untuk *Scram* dan *Trip*. *Scram* dipicu oleh dua kemungkinan, yaitu tombol *Trip* dan tombol manual *Scram*. Gambar 3. 18 menunjukkan program *ladder* untuk *Trip* batang kendali. *Trip* batang kendali dipicu oleh 5 hal, yaitu: *Trip HV CIC*, *Trip HV FC*, *Trip Level Sumber*, *Trip Daya 110%*, dan *Trip Periode*. Masing-masing batang kendali memiliki program *ladder scram* yang terpisah. Pada Gambar 3. 17 menunjukkan contoh program *ladder scram* untuk batang kendali *safety*. Apabila tombol *ManScram\_Safety* (I1.3) ditekan atau apabila mendapatkan *scram trip* dari alamat memori M1.0 maka elektromagnet akan terlepas karena *ladder* pada Gambar 3. 15 akan terputus.

Selain masukan digital dan keluaran digital, terdapat pula masukan dari port analog sebanyak 3 buah. Masukan analog ini berfungsi untuk mendekripsi perubahan posisi batang kendali dengan membaca perubahan tegangan. Adapun *port analog input* yang digunakan meliputi Tabel 3. 3.

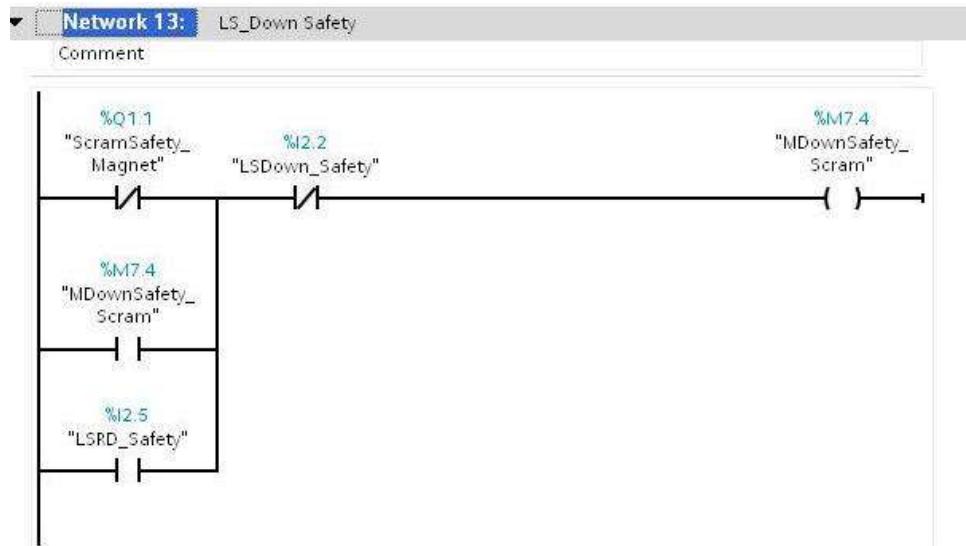
Tabel 3. 3 Fungsi *port analog input* pada PLC

Nomor Pin AI	Input/ Output	Address	Fungsi
0 (AI)	Input	IW.3	Batang kendali <i>Safety</i>
3 (AI)	Input	IW.5	Batang kendali <i>Regulator</i>
6 (AI)	Input	IW.7	Batang kendali <i>Shim</i>

Pada Gambar 3. 19 memperlihatkan program *ladder* untuk analog input. Masukan analog berupa perubahan tegangan akan dibaca oleh PLC dan dikonversi menjadi bit digital agar dapat dikirimkan ke PC untuk diolah dan dikalkulasi menggunakan persamaan kinetika reaktor. Dengan konsep yang sama analog *input shim* dan regulator dibangun seperti Gambar 3. 19.



Gambar 3. 19 Program ladder analog input



Gambar 3. 20 Program ladder untuk menghentikan motor Down

Untuk menghentikan motor saat *down* perlu dibuat suatu *ladder* tersendiri. Pada Gambar 3. 20 saat terjadi *scram* maka akan mengaktifkan alamat memori *MDownSafety\_Scram* (M7.4) dimana alamat memori ini akan mengaktifkan motor *down*. Motor akan berhenti apabila telah menyentuh *LSDwon\_Safety* (I2.2). Hal yang sama berlaku untuk batang kendali *shim* dan regulator.

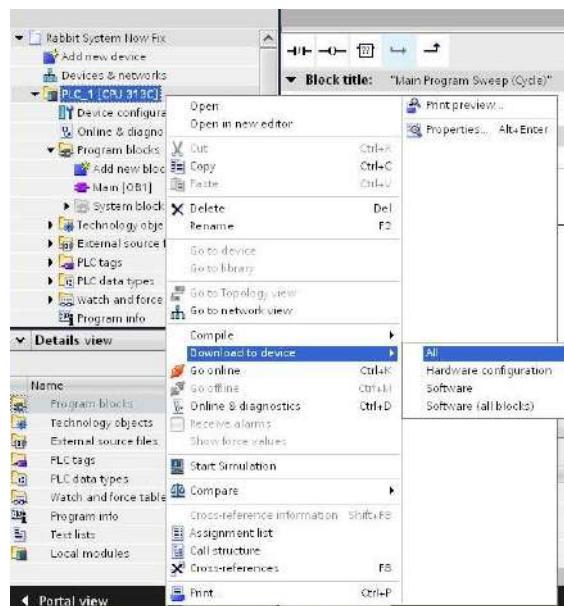


Gambar 3. 21 Program *ladder Reset Trip*

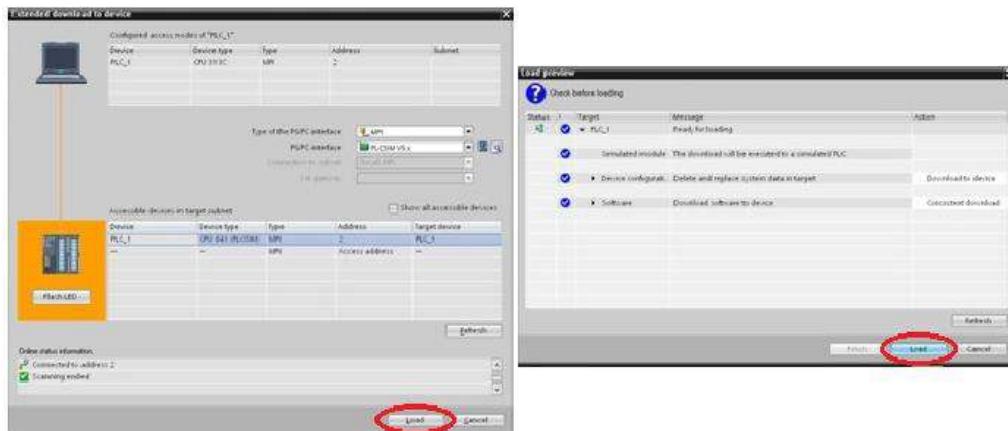
Pada Gambar 3. 21 merupakan program *ladder* untuk melakukan *reset trip*.

Apabila *scram* terjadi maka batang kendali akan menyentuh *rod down* sehingga motor akan turun. Setelah motor turun dan menyentuh *limit switch down* maka tombol *Reset\_Trip* (I1.6) dapat ditekan untuk mengaktifkan elektromagnet kembali.

Setelah pembuatan program ladder selesai, langkah selanjutnya adalah mendownload program ke dalam PLC dan melakukan *On-line* simulasi untuk melihat apakah program ladder sudah berjalan sesuai dengan semestinya. Gambar 3. 22 menunjukkan proses *download program ladder* ke PLC.

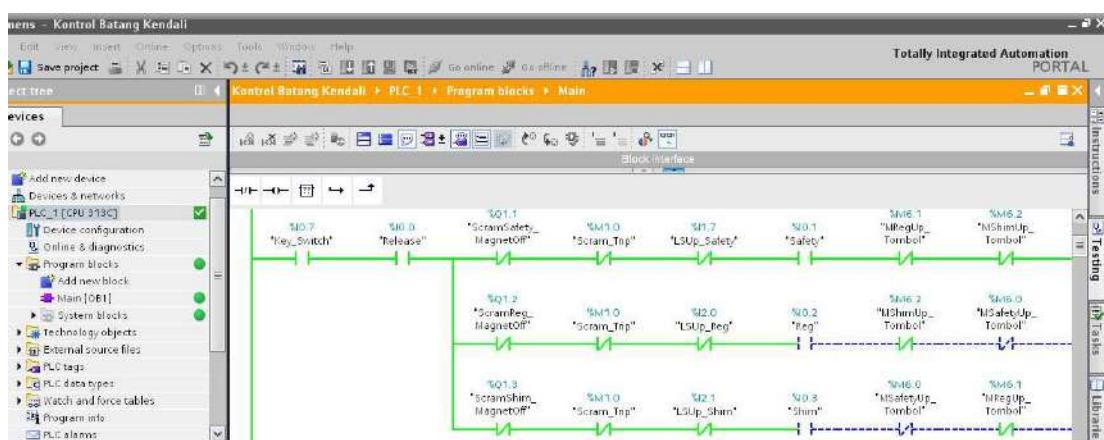


Gambar 3. 22 Transfer program ke PLC



Gambar 3. 23 Kotak dialog Transfer Program to PLC

Setelah menyetujui untuk melakukan *download* program maka akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar 3. 23. Pilih *load* pada kotak dialog sebelah kiri, lalu pilih *load* sekali lagi saat kotak sebelah kanan muncul. Maka proses *download* program akan dilakukan. Setelah selesai men-*download* program, maka dapat dilakukan *On-line simulation* untuk melihat apakah program sudah sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 3. 24 menunjukkan proses *on-line simulation*. Tanda garis berwarna hijau menyatakan bahwa kondisi bernilai *true* (tombol diberi masukan 1).

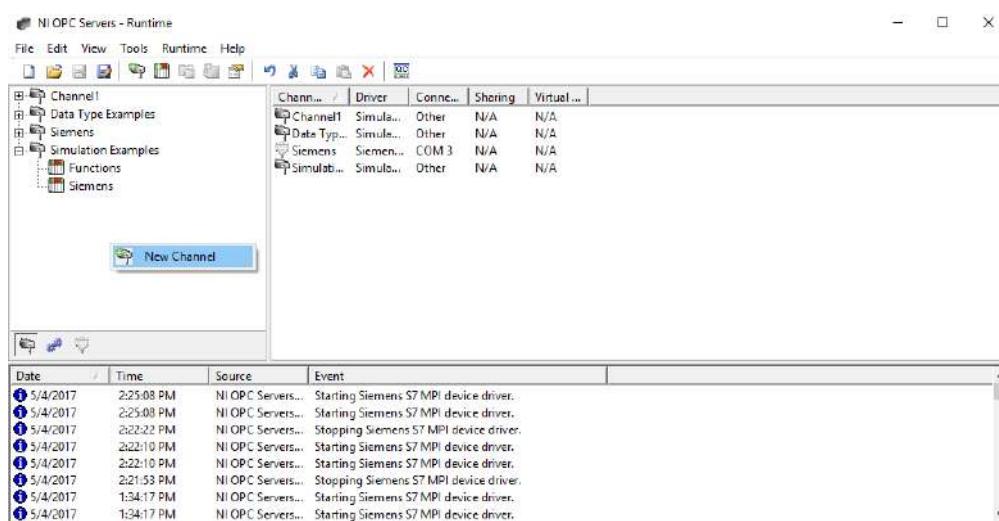


Gambar 3. 24 Tampilan On-line Simulation Monitoring

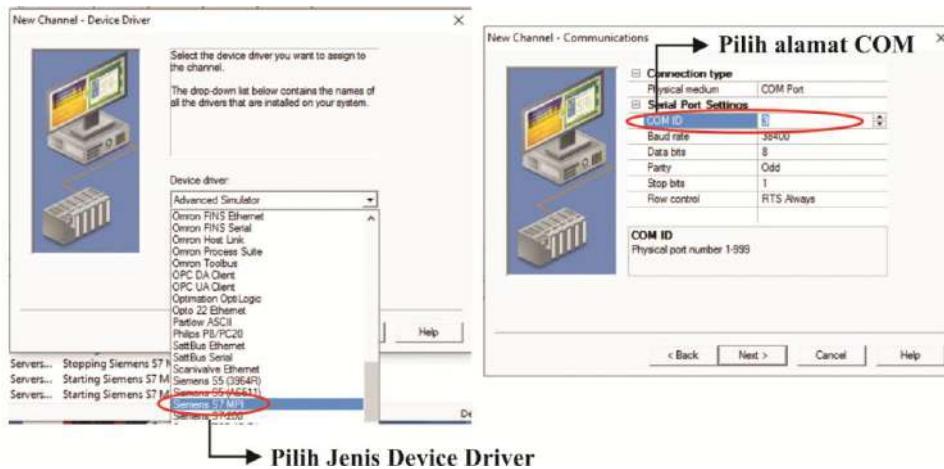
## Komunikasi Serial PLC to PC menggunakan OPC Server

Untuk menghubungkan PLC dengan PC perlu adanya komunikasi antara dua *device* tersebut. Komunikasi yang mungkin untuk dilakukan yaitu dengan komunikasi serial menggunakan OPC *Server*. OPC *Server* ini sangat mudah digunakan, karena hanya dengan memanggil alamat *Tag* pada PLC maka data langsung dapat terbaca pada PC. Data ini selanjutnya dapat dipanggil pada program LabVIEW untuk diakuisisi.

Sebelum menghubungkan PLC dengan PC menggunakan OPC *Server*, perlu dilakukan inisialisasi terlebih dahulu pada OPC *Server* sehingga dapat membaca perubahan data yang diberikan oleh PLC. Gambar 3. 25 menunjukkan langkah awal inisialisasi pada OPC *Server*.

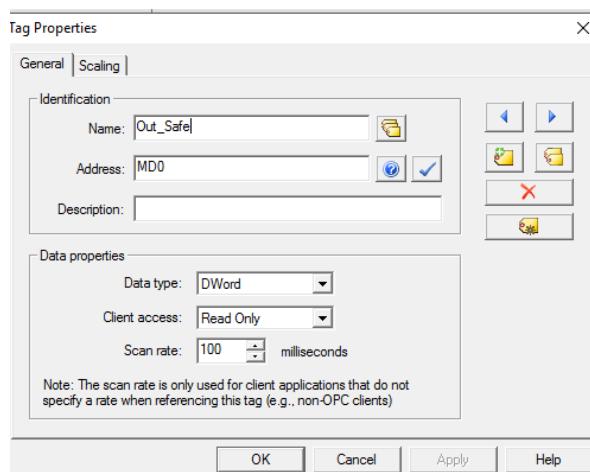


Gambar 3. 25 Inisialisasi pada OPC Server



Gambar 3. 26 Pemilihan *device driver* dan Pengaturan alamat COM

Gambar 3. 26 menunjukkan kotak dialog pemilihan *device driver* dan pengaturan alamat COM yang digunakan. *Device driver* yang dipilih adalah Siemens S7 MPI. Sedangkan alamat COM yang dipilih disesuaikan dengan hasil deteksi PC yang terbaca pada COM port *Device Manager*. Lalu selanjutnya perlu inisialisasi *Tag*. *Tag* yang diinisialisai harus sesuai dengan alamat yang digunakan pada PLC sehingga memungkinkan alamat tersebut terpanggil oleh OPC Server. Gambar 3. 27 menunjukkan kotak dialog inisialisasi tag pada OPC Server.



Gambar 3. 27 Inisialisasi *Tag* pada OPC Server

Jika inisialisasi *tag* telah selesai dilakukan, selanjutnya perlu menguji apakah PLC telah terdeteksi oleh PC dengan OPC *Server*. Hasil pengujian koneksi PLC dengan PC dapat dilihat pada Gambar 3. 28. Perlu diperhatikan pada kolom bagian *Quality* harus sudah menunjukkan tanda *Good*, yaitu tanda bahwa koneksi telah terjadi antara PLC dengan PC. Lalu amati perubahan pada kolom *Value* saat diberi masukan digital berupa *true* (1). Jika terdapat perubahan nilai, maka koneksi sudah dapat dilakukan antara PC dengan PLC dan PLC sudah dianggap dapat mengirimkan suatu data atau informasi ke dalam PC untuk diolah.

The screenshot shows the OPC Quick Client application window. The title bar reads "OPC Quick Client - Untitled". The menu bar includes File, Edit, View, Tools, and Help. Below the menu is a toolbar with icons for connecting, disconnecting, and managing data. A tree view on the left shows the connection structure: National Instruments.NIOP > System, Channel1\_Statistics, Channel1\_System, Channel1\_Device1, Data Type Examples\_8, Data Type Examples\_16, Data Type Examples\_32, Siemens\_Statistics, Siemens\_System, and Siemens\_Siemens S7. The main area displays a table of data items:

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
Siemens.Siemens S7.Out_Safe	DWord	1077952512	12:27:39.345	Good	49
Siemens.Siemens S7.Out_Shim	DWord	1073741910	12:27:40.344	Good	73
Siemens.Siemens S7.RegDown	Boolean	0	12:26:11.420	Good	1
Siemens.Siemens S7.RegUp	Boolean	0	12:26:11.420	Good	1
Siemens.Siemens S7.Reset	Boolean	0	12:26:11.062	Good	1
Siemens.Siemens S7.Rod Down Reg	Boolean	0	12:26:11.062	Good	1
Siemens.Siemens S7.Rod Down Saf...	Boolean	0	12:26:11.062	Good	1
Siemens.Siemens S7.Rod Down Shi...	Boolean	0	12:26:11.062	Good	1
Siemens.Siemens S7.SafeDown	Boolean	0	12:26:11.420	Good	1
Siemens.Siemens S7.SafeUp	Boolean	1	12:27:40.417	Good	12
Siemens.Siemens S7.Scram Trip	Boolean	0	12:26:11.348	Good	1
Siemens.Siemens S7.ScramReg	Boolean	0	12:27:40.417	Good	51
Siemens.Siemens S7.ScramSafe	Boolean	0	12:27:40.417	Good	51
Siemens.Siemens S7.ScramShim	Boolean	0	12:27:40.417	Good	51
Siemens.Siemens S7.ShimDown	Boolean	0	12:26:11.420	Good	1
Siemens.Siemens S7.ShimUp	Boolean	0	12:26:11.420	Good	1
Siemens.Siemens S7.Tombol Scra...	Boolean	0	12:26:11.284	Good	1
Siemens.Siemens S7.Tombol Scra...	Boolean	0	12:26:11.284	Good	1
Siemens.Siemens S7.Tombol Scra...	Boolean	0	12:26:11.284	Good	1

Below the table is a log table showing recent events:

Date	Time	Event
5/31/2017	12:26:08 PM	Added 8 items to ...
5/31/2017	12:26:08 PM	Added group 'Sim...
5/31/2017	12:26:08 PM	Added 16 items to ...
5/31/2017	12:26:08 PM	Added 8 items to ...

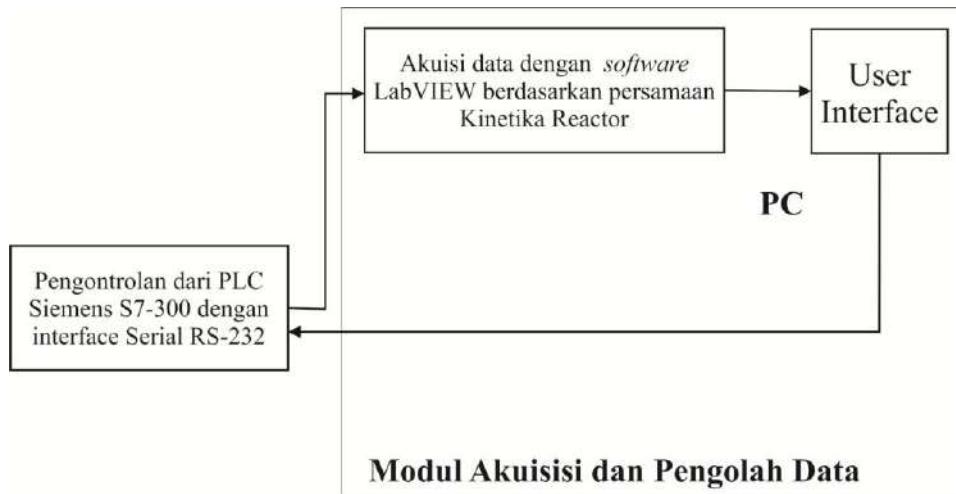
At the bottom right, it says "Item Count: 360".

Gambar 3. 28 Monitoring kotak dialog koneksi PLC dan PC

### 3.2.3.2 Modul Akuisisi dan Pengolah Data

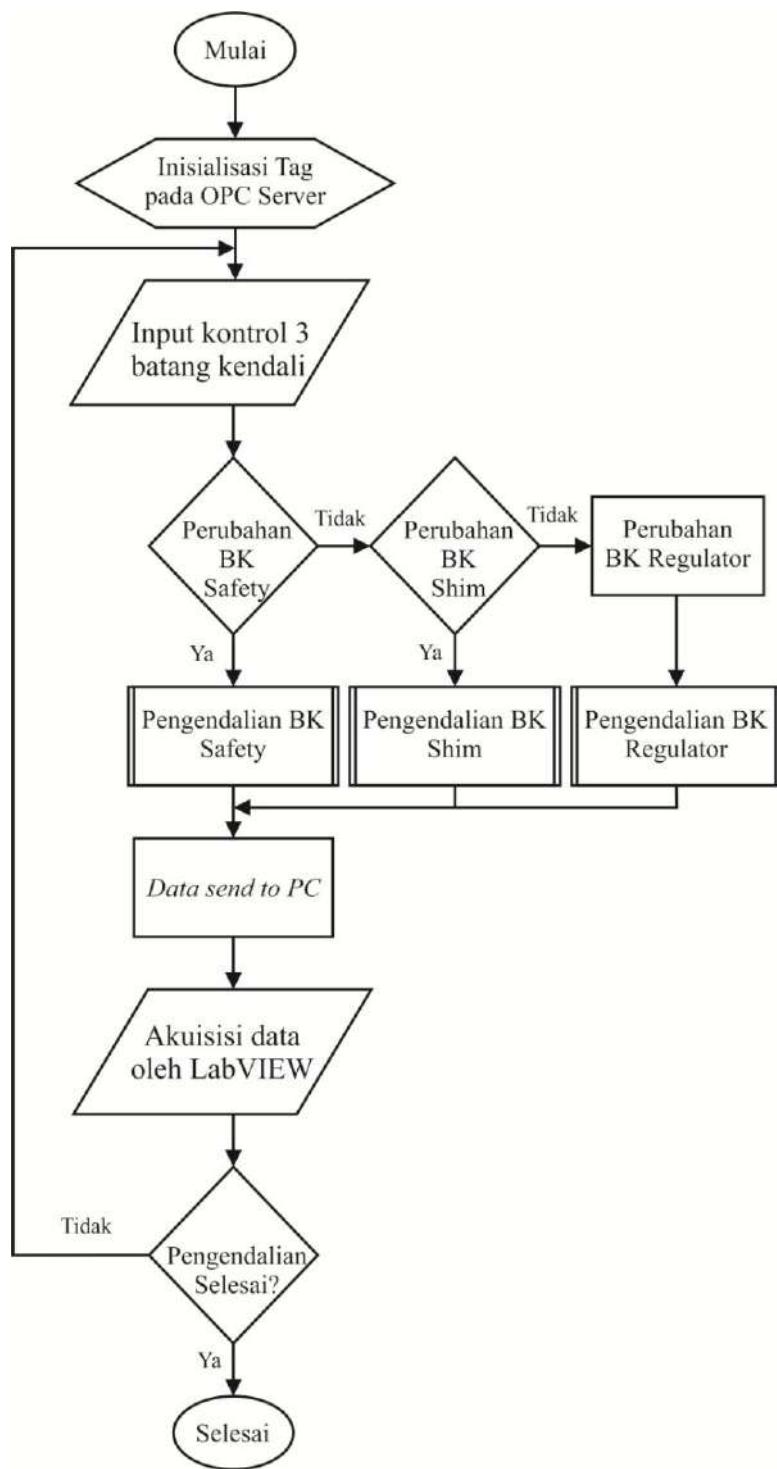
Modul akuisisi dan pengolah data memanfaatkan perangkat lunak LabVIEW sebagai bahasa pemrogramannya. HMI pada komputer digunakan sebagai modul pengakuisisi dan pengolah data dari perangkat simulasi, penampil indikator parameter proses simulasi, sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 3. 29.

Diagram alir perancangan dan pengembangan modul akuisisi dan pengolah data untuk mencapai tujuan tersebut ditunjukkan pada



Gambar 3. 29 Blok diagram modul akuisisi dan pengolah data

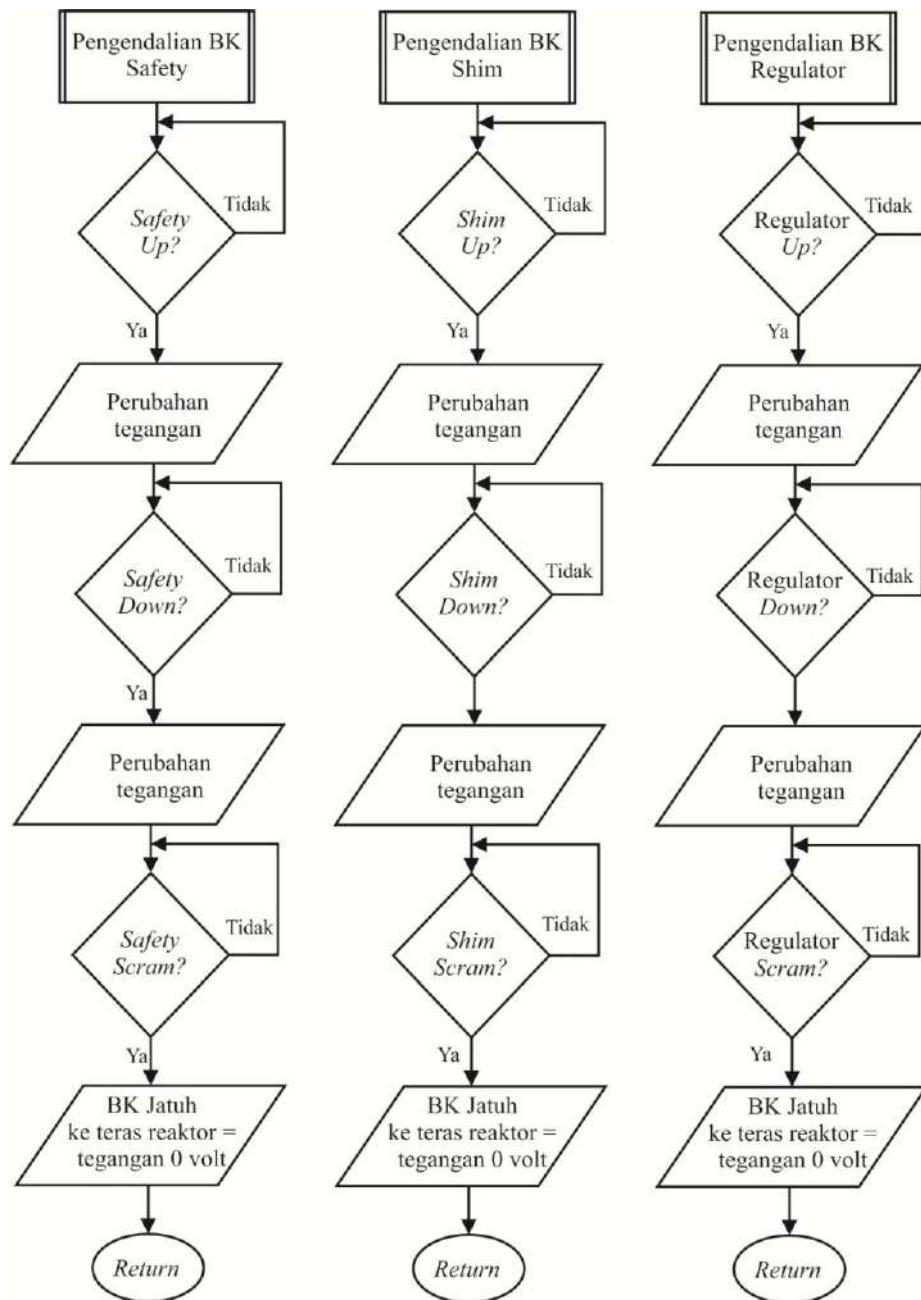
Sesuai yang dijelaskan pada Gambar 3. 30 bahwa PC harus terkoneksi dengan modul PLC agar sinyal dari CRDM dapat dikirimkan ke PC untuk diolah. Dengan terkoneksi PLC ke PC maka data-data indikator dapat dipanggil menggunakan OPC Server, sehingga pada *User Interface* dapat ditampilkan sebagai indikator. PLC akan mengontrol pergerakan tiga batang kendali pada CRDM, yaitu batang kendali *safety*, batang kendali *shim*, dan batang kendali regulator. Karena adanya perubahan pergerakkan batang kendali maka terjadi pembacaan perubahan tegangan yang merepresentasikan perubahan posisi batang kendali. Perubahan tegangan ini akan dikirimkan ke PC untuk dibaca dan diolah oleh LabVIEW. Selanjutnya data yang telah diolah ini akan ditampilkan pada *User Interface display* data pada LabVIEW yang ditunjukkan pada Gambar 3. 32.



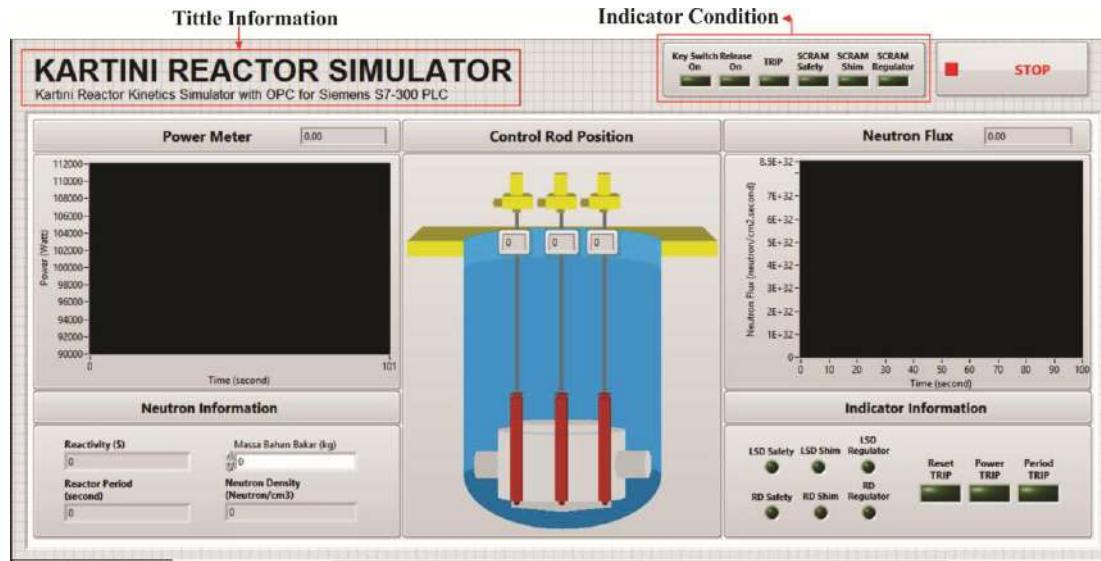
Gambar 3. 30 Diagram alir perancangan modul akuisisi dan pengolah data

Batang kendali akan dikendalikan dengan menggunakan tombol yang terdapat pada *panel box* untuk mengatur posisi batang kendali. Ketiga batang

kendali ini akan memberikan informasi perubahan posisi sesuai dengan perubahan yang diberikan. Adapun sub program untuk menjalankan batang kendali seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. 31.



Gambar 3. 31 Sub Program Batang Pengendalian Batang Kendali



Gambar 3. 32 *Display* Data Akuisisi data dan Indikator proses.

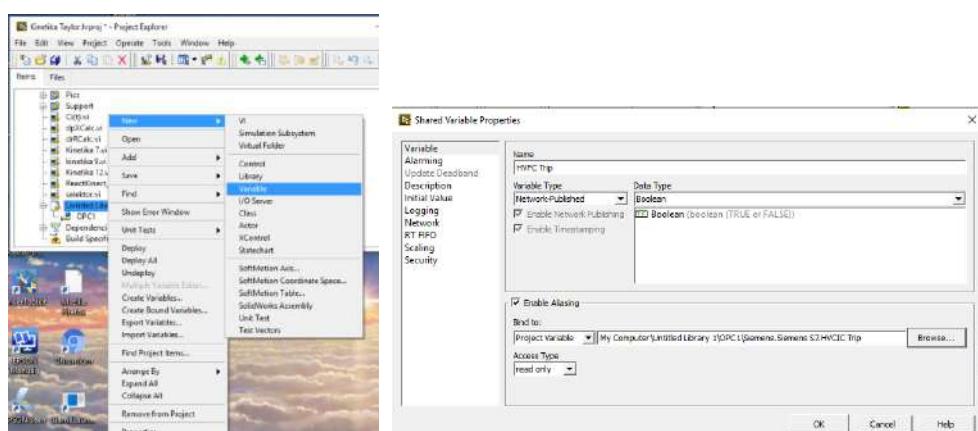
Berdasarkan Gambar 3. 32 *display* data yang ditampilkan berupa *control rod position*, *power meter*, *neutron flux*, *neutron indicator*, *indicator information*, dan *indicator condition*. *Indicator condition* terletak pada *header* tepat di sebelah tombol stop. Indikator ini berfungsi untuk memberitahu status terkini dari simulator reaktor. *Control rod position* menampilkan posisi tiga batang kendali yang diintegrasikan dengan masukan dari PLC, sehingga penunjukkan posisi batang kendali akan sesuai dengan posisi sesungguhnya pada CRDM. Pada *power meter* menunjukkan daya yang dihasilkan dari adanya perubahan posisi batang kendali yang dibangun dengan persamaan kinetika reaktor. *Neutron flux* memberikan informasi mengenai banyaknya neutron yang dihasilkan dari perubahan batang kendali.

Sedangkan *indicator information* dan *indicator condition* berfungsi untuk memberitahukan informasi mengenai status terkini dari simulator reaktor. Pada *indicator information* memuat informasi mengenai aktifnya *limits switch* saat

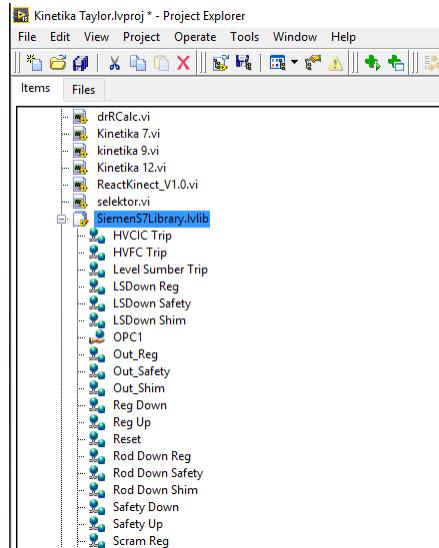
terjadi *scram*. Informasi ini berfungsi untuk memberitahu operator bahwa reset *trip* dapat dilakukan setelah *limit switch* dan *Rod Down* aktif akibat *scram* batang kendali. Selain itu, informasi ini juga memuat mengenai terjadinya *scram* dan *trip* yang diakibatkan oleh daya berlebih dan periode pelipatan neutron yang terlalu cepat.

### A. Inisialisasi Komunikasi Serial

Komunikasi serial menggunakan kabel serial RS-232 sebagai *interface* komunikasi serial antara LabVIEW dengan PLC. Untuk menambahkan *Tag* pada LabVIEW *project* dilakukan dengan menambahkan I/O Server OPC lalu menambahkan variabel yang sesuai dengan *tag* yang telah dibuat pada OPC Server sebelumnya. *Tag* ini harus memiliki alamat yang sesuai dengan alamat yang telah diinisialisasikan sebelumnya di OPC Server. Langkah dalam menambahkan tag dapat dilihat pada Gambar 3. 33. Apabila *tag* sudah berhasil ditambahkan maka pada *window project* LabVIEW akan muncul *listing* variabel *tag* OPC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 34.



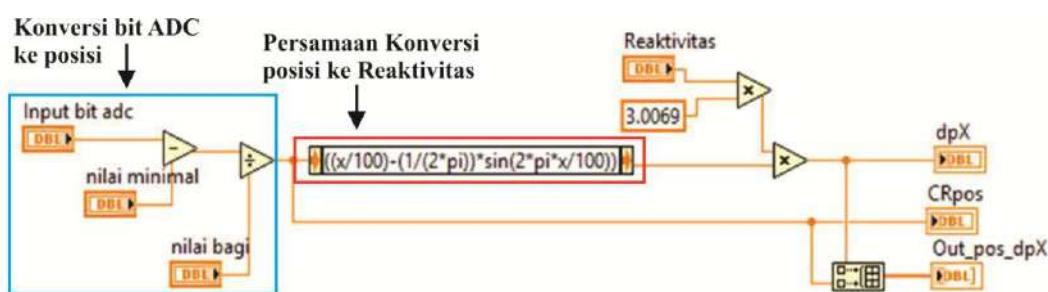
Gambar 3. 33 Langkah menambahkan Variabel pada LabVIEW *project* (kiri)  
Kotak dialog untuk mengisikan *Tag* (kanan)



Gambar 3. 34 Listing Tag pada LabVIEW project

### B. Pembuatan Program Kinetika Reaktor

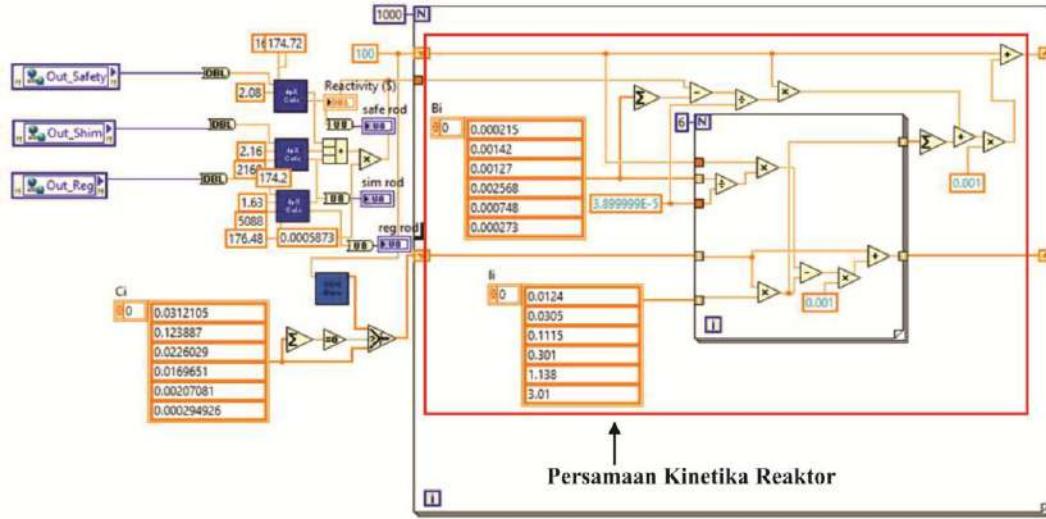
Pengembangan modul akuisisi dan pengolah data dibangun menggunakan *software* LabVIEW. Data yang dikirimkan dari PLC ke PC berupa perubahan posisi batang kendali yang direpresentasikan dengan perubahan nilai bit adc. Nilai bit adc yang dibaca oleh PC akan dikonversikan kedalam representasi posisi batang kendali dari 0 sampai 100. Nilai ini kemudian akan dikonversikan menjadi perubahan reaktivitas.



Gambar 3. 35 Program persamaan Konversi bit adc to Reaktivitas

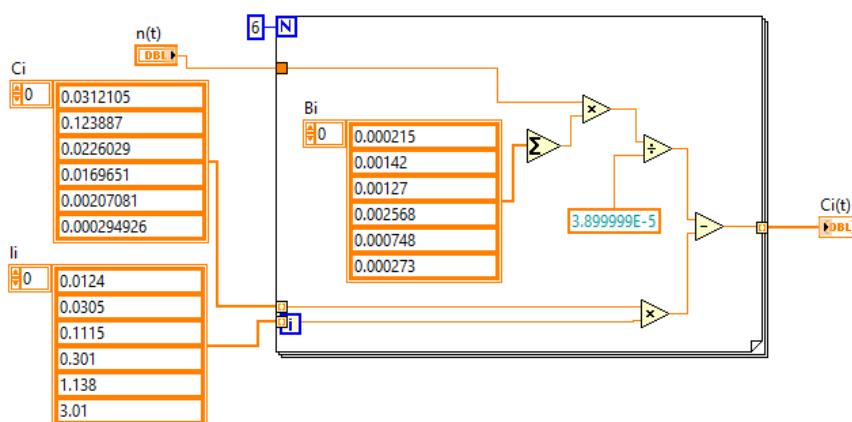
Reaktivitas yang dihasilkan dari perhitungan Persamaan (2.5) pada Gambar 3. 35 kemudian akan dihitung dengan Persamaan (2.3) kinetika reaktor yang diwujudkan dalam program LabVIEW. Gambar 3. 36 memperlihatkan visualisasi dari pembuatan program perhitungan kinetika reaktor. Persamaan kinetika reaktor yang dibangun dalam pada LabVIEW mengikuti algoritma sebagai berikut (Cahyono et al., 2012):

1. Menentukan nilai awal untuk densitas neutron ( $N_0$ ), konsentrasi awal precursor neutron ( $C_0$ ), raktivitas awal ( $\rho_0$ ), fraksi neutron kasip ( $\beta$ ), waktu generasi neutron kasip  $\Lambda$ , konstanta peluruhan precursor ( $\lambda$ ).
2. Menentukan increment waktu,  $h$
3. Menghitung perubahan densitas neutron terhadap waktu ( $dN/dt$ )
4. Menghitung perubahan konsentrasi prekursor neutron kasip terhadap waktu ( $dC/dt$ )
5. Menghitung densitas neutron untuk waktu  $(t+h)$  dengan mengalikan densitas neutron sebelumnya dengan increment waktu,  $h$ , ditambah dengan densitas neutron pada saat  $t$ .
6. Menghitung konsentrasi precursor neutron kasip untuk waktu  $(t+h)$  dengan mengalikan konsentrasi precursor neutron kasip sebelumnya dengan increment waktu,  $h$ , ditambah dengan konsentrasi precursor nutron kasip pada saat  $t$ .



Gambar 3. 36 Program persamaan Kinetika Reaktor

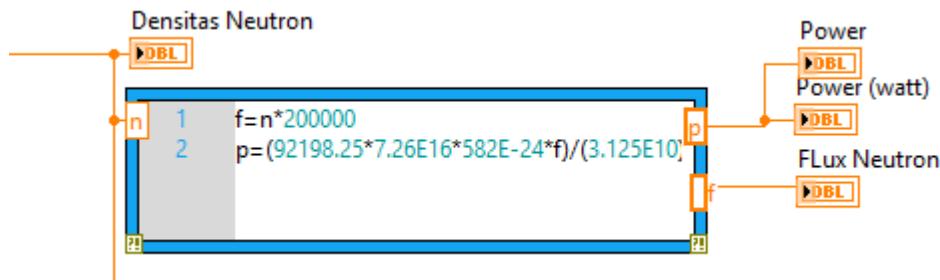
Pada operasi reaktor Kartini menghasilkan 6 neutron kasip yang masing-masing neutron memiliki fraksi dan konsentrasi prekursor masing-masing sehingga perlu memperhatikan perhitungan laju perubahan generasi neutron dengan Persamaan (2.4). Persamaan (2.4) diwujudkan dalam program sesuai dengan Gambar 3. 37 yang akan menghasilkan nilai  $C_i(t)$ .



Gambar 3. 37 Program perhitungan nilai  $C_i(t)$

Setelah memperoleh densitas neutron dari perhitungan program Gambar 3. 36, densitas neutron tersebut akan dikonversikan menjadi daya reaktor dengan

Persamaan (2.11). Persamaan tersebut diwujudkan dalam program LabVIEW seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. 38. Power atau daya reaktor yang dihasilkan dalam satuan watt. Untuk dapat lebih memahami program simulasi, persamaan kinetika reaktor yang diwujudkan dalam program LabVIEW dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 3. 38 Program LabVIEW konversi dari Densitas Neutron ke Daya reaktor

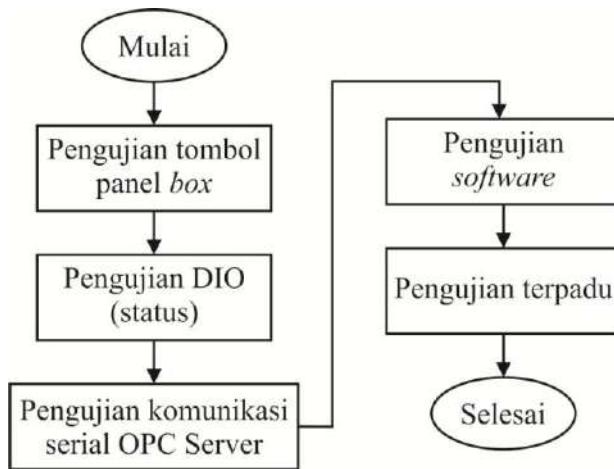
### 3.2.4 Pengujian dan Analisis Sistem

Tahapan pengujian dan analisis yang dilakukan meliputi:

1. Pengujian dan analisis komponen *hardware*, yaitu untuk mengetahui apakah komponen-komponen *hardware* telah bekerja dengan benar. Pengujian ini meliputi pengujian: (1) pengujian tombol *panel box*. (2) pengujian DIO (status). (3) pengujian komunikasi serial OPC Server.
2. Pengujian dan analisis software, untuk mengetahui apakah software sudah dapat bekerja dengan benar.
3. Pengujian dan analisis secara terpadu, untuk mengetahui sistem secara keseluruhan dan menguji kinerja sistem.

Diagram alir pengujian seluruh sistem secara terpadu dapat dilihat pada

Gambar 3. 39.



Gambar 3. 39 Diagram alir pengujian

#### 3.2.4.1 Pengujian Tombol *Panel box*

Sebelum dilakukan pengujian pada tombol *panel box*, perlu dilakukan pemeriksaan *wiring* tombol terlebih dahulu. Pemeriksaan rangkaian menggunakan multimeter bertujuan untuk memastikan bahwa wiring sudah benar. Selanjutnya memeriksa apakah catu daya sudah terhubung dengan tombol pada *panel box*.

Pengujian tombol *panel box* dilakukan dengan menghubungkan tombol pada *panel box* ke PLC. Tombol pada *panel box* berfungsi sebagai digital *input* (DI). PLC berfungsi sebagai indikator untuk memperlihatkan apakah DI dan DO sudah berfungsi dengan baik. Untuk melihat apakah DI/O berfungsi dengan baik PLC dan *panel box* perlu dirangkai seperti pada Gambar 3. 40.

Setelah rangkaian dianggap benar, maka dilakukan uji coba dengan memberikan sinyal *inputan* (digital *input*) dari tombol *panel box*. Indikator pada PLC akan menyala sesuai dengan program ladder yang telah dimasukkan dan alamat yang digunakan.



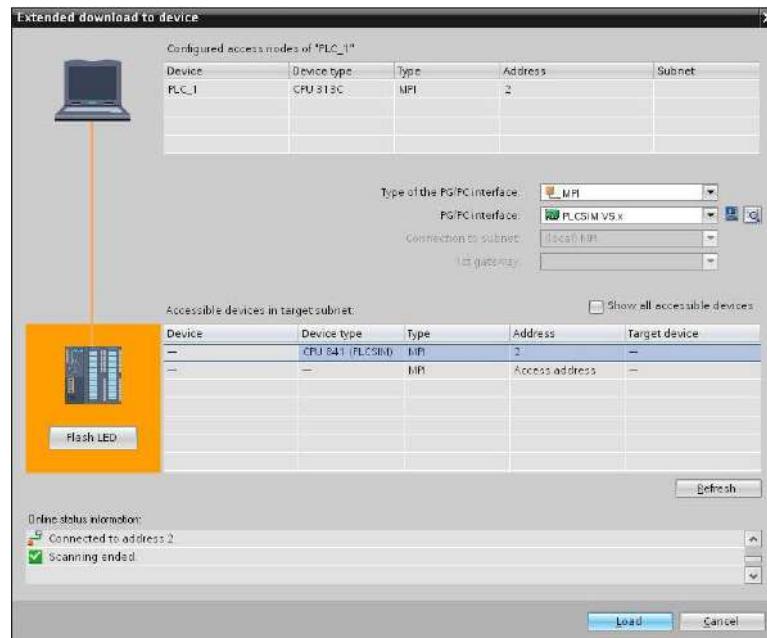
Gambar 3. 40 Rangkaian DI/O tombol *panel box* ke PLC

### 3.2.4.2 Pengujian DI/O (Status)

Pengujian DI/O dilakukan untuk memastikan apakah indikator yang menyala pada PLC sudah sesuai dengan alamat yang digunakan pada program *ladder*. Pengujian ini dilakukan dengan menjalankan *start simulation* program *ladder* pada Simatic STEP7. Untuk menjalankan *simulation* dapat dilakukan dengan langkah pada Gambar 3. 41 dan Gambar 3. 42. Setelah muncul jendela *Extended Download to Device* pilih *load* untuk menjalankan simulasi program.

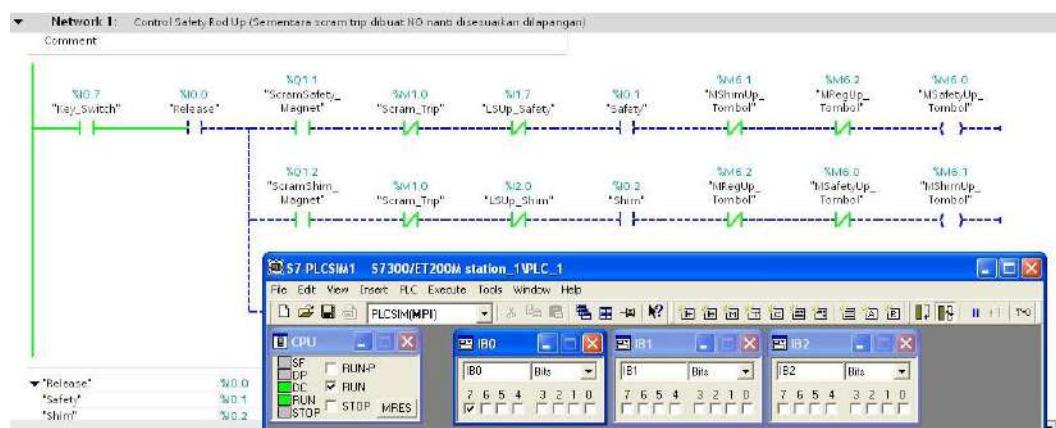


Gambar 3. 41 *Start simulation*



Gambar 3. 42 Tampilan *Extended Download to Device*

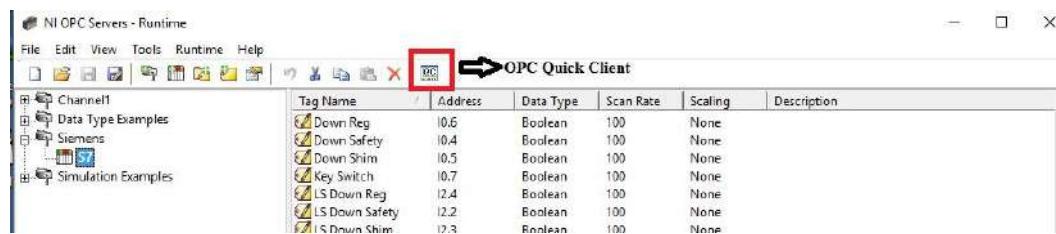
Hasil simulasi program ini akan dicocokan dengan hasil simulasi *online* dengan menggunakan DI/DO pada PLC. Apabila sudah cocok maka simulasi program telah sesuai. Pada Gambar 3. 43 merupakan tampilan saat simulation program ON. Window PLCSIM1 berfungsi sebagai pemberi *inputan* untuk menjalankan program *ladder*.



Gambar 3. 43 Tampilan *start simulation*

### 3.2.4.3 Pengujian Komunikasi Serial OPC Server

Untuk mengetahui apakah komunikasi serial sudah terjalin antara PLC dan PC maka perlu dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan dengan menghubungkan PC dan PLC menggunakan SIPAC RS232 *adapter for DPMPI network* dan ATEN USB *to Serial converter*. Koneksi PC dengan PLC dapat dilihat pada OPC *Server* dengan menekan OPC Quick Client seperti yang tertera pada Gambar 3. 44.



Gambar 3. 44 OPC Quick Client

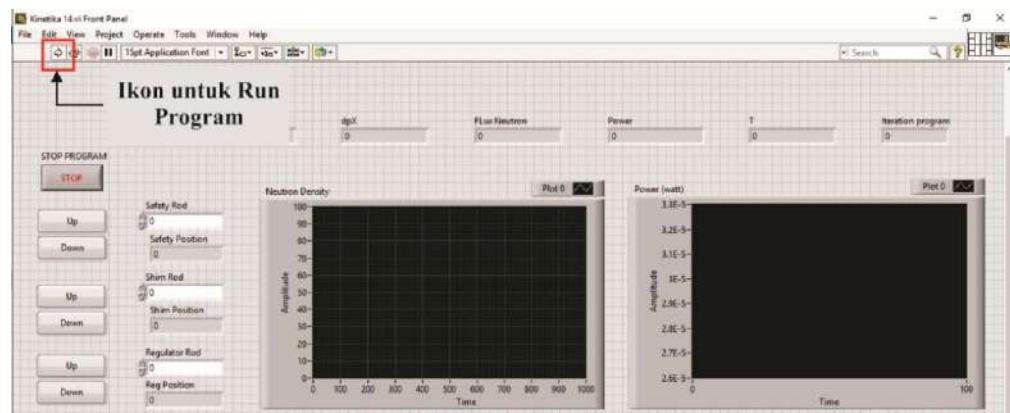
PLC dan PC dianggap telah mampu berkomunikasi apabila quality telah menunjukkan kondisi *good* seperti yang tertera pada Gambar 3. 45.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality
Siemens.S7.Down Reg	Boolean	0	13:42:49.864	Good
Siemens.S7.Down Safety	Boolean	0	13:42:16.860	Good
Siemens.S7.Down Shim	Boolean	0	13:42:32.867	Good
Siemens.S7.Key Switch	Boolean	1	13:40:45.848	Good
Siemens.S7.LS Down Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good
Siemens.S7.LS Down Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good
Siemens.S7.LS Down Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good
Siemens.S7.LS Rod Down Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good
Siemens.S7.LS Rod Down Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good
Siemens.S7.LS Rod Down Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good
Siemens.S7.LS Up Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good
Siemens.S7.LS Up Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good
Siemens.S7.LS Up Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good
Siemens.S7.M Reg Down	Boolean	0	13:42:49.936	Good
Siemens.S7.M Reg Up	Boolean	0	13:41:50.931	Good
Siemens.S7.M Safety Down	Boolean	0	13:42:16.932	Good
Siemens.S7.M Safety Up	Boolean	0	13:39:21.937	Good
Siemens.S7.M Shim Down	Boolean	0	13:42:32.937	Good
Siemens.S7.M Shim Up	Boolean	0	13:41:26.942	Good
Siemens.S7.Manual Scram Reg	Boolean	0	13:42:20.868	Good
Siemens.S7.Manual Scram Safety	Boolean	0	13:43:10.866	Good
Siemens.S7.Manual Scram Shim	Boolean	0	13:43:55.867	Good
Siemens.S7.Potencio Reg	Word	32	13:39:21.711	Good

Gambar 3. 45 Tampilan quality dalam kondisi *good*

### 3.2.4.4 Pengujian Software

Pengujian *software* dilakukan dengan *running* program pada LabVIEW dan memberikan perubahan posisi batang kendali untuk melihat perubahan daya yang diberikan. Adapun cara melakukan *running* program LabVIEW dapat dilihat pada Gambar 3. 46. Untuk melakukan *running* program LabVIEW cukup dilakukan dengan menekan ikon berbentuk panah. Pada Gambar 3. 47 menampilkan tampilan saat dilakukan *running* program.



Gambar 3. 46 Tampilan Gambar saat akan melakukan running program



Gambar 3. 47 Tampilan saat *running* program

#### **3.2.4.5 Pengujian Sistem Keseluruhan**

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan mengoperasikan sistem yang telah saling terkoneksi. CRDM dioperasikan dengan menggunakan tombol pada *panel box* kemudian melihat perubahan posisi pada *display user*. Perubahan posisi ini akan dihitung sebagai perubahan reaktivitas pada LabVIEW. Jika sistem telah berjalan maka penelitian telah berhasil.

#### **3.2.5 Penulisan Laporan**

Pengujian dan analisis sistem akan menghasilkan data yang digunakan untuk penulisan laporan.

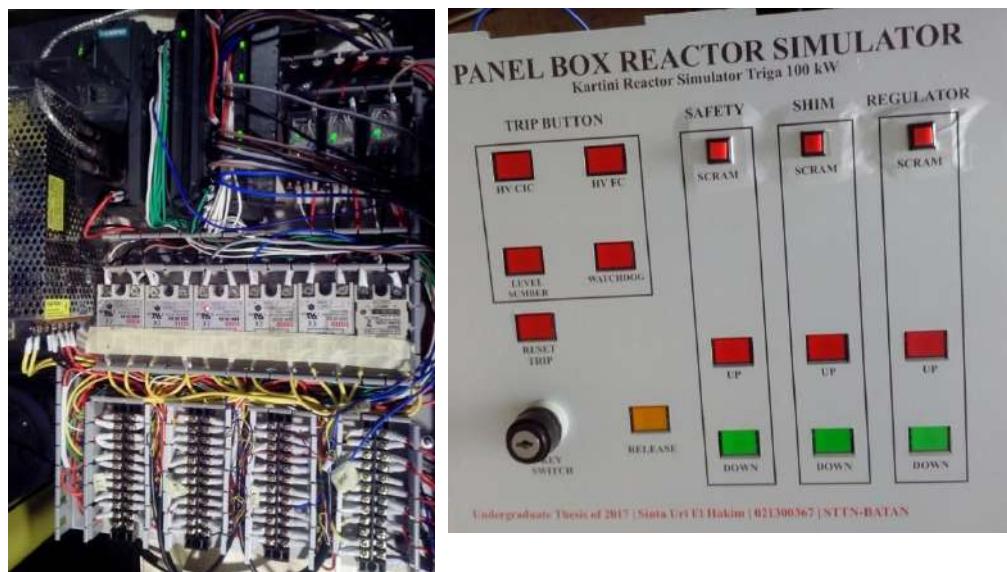
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

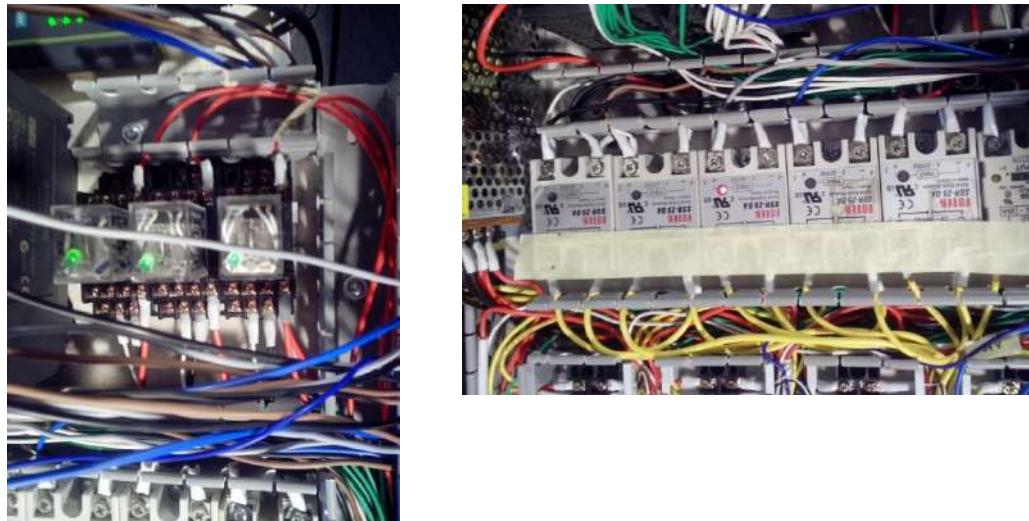
#### 4.1 Hasil Pengembangan Modul Simulasi Parameter Proses

##### Sistem Perangkat Keras

Sistem *Hardware* terdiri dari PLC, rangkaian relay magnet batang kendali, relay motor batang kendali, dan koneksi dengan *panel box*. Sistem *hardware* secara berturut-turut ditampilkan pada Gambar 4. 1, Gambar 4. 2, dan Gambar 4. 3. Pada Gambar 4. 1 memperlihatkan *wiring hardware* dan tombol *panel box*. *Panel box* terdiri dari tombol-tombol yang berfungsi untuk memberikan *inputan* untuk menjalankan batang kendali.



Gambar 4. 1 Sistem *Hardware* PLC dan *Panel box*



Gambar 4. 2 Relay magnet batang kendali (kiri) dan Relay Motor batang kendali (kanan)

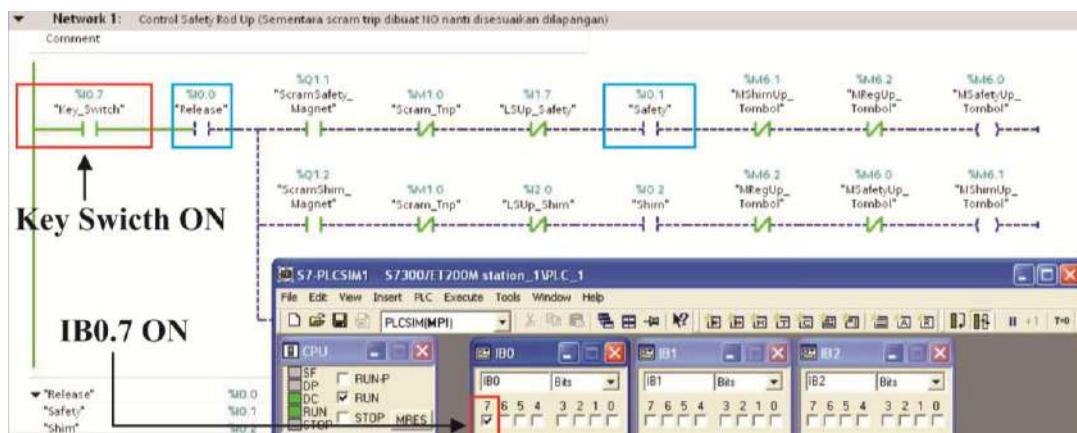


Gambar 4. 3 Gambar CRDM yang dioperasikan

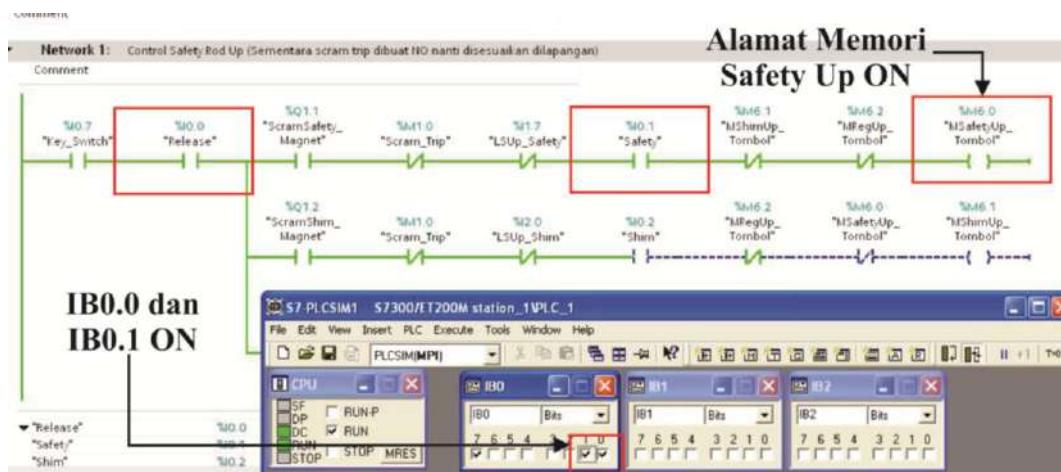
Gambar 4. 2 memperlihatkan wiring relay untuk kendali *scram* relay untuk motor *Up* dan motor *Down*. Sedangkan Gambar 4. 3 memperlihatkan CRDM yang digunakan dalam penelitian. CRDM ini akan dikontrol oleh PLC menggunakan program *ladder* untuk menaikkan dan menurunkan batang kendali.

## 4.2 Hasil Pengujian Simulasi Program

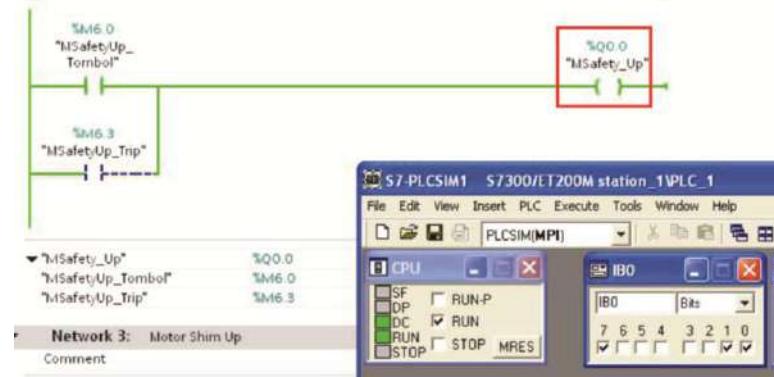
Pengujian dengan simulasi program diperoleh hasil seperti pada Gambar 4. 4. Untuk menjalankan *panel box Key Switch* harus diberikan *inputan* berupa *true* pada IB0.7. Kemudian tombol *Release* diberi *inputan true* pada IB0.0 sehingga *ladder* akan terhubung. Untuk menjalankan motor *safety up*, tombol *Safety* (I0.1) diberikan *inputan* yang bernilai *true* pada IB0.1, sehingga alamat memori yang berfungsi untuk menjalankan motor *up* akan aktif, lihat pada Gambar 4. 6.



Gambar 4. 4 Simulasi *Key Switch ON* dan tombol *Release ON*

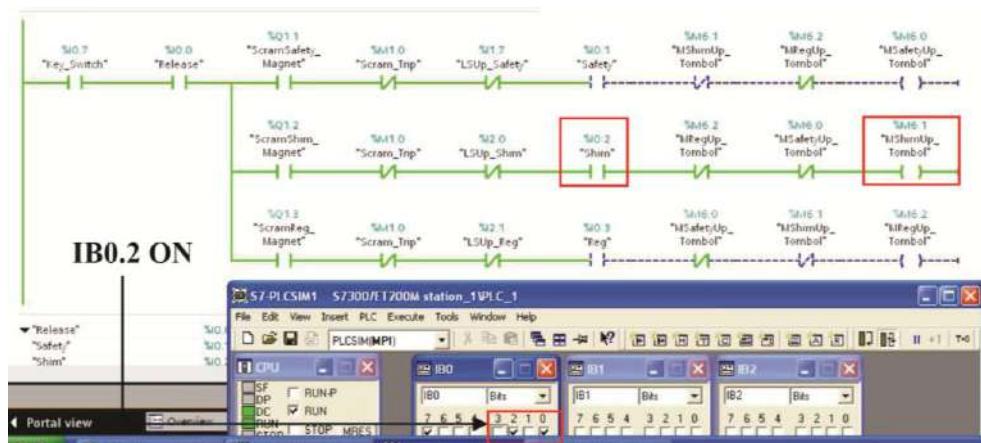


Gambar 4. 5 Alamat Memori Motor *Safety Up* aktif

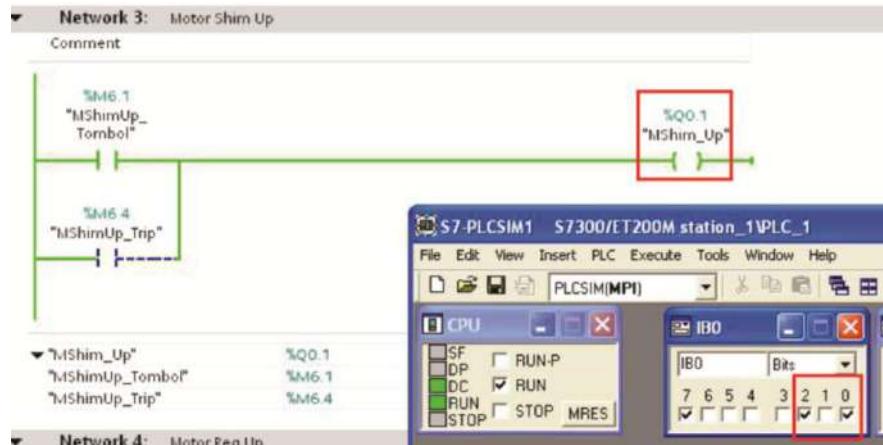


Gambar 4. 6 Alamat Memori motor *safety Up* mengaktifkan Motor

Hasil pengujian batang kendali *shim* dan *regulator* juga menunjukkan hasil yang telah sesuai dengan logika pengoperasian batang kendali yang diinginkan. Hasil pengujian batang kendali *shim* dan regulator ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 4. 7, Gambar 4. 8, dan Gambar 4. 9. Untuk menggerakkan motor *shim up* tombol *Release* (I0.0) diberi *inputan true* pada IB0.0 sehingga *ladder* akan terhubung bersamaan dengan tombol *shim* diberikan *inputan yang bernilai true* pada IB0.2, sehingga alamat memori yang berfungsi untuk menjalankan motor *up* akan aktif, lihat pada Gambar 4. 8.



Gambar 4. 7 Alamat Memori motor *Shim Up* aktif

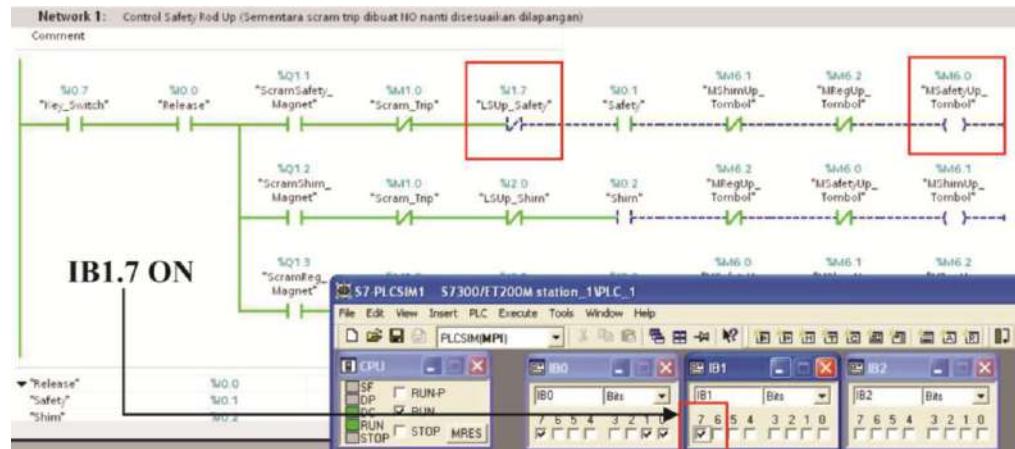


Gambar 4. 8 Alamat memori mengaktifkan motor *Shim Up*



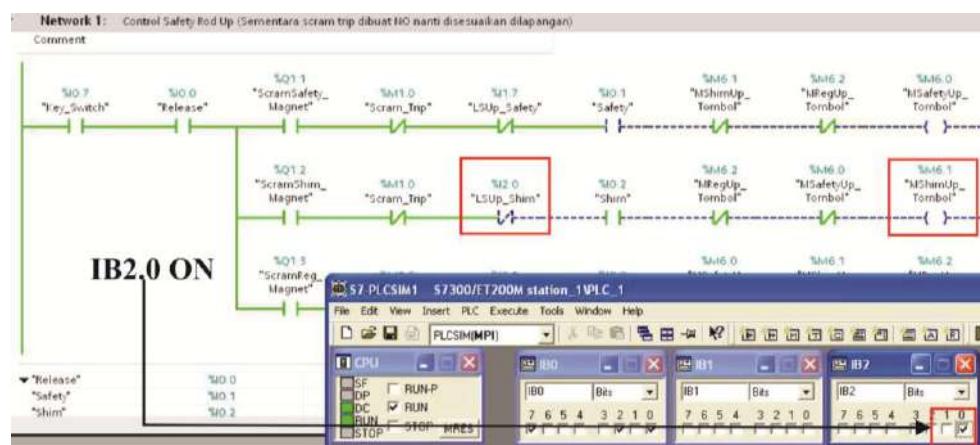
Gambar 4. 9 Alamat memori mengaktifkan motor *Reg Up*

Selanjutnya yaitu pengujian sinyal *limit switch up* untuk ketiga batang kendali. Hasil pengujian diperoleh bahwa *limit switch* ini berfungsi untuk menghentikan motor *up*. Jika motor telah menekan *limit switch up* maka gerak motor akan terhenti dan mengindikasikan bahwa posisi *full up* telah tercapai. Hasil pengujian *limit switch* ditunjukkan pada Gambar 4. 10, Gambar 4. 11, dan Gambar 4. 12.



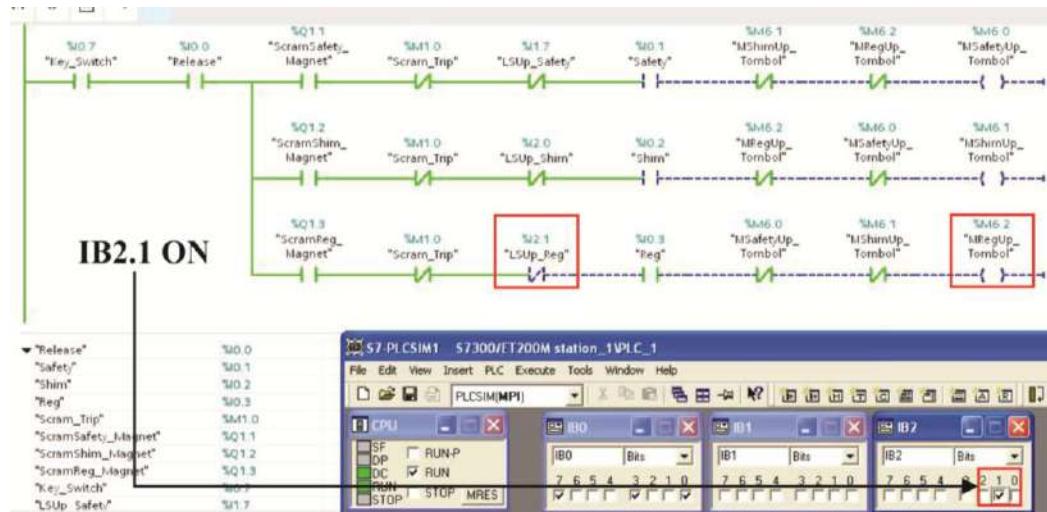
Gambar 4. 10 *Limit Switch Up Safety* (I1.7) aktif

Untuk memperlihatkan seolah-olah bahwa *limit switch up safety* telah tertekan dapat disimulasikan dengan memberikan inputan bernilai *true* pada IB1.7. Saat *limit switch up safety* aktif akan memutuskan program ladder sehingga MSafetyUp\_Tombol akan mati dan motor akan berhenti. Hal yang sama juga terjadi apabila *limit switch up shim* tertekan dengan memberikan inputan *true* pada IB2.0, lihat pada Gambar 4. 11. Ketika *limit switch up shim* aktif maka akan mematikan sambungan *ladder* program yang menyebabkan motor *shim up* berhenti.



Gambar 4. 11 *Limit Switch Up Shim* (I2.0) aktif

Untuk menjalankan simulasi *limit switch up regulator* tertekan dengan memberikan inputan *true* pada IB2.1, lihat pada Gambar 4. 12. Ketika *limit switch up regulator* aktif maka akan mematikan sambungan *ladder* program yang menyebabkan motor *regulator up* berhenti.

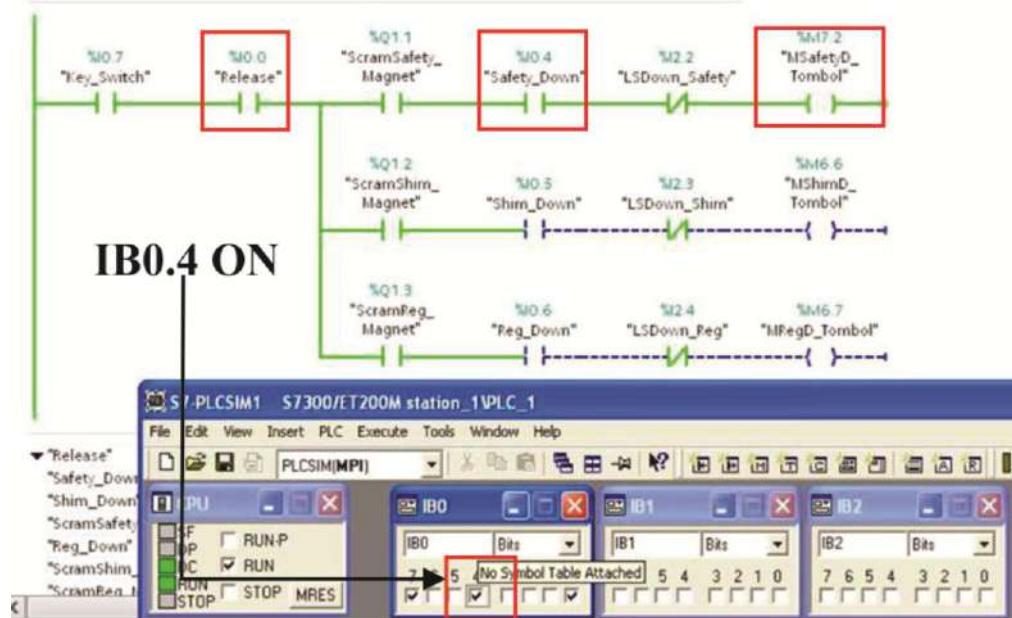


Gambar 4. 12 *Limit Switch Up Reg* (I2.1) aktif

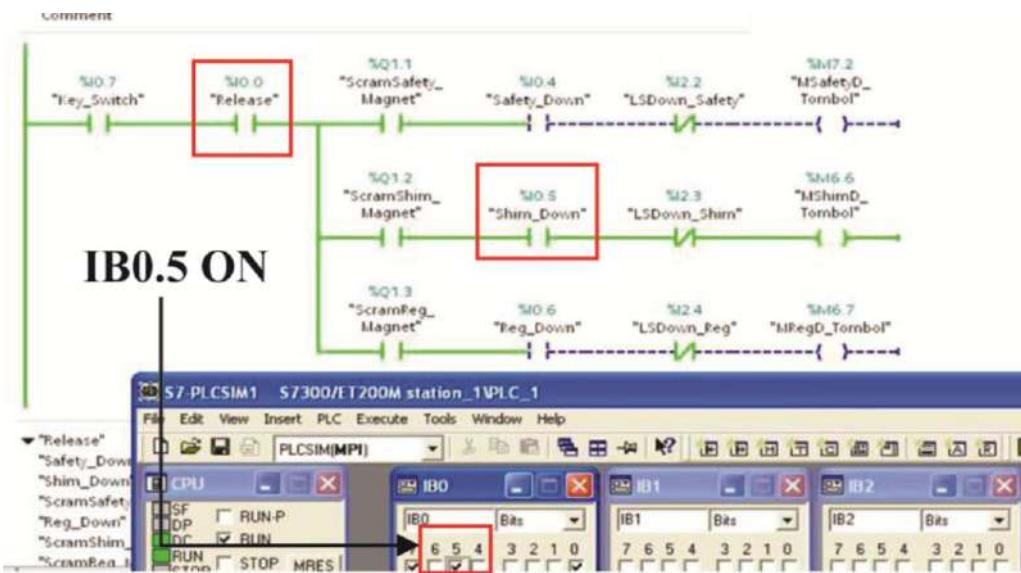
Pengujian motor *Down* dilakukan dengan seolah-olah menekan tombol *Release* bersamaan *Safety\_Down* (I0.4) , *Shim\_Down* (I0.5) dan *Reg\_Down* (I0.6). untuk mengaktifkan *Safety\_Down* perlu memberikan *input true* pada IB0.4. Nilai yang diberikan ini akan mengaktifkan alamat memori motor *down* MSafetyD\_Tombol. Alamat memori tersebut akan mengaktifkan keluaran PLC yang menggerakkan motor untuk memberikan perintah *down* seperti yang terlihat pada Gambar 4. 13.

Untuk menyimulasikan *Shim\_Down* perlu memberikan *input true* pada IB0.5 sehingga menyebabkan alamat memori shim MShimD\_Tombol menjadi aktif. Hasil pengujian secara simulasi dapat dilihat pada Gambar 4. 14. Sedangkan untuk menyimulasikan *Regulator\_Down* perlu memberikan *input true* pada IB0.6

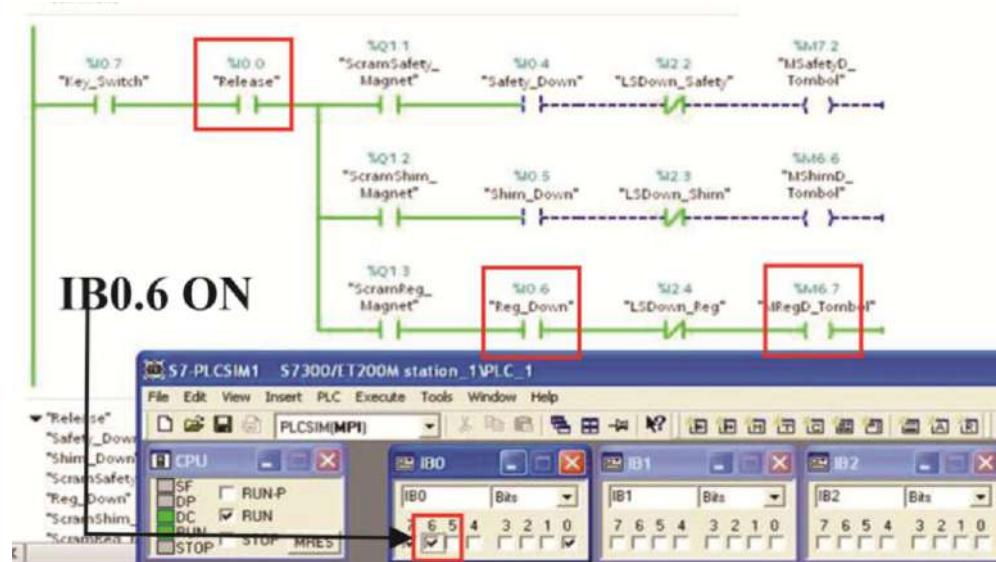
untuk mengaktifkan alamat memori MRegD\_Tombol sehingga motor regulator akan *down*, lihat pada Gambar 4. 15.



Gambar 4. 13 Alamat memori motor *safety down* aktif

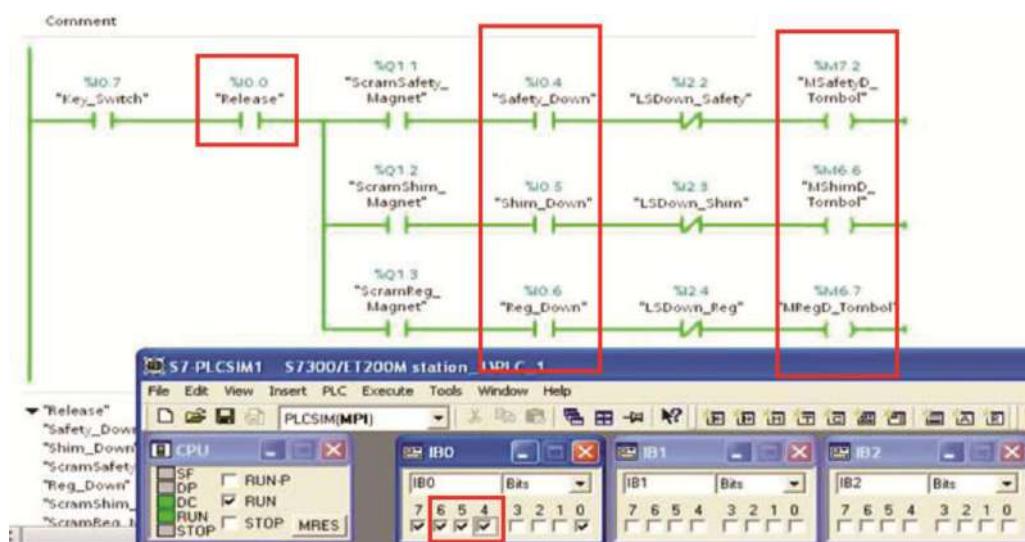


Gambar 4. 14 alamat memori motor *shim down* aktif



Gambar 4. 15 Alamat memori motor regulator down aktif

Batang kendali dapat diturunkan secara bersamaan dengan memberikan nilai *true* pada IB0.4, IB0.5, dan IB0.6 bersamaan dengan menekan tombol *Release*, karena tidak menerapkan sistem *interlock*. Hal ini ditampilkan pada Gambar 4. 16 yang menunjukkan bahwa motor *safety*, motor *shim* dan motor regulator turun secara bersamaan.



Gambar 4. 16 Ketiga alamat memori batang kendali aktif

Alamat memori yang aktif pada ladder utama motor *down* akan mengaktifkan motor *down* masing-masing batang kendali. Secara berturut hasil simulasi motor *down* ditunjukkan pada Gambar 4. 17, Gambar 4. 18, dan Gambar 4. 19.



Gambar 4. 17 Alamat memori mengaktifkan motor *safety down*



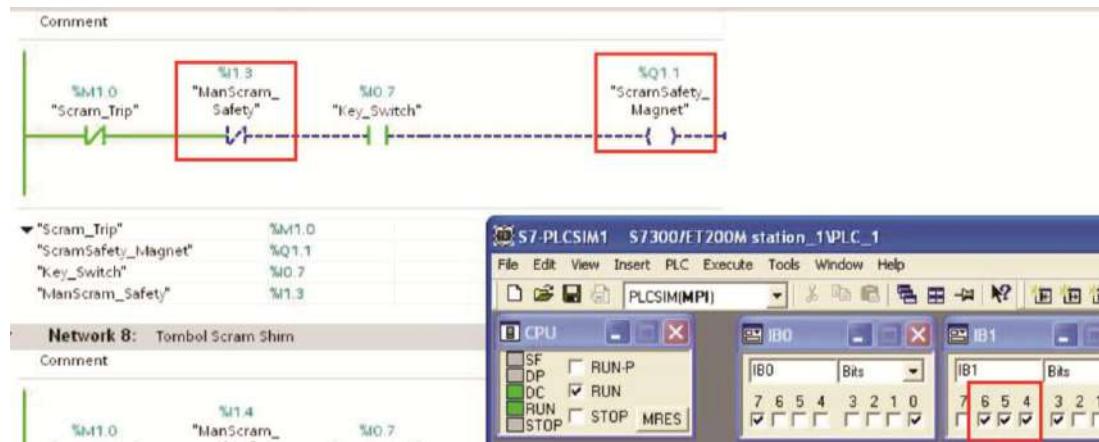
Gambar 4. 18 Alamat memori mengaktifkan motor *shim down*



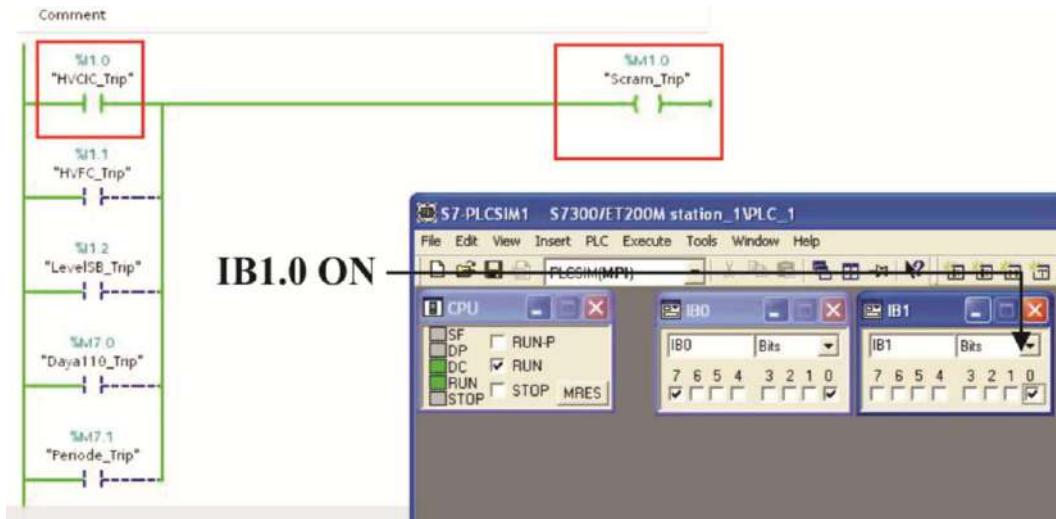
Gambar 4. 19 Alamat memori mengaktifkan motor *regulator down*

Untuk melakukan pengujian apakah *scram safety* dapat berjalan dengan baik dilakukan dengan dua cara. Cara pertama dengan memberikan *inputan true* pada IB1.3 untuk mengaktifkan tombol *ManScram\_Safety* (I1.3) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 20. Pada Gambar 4. 20 diperlihatkan bahwa program ladder terputus dikarenakan input *true* akan memutuskan ladder NC (*Normally Close*) alamat I1.3.

Cara kedua yaitu dengan memicu alamat memori *Scram\_Trip* (M1.0) agar *ladder* terputus dan terjadi *scram* akibat magnet kehilangan arus listrik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. 21. Untuk mengaktifkan tombol *Scram\_Trip* (M1.0) dapat dilakukan dengan memberikan *inputan true* pada IB1.0 yang mengaktifkan HVCIC\_Trip, lihat pada Gambar 4. 21.

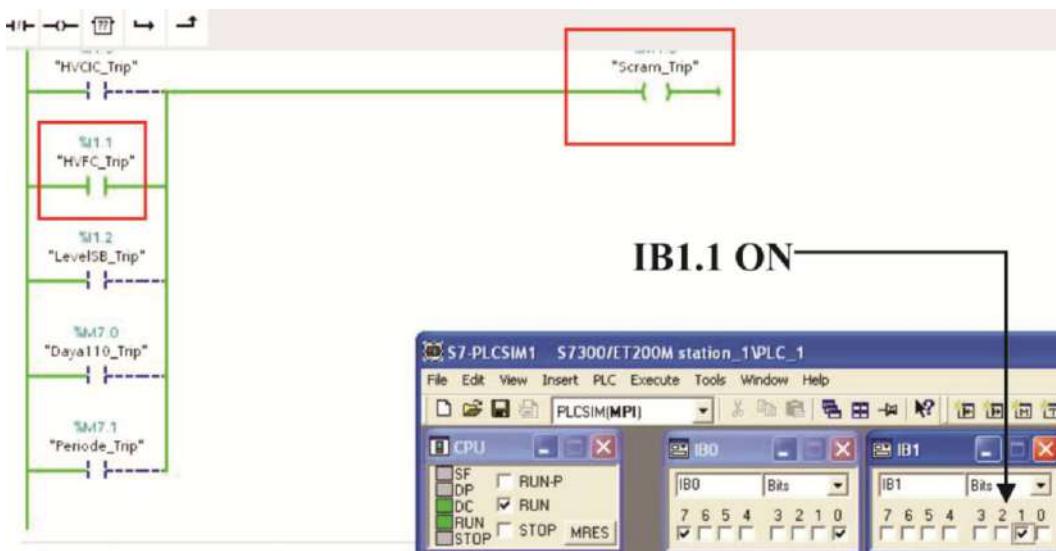


Gambar 4. 20 Program *Scram Safety* menggunakan tombol (I1.3)

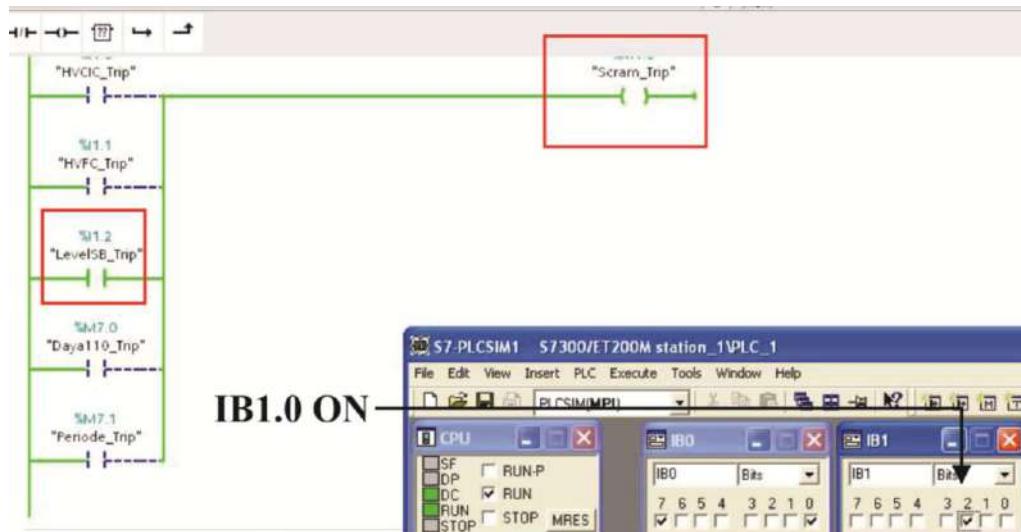


Gambar 4. 21 Program *Trip* dari tombol HVCIC\_Trip (I1.0)

Ada 5 *input* yang memicu *Scram\_Trip*, kelima *input* ini telah diuji dan bekerja dengan baik. Hasil simulasi tombol *trip* ditampilkan berturut-turut pada Gambar 4. 22 dan Gambar 4. 23. Untuk mengaktifkan tombol HVFC\_Trip dan LevelSB\_Trip dengan memberikan nilai *input true* pada IB1.1 dan IB1.2. Kondisi ini akan mengaktifkan alamat memori *Scram\_Trip* (I1.0).

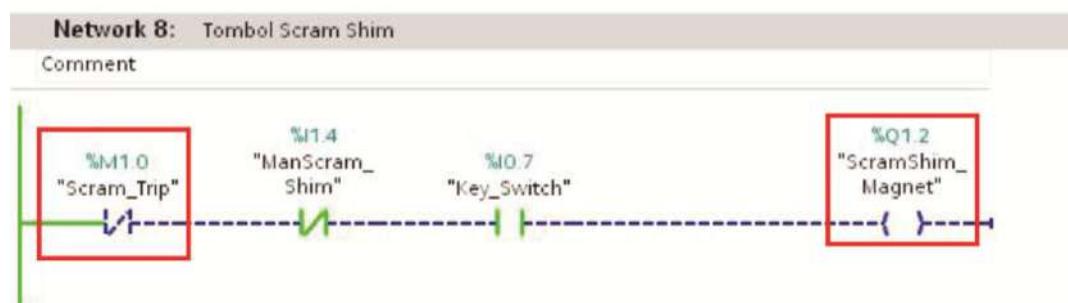


Gambar 4. 22 Program *Trip* dari tombol HVFC\_Trip (I1.1)



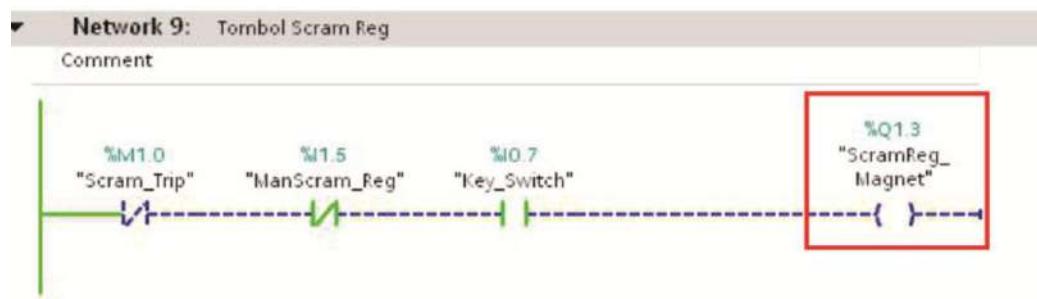
Gambar 4. 23 Program *Trip* dari tombol LevelSB\_ *Trip* (I1.2)

Hasil pengujian *scram* simulasi batang kendali *shim* dan batang kendali regulator yang dipicu dari alamat memori *Scram\_Trip* (M1.0) dapat dilihat pada Gambar 4. 24 dan Gambar 4. 25. Alamat memori *Scram\_Trip* ini apabila aktif akan memutuskan NC pada program *ladder* sehingga akan menyebabkan magnet *Shim* kehilangan catu daya dan batang kendali mengalami *scram* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. 24.



Gambar 4. 24 *Scram Shim* menggunakan Alamat memori *Scram\_Trip*

Berdasarkan Gambar 4. 25 batang kendali regulator mengalami *scram* dikarenakan *Scram\_Trip* (M1.0) aktif sehingga memutuskan *ladder* NC dan menyebabkan terputusnya aliran catu daya pada magnet batang kendali regulator.



Gambar 4. 25 *Scram* Regulator menggunakan Alamat memori *Scram\_Trip*

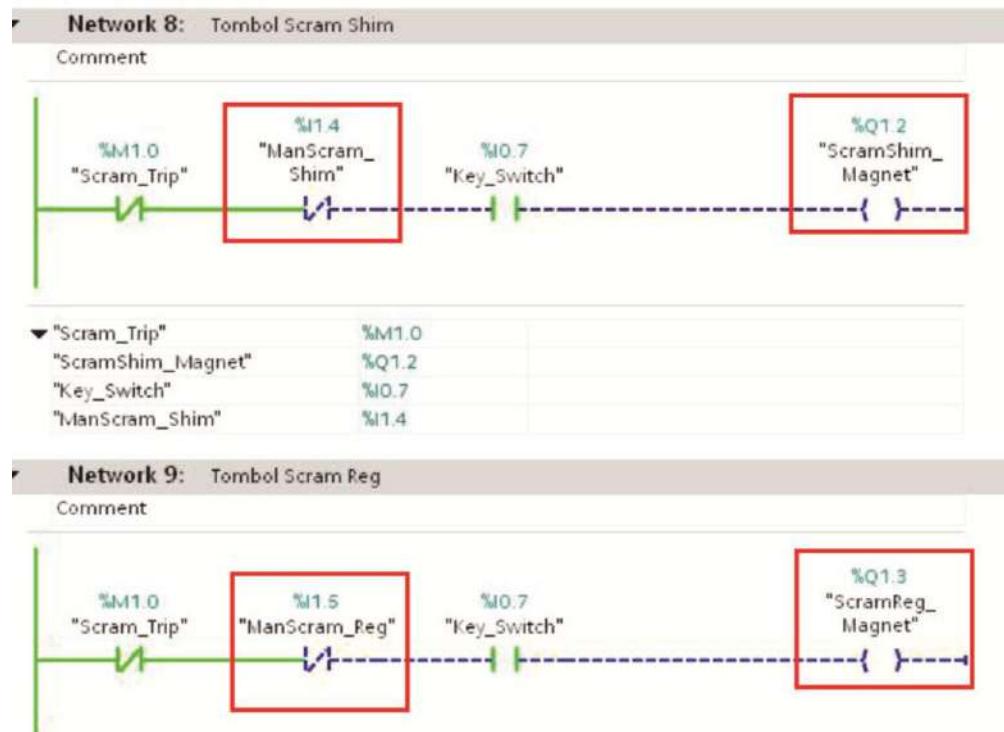
Selain melakukan pengujian dengan memberikan sinyal *trip* melalui alamat memori *Scram\_Trip* (M1.0), *scram* batang kendali *shim* dan regulator juga dilakukan dengan memberikan nilai *input true* pada IB1.4 sehingga akan menyebabkan *ManScram\_Shim* aktif yang diperlihatkan pada Gambar 4. 26.



Gambar 4. 26 Input Simulation

*Scram* batang kendali regulator dengan menggunakan tombol *ManScram\_Reg* juga dilakukan dengan memberikan nilai *input true* pada IB1.5 sehingga akan menyebabkan *ManScram\_Reg* aktif yang diperlihatkan pada Gambar 4. 26. Apabila *ManScram\_Shim* dan *ManScram\_Reg* aktif maka akan

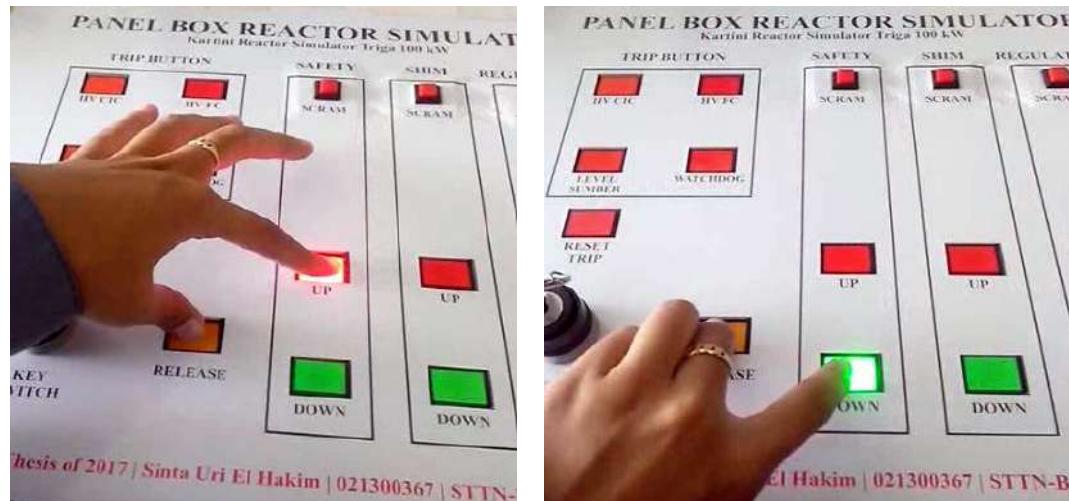
memutuskan program ladder NC sehingga batang kendali shim dan regulator mengalami scram seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. 27.



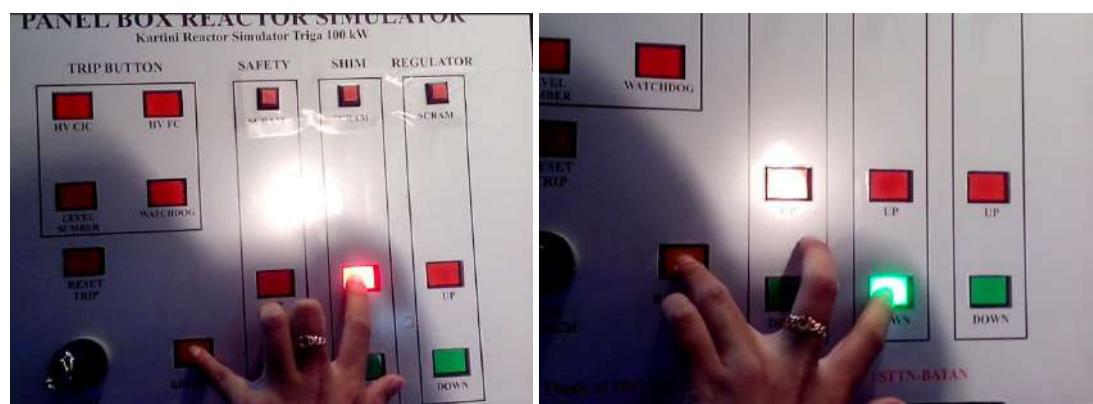
Gambar 4. 27 ManScram\_Shim dan ManScram\_Reg aktif

#### 4.3 Hasil Pengujian *Hardware Simulasi On-Line*

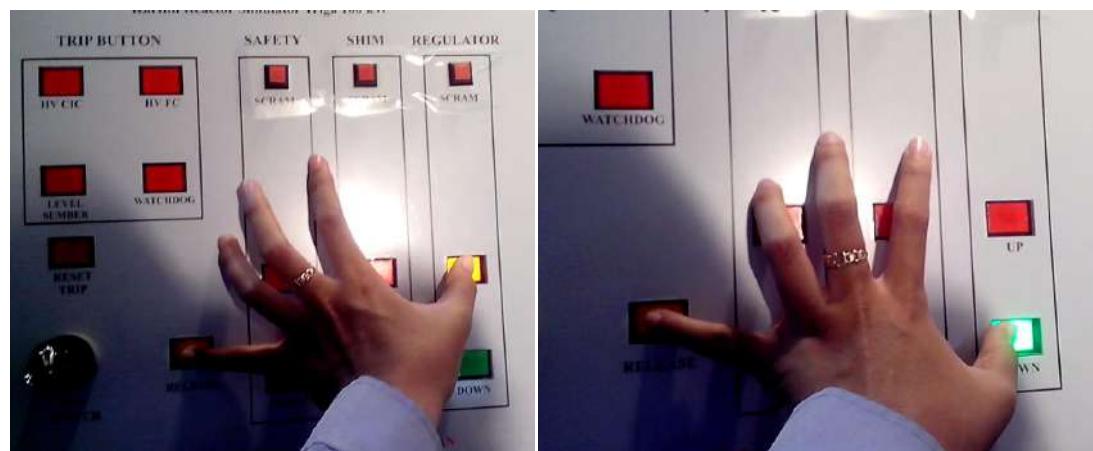
Pengujian *hardware* dilakukan dengan memberikan *inputan* melalui tombol pada *panel box*. Tombol yang digunakan merupakan *push button* dengan nyala led sebagai indikator yang menyatakan bahwa tombol tersebut aktif memberikan sinyal. Pengujian tombol *Up* dan *Down* secara berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4. 28, Gambar 4. 29, dan Gambar 4. 30.



Gambar 4. 28 Uji tombol *Up* dan *Down* Safety

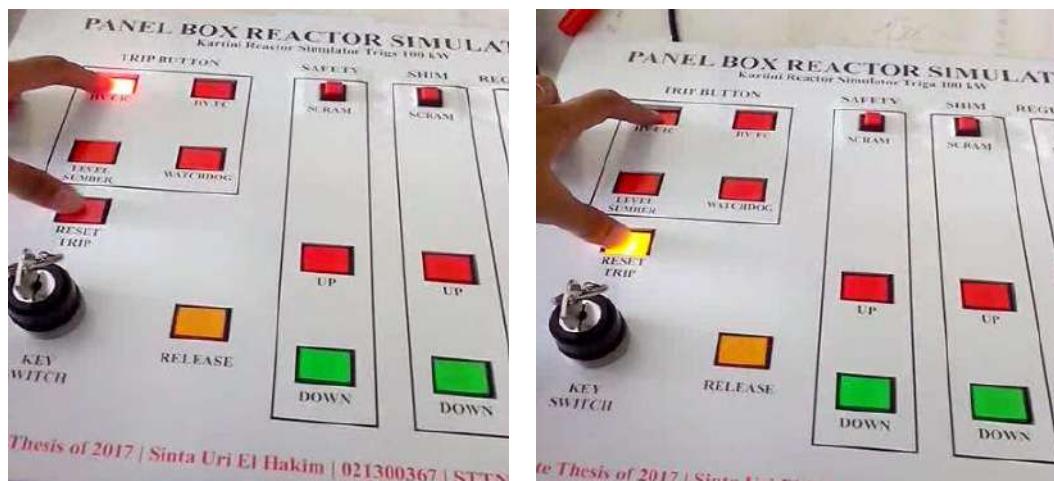


Gambar 4. 29 Uji Tombol *Up* Dan *Down* Shim



Gambar 4. 30 Uji tombol *Up* dan *Down* Regulator

Pengujian selanjutnya yaitu menguji tombol *trip* dan reset. Tombol *trip* ini akan memberikan sinyal untuk memutuskan relay magnet sehingga elektromagnet tidak aktif dan menyebabkan ketiga batang kendali *scram*. Tombol reset berfungsi untuk mengaktifkan elektromagnet kembali sehingga batang kendali dapat menempel dengan lengan CRDM. Tombol reset baru dapat ditekan bila lengan CRDM telah menyentuh *limit switch Down* sebagai tanda bahwa lengan CRDM telah menempel pada batang kendali. Pengujian tombol *trip* dan reset dapat dilihat pada Gambar 4. 31.



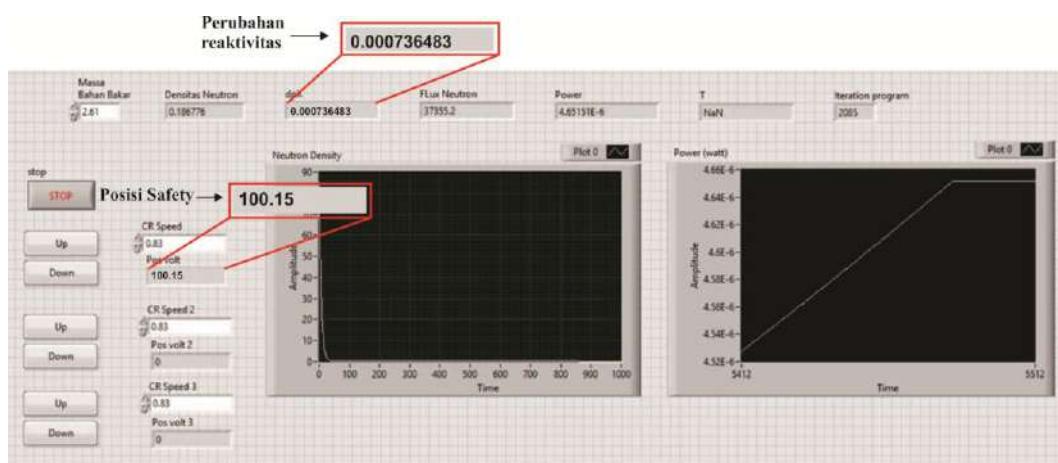
Gambar 4. 31 Uji tombol *Trip HV CIC* dan tombol *Reset Trip*

#### 4.4 Hasil Pengujian *Software Simulasi Kinetika Reaktor*

Pengujian *software* dilakukan dengan *running* program memberikan perubahan posisi batang kendali. Perubahan posisi batang kendali ini akan menghasilkan data berupa densitas neutron yang dihitung berdasarkan Persamaan (2.3) yang akan diubah menjadi fluks neutron. Nilai fluks ini berbanding lurus dengan kenaikan nilai densitas neutron, dari nilai fluks neutron ini akan

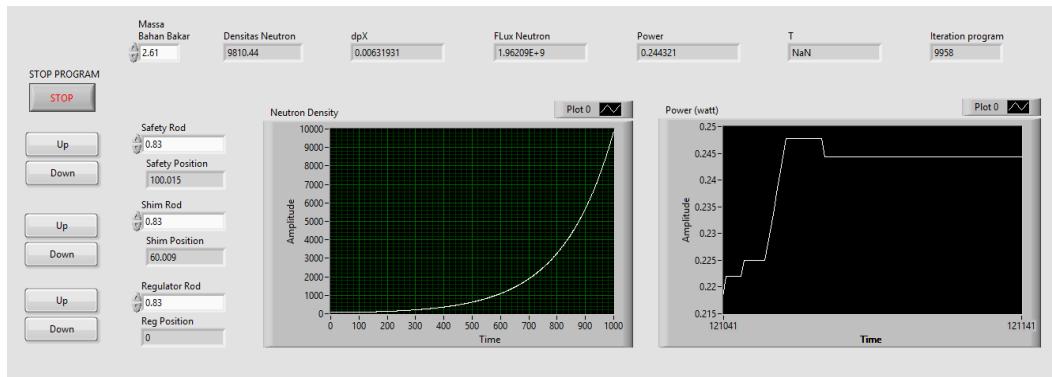
dikonversikan menjadi perubahan daya (*Power*) dengan menggunakan Persamaan (2.11).

Berdasarkan operasi reaktor, batang kendali *safety* harus dinaikkan *full up* 100% seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. 32. Saat batang kendali *safety full up* 100%, reaktivitas yang dihasilkan sebesar 0,000736483 \$. Nilai reaktivitas saat batang kendali safety full up 100% belum dapat menghasilkan daya reaktor, karena reaktivitas ini masih dianggap terlalu kecil untuk membangkitkan daya reaktor.

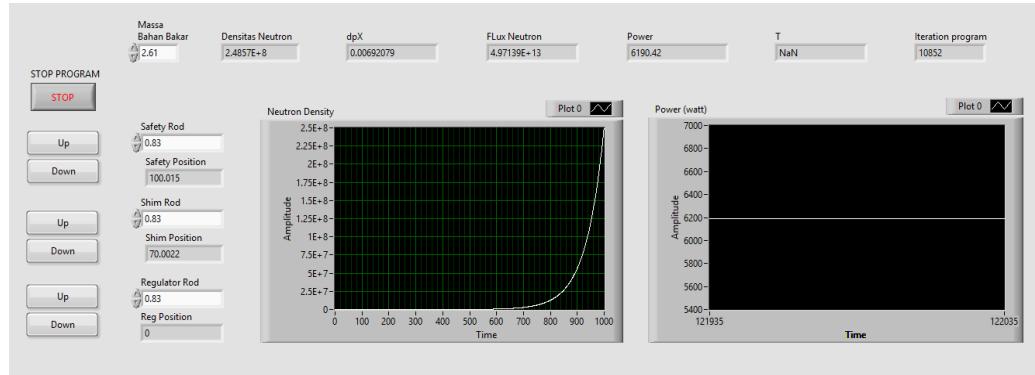


Gambar 4. 32 Operasi reaktor saat batang kendali *Safety* 100% (*Full Up*)

Untuk menjalankan operasi reaktor selanjutnya yaitu perlu menarik batang kendali *shim* hingga mencapai posisi yang diinginkan oleh operator. Posisi batang kendali *shim* dinaikkan hingga mencapai 60% atau 70% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 33 dan Gambar 4. 34. Pada saat batang kendali *shim* dinaikkan sebesar 60% reaktivitas yang dihasilkan sebesar 0,00631931 \$. Sedangkan saat batang kendali *shim* dinaikkan sebesar 70% reaktivitas yang dihasilkan sebesar 0,00692079 \$. Untuk melihat perubahan nilai reaktivitas lebih jelas lagi dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 4. 33 Operasi reaktor saat batang kendali *shim* 60%



Gambar 4. 34 Operasi reaktor saat batang kendali *shim* 70%

Hasil yang diperoleh dari running program dapat dilihat pada Tabel 4. 1, Tabel 4. 2, dan Tabel 4. 3. Berdasarkan hasil yang ditampilkan Tabel 4. 1 dengan setting awal posisi batang kendali *safety* 100% dan batang kendali *shim* 60%, daya 10 kW akan dicapai apabila batang kendali regulator dinaikkan sebesar 34,70%. Pengaturan posisi batang kendali regulator untuk menaikkan daya hingga mencapai 100 kW berdasarkan data dari *running* program adalah sebesar 36,90%.

Data yang diperoleh dari Tabel 4. 1 menghasilkan grafik perubahan daya terhadap perubahan posisi batang kendali seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. 35 dan Gambar 4. 36. Berdasarkan Gambar 4. 35 kenaikan batang kendali regulator terlihat sangat rapat (perubahan posisi yang sedikit) untuk memberikan

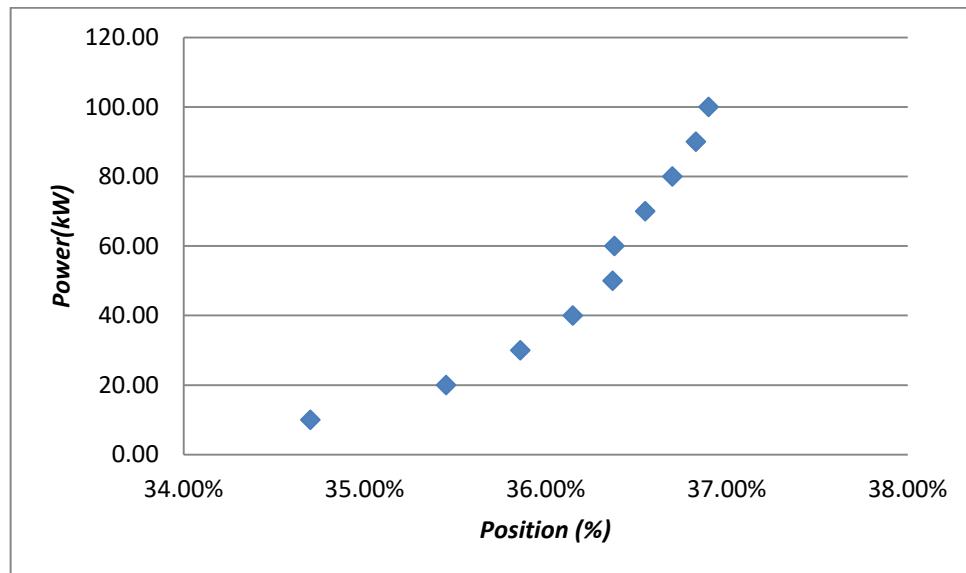
kenaikan daya sebesar 10 kW. Berdasarkan Gambar 4. 36 dapat dilihat bahwa penurunan posisi batang kendali memberikan nilai yang mirip saat penaikkan batang kendali. Perubahan posisi batang kendali regulator yang sangat rapat dimulai ketika daya mencapai 10 kW hingga 100 kW. Sedangkan untuk menaikkan daya dari 0 kW hingga 10 kW diperlukan perubahan kenaikan batang kendali regulator yang cukup besar yaitu sebesar 34,70%.

Tabel 4. 1 Hasil simulasi program dengan posisi Safety 100% dan Shim 60%

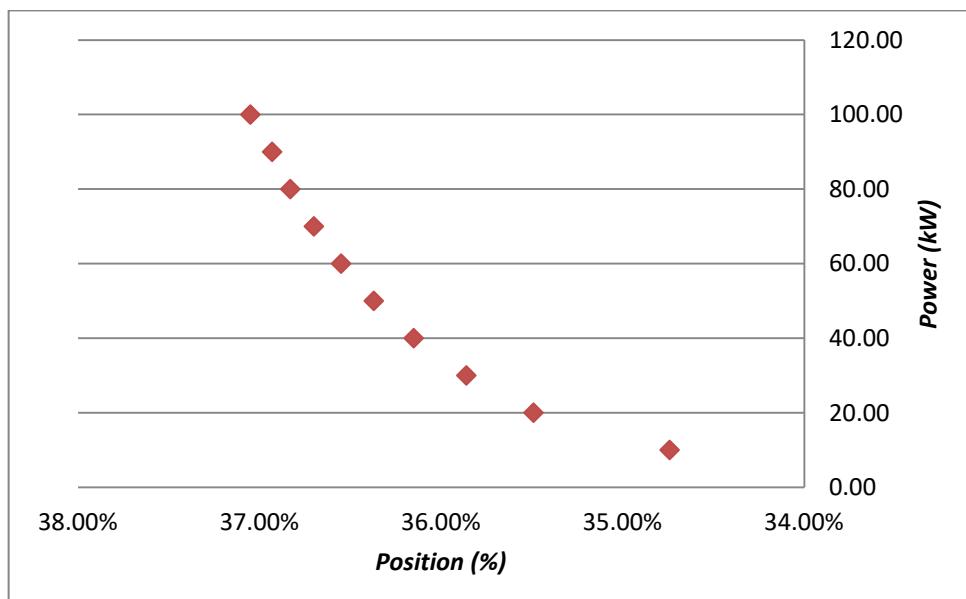
<b>Batang Kendali Naik</b>		<b>Batang Kendali Turun</b>	
<b>Regulator <i>Up</i></b>	<b>Power (kW)</b>	<b>Regulator <i>Down</i></b>	<b>Power (kW)</b>
0,00%	0.00	37.05%	100.00
34,70%	10.00	36.93%	90.00
35,45%	20.00	36.83%	80.00
35,86%	30.00	36.70%	70.00
36,15%	40.00	36.55%	60.00
36,37%	50.00	36.37%	50.00
36,38%	60.00	36.15%	40.00
36,55%	70.00	35.86%	30.00
36,70%	80.00	35.49%	20.00
36,83%	90.00	34.74%	10.00
36,90%	100.00	0.00%	0.00

Saat batang kendali diturunkan maka daya reaktor juga akan turun akibat reaktivitas negatif yang diberikan. Posisi batang kendali diturunkan secara bertahap dari 100 kW ke 0 kW sesuai yang ditunjukkan oleh Tabel 4. 1. Pada Tabel 4. 1 dapat dilihat bahwa posisi batang kendali regulator saat diturunkan pada daya tertentu cenderung mendekati sama saat batang kendali regulator dinaikkan. Sebagai contoh dapat dilihat pada daya 10 kW, untuk mencapai daya 10 kW batang kendali dinaikkan hingga posisi 34,70%, dan saat diturunkan hingga daya

10 kW maka posisi batang kendali regulator yang diperoleh mendekati sama yaitu sebesar 34.74%.



Gambar 4. 35 Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator Up (Posisi Safety 100% dan Shim 60%)



Gambar 4. 36 Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator Down (Posisi Safety 100% dan Shim 60%)

Pada *running* program kedua posisi batang kendali *shim* diatur pada posisi 65% sedangkan posisi batang kendali *safety* tetap berada pada 100%. Hasil *running*

program yang diperoleh sesuai dengan Tabel 4. 2. Pada saat posisi batang kendali *Shim* berada pada 65%, untuk mendapatkan daya sebesar 10 kW diperlukan penarikan batang kendali regulator sebesar 26,3%. Untuk mendapatkan daya sebesar 100 kW diperlukan penarikan posisi batang kendali regulator sebesar 29,5%.

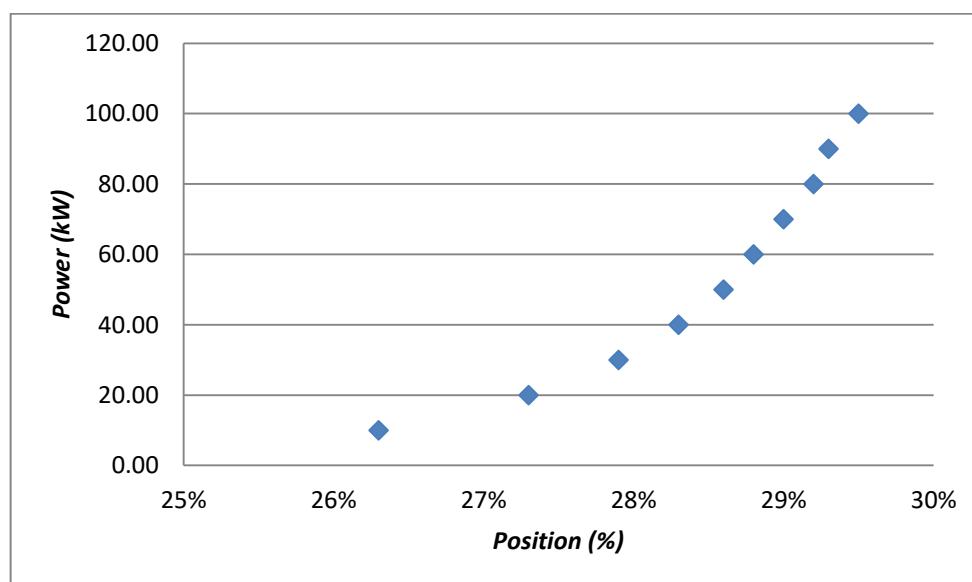
Pada Gambar 4. 37 menunjukkan posisi batang kendali setiap terjadi perubahan kenaikan daya akibat perubahan posisi batang kendali regulator. Sedangkan pada Gambar 4. 38 menunjukkan perubahan posisi batang kendali turun hingga posisi 0%. Grafik yang dihasilkan dari penurunan posisi batang kendali memiliki nilai yang mirip pada saat batang kendali dinaikkan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. 38. Gambar 4. 37 menunjukkan perubahan posisi batang kendali regulator yang terlihat rapat (perubahan posisi yang sangat sedikit) untuk memberikan kenaikan daya sebesar 10 kW. Perubahan posisi batang kendali regulator yang sangat rapat ini dimulai ketika daya mencapai 10 kW hingga 100 kW. Sedangkan untuk menaikkan daya dari 0 kW hingga 10 kW diperlukan perubahan kenaikan batang kendali regulator yang cukup besar yaitu sebesar 26,3%.

Saat batang kendali diturunkan maka daya reaktor juga akan turun akibat reaktivitas negatif yang diberikan. Posisi batang kendali diturunkan secara bertahap dari 100 kW ke 0 kW sesuai yang ditunjukkan oleh Tabel 4. 2. Pada Tabel 4. 2 dapat dilihat bahwa posisi batang kendali regulator saat diturunkan pada daya tertentu cenderung mendekati sama saat batang kendali regulator dinaikkan. Sebagai contoh dapat dilihat pada daya 10 kW, untuk mencapai daya 10 kW

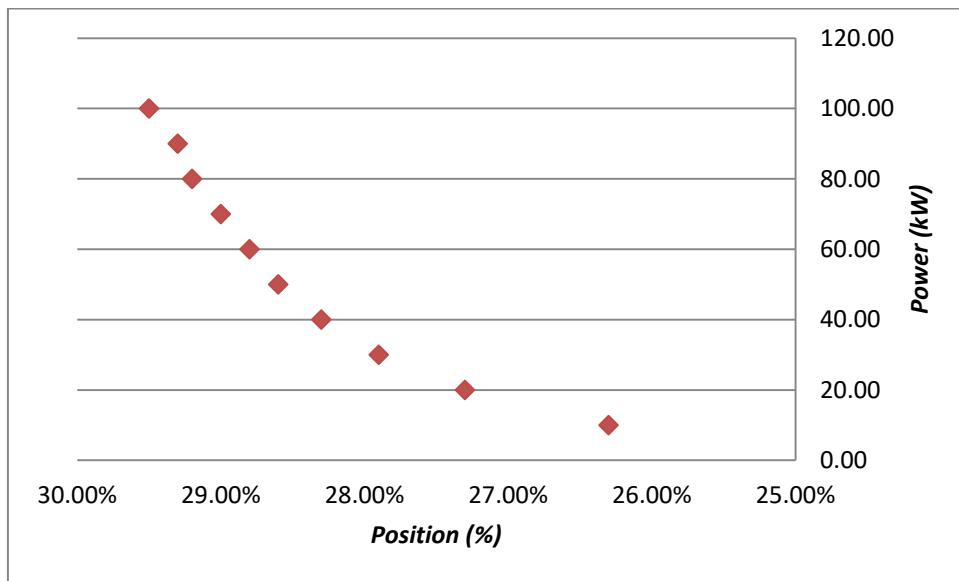
batang kendali dinaikkan hingga posisi 26,30%, dan saat diturunkan hingga daya 10 kW posisi batang kendali regulator yang diperoleh sama besar yaitu sebesar 26,30%.

Tabel 4. 2 Hasil simulasi program dengan posisi Safety 100% dan Shim 65%

Batang Kendali Naik		Batang Kendali Turun	
Regulator <i>Up</i>	Power (kW)	Regulator <i>Down</i>	Power (kW)
0,00%	0,00	29,50%	100,00
26,30%	10,00	29,30%	90,00
27,30%	20,00	29,20%	80,00
27,90%	30,00	29,00%	70,00
28,30%	40,00	28,80%	60,00
28,60%	50,00	28,60%	50,00
28,80%	60,00	28,30%	40,00
29,00%	70,00	27,90%	30,00
29,20%	80,00	27,30%	20,00
29,30%	90,00	26,30%	10,00
29,50%	100,00	0,00%	0,00



Gambar 4. 37 Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator *Up* (Posisi Safety 100% dan Shim 65%)



Gambar 4. 38 Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator Down (Posisi *Safety* 100% dan *Shim* 65%)

Pada *running* program ketiga posisi batang kendali *shim* diatur pada posisi 70% sedangkan posisi batang kendali *safety* tetap berada pada 100%. Hasil *running* program yang diperoleh sesuai dengan Tabel 4. 3. Pada saat posisi batang kendali *shim* berada pada 70%, untuk mendapatkan daya sebesar 10 kW diperlukan penarikan batang kendali regulator sebesar 10,06%. Namun posisi batang kendali *shim* pada 70% telah mampu menghasilkan daya sebesar 0,03 kW. Untuk mendapatkan daya sebesar 100 kW diperlukan penarikan posisi batang kendali regulator sebesar 19,50%.

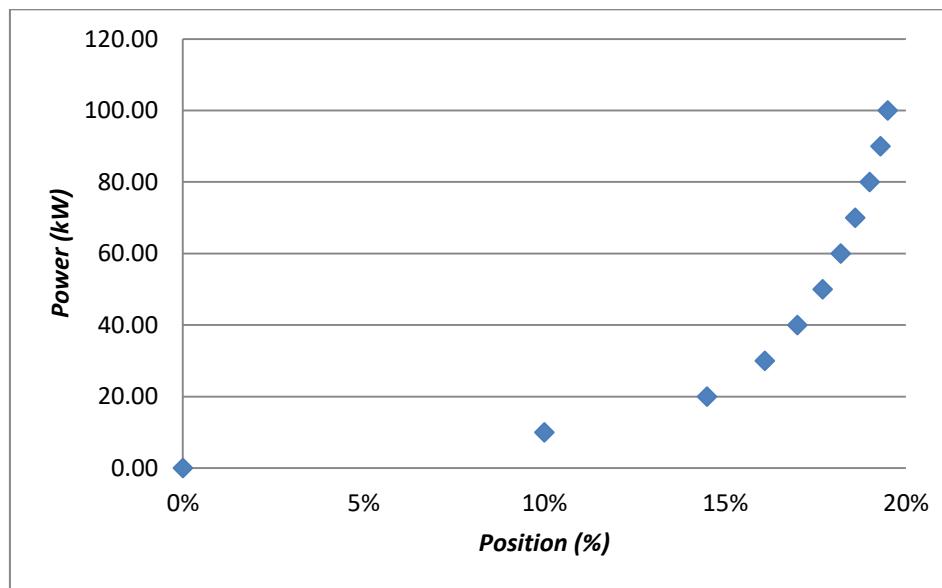
Pada Gambar 4. 39 menunjukkan perubahan posisi batang kendali regulator yang terlihat rapat (perubahan posisi yang sangat sedikit) untuk memberikan kenaikan daya sebesar 10 kW. Sedangkan pada Gambar 4. 40 menunjukkan perubahan posisi batang kendali *down* (turun) yang memiliki *trendline* mirip dengan grafik kenaikan batang kendali. Gambar 4. 39 menunjukkan perubahan posisi batang kendali regulator yang terlihat rapat (perubahan posisi yang sangat

sedikit) untuk memberikan kenaikan daya sebesar 10 kW. Perubahan posisi batang kendali regulator yang sangat rapat ini dimulai ketika daya mencapai 10 kW hingga 100 kW. Sedangkan untuk menaikkan daya dari 0,03 kW hingga 10 kW diperlukan perubahan kenaikan batang kendali regulator yang cukup besar yaitu sebesar 10,6%.

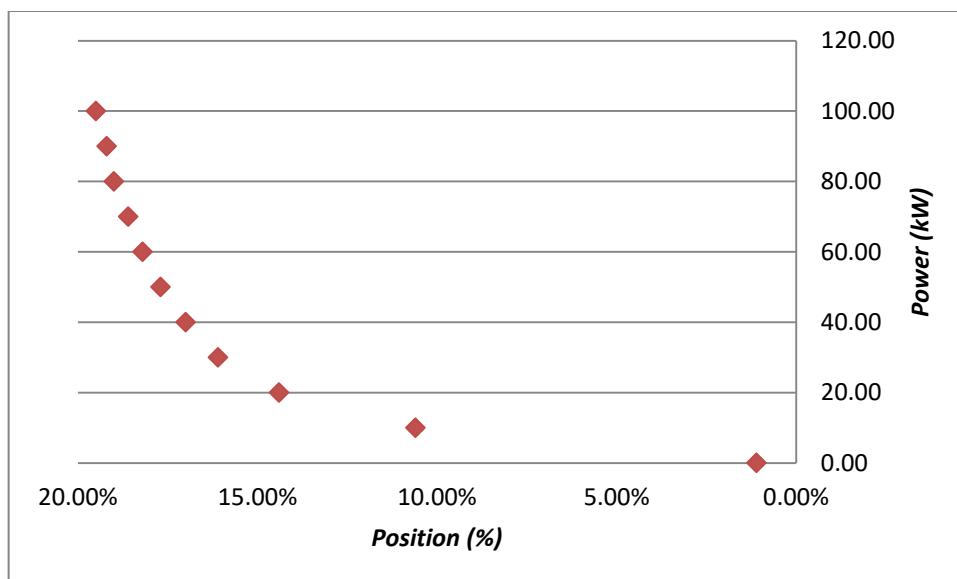
Saat batang kendali diturunkan maka daya reaktor juga akan turun akibat reaktivitas negatif yang diberikan. Posisi batang kendali diturunkan secara bertahap dari 100 kW ke 0 kW sesuai yang ditunjukkan oleh Tabel 4. 3. Pada Tabel 4. 3 dapat dilihat bahwa posisi batang kendali regulator saat diturunkan pada daya tertentu cenderung mendekati sama saat batang kendali regulator dinaikkan. Sebagai contoh dapat dilihat pada daya 10 kW, untuk mencapai daya 10 kW batang kendali dinaikkan hingga posisi 10,60%, dan saat diturunkan hingga mencapai daya 10 kW posisi batang kendali regulator yang diperoleh sama besar yaitu sebesar 10,60%.

Tabel 4. 3 Hasil simulasi program dengan posisi Safety 100% dan Shim 70%

<b>Batang Kendali Naik</b>		<b>Batang Kendali Turun</b>	
<b>Regulator <i>Up</i></b>	<b>Power (kW)</b>	<b>Regulator <i>Down</i></b>	<b>Power (kW)</b>
0%	0.03	19,50%	100.00
10,6%	10.00	19,30%	90.00
14,50%	20.00	19%	80.00
16,10%	30.00	18,60%	70.00
17%	40.00	18,20%	60.00
17,70%	50.00	17,70%	50.00
18,20%	60.00	17%	40.00
18,60%	70.00	16,10%	30.00
19%	80.00	14,50%	20.00
19,30%	90.00	10,6%	10.00
19,50%	100.00	0%	0,03



Gambar 4. 39 Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator *Up* (Posisi *Safety* 100% dan *Shim* 70%)



Gambar 4. 40 Grafik Daya terhadap Perubahan Regulator *Down* (Posisi *Safety* 100% dan *Shim* 70%)

Untuk mencapai daya yang sama akan diperoleh posisi batang kendali regulator yang berbeda jika *setting* posisi batang kendali *shim* juga berbeda. Hal ini

disebabkan karena reaktivitas batang kendali *shim* sangat mempengaruhi kenaikan daya dalam operasi reaktor.

#### **4.5 Hasil Perbandingan Running Program dengan Operasi Real**

Hasil running program yang telah diperoleh kemudian dibandingkan dengan data hasil operasi reaktor Kartini saat melakukan operasi daya. Data hasil simulasi memiliki perbedaan dengan data yang dihasilkan dari operasi reaktor Kartini. Hal ini disebabkan karena pada reaktor Kartini dipengaruhi oleh beberapa hal selain kinetika reaktor, seperti suhu bahan bakar, densitas pendingin, level sumber, peracunan xenon (Xe) dan beberapa pamaremeter yang lain. Sedangkan simulasi yang dibangun menggunakan persamaan kinetika reaktor yang hanya dipengaruhi perubahan reaktivitas oleh perubahan posisi batang kendali untuk menghitung nilai densitas neutron.

Tabel 4. 4 Data perbandingan hasil simulasi dengan operasi reaktor

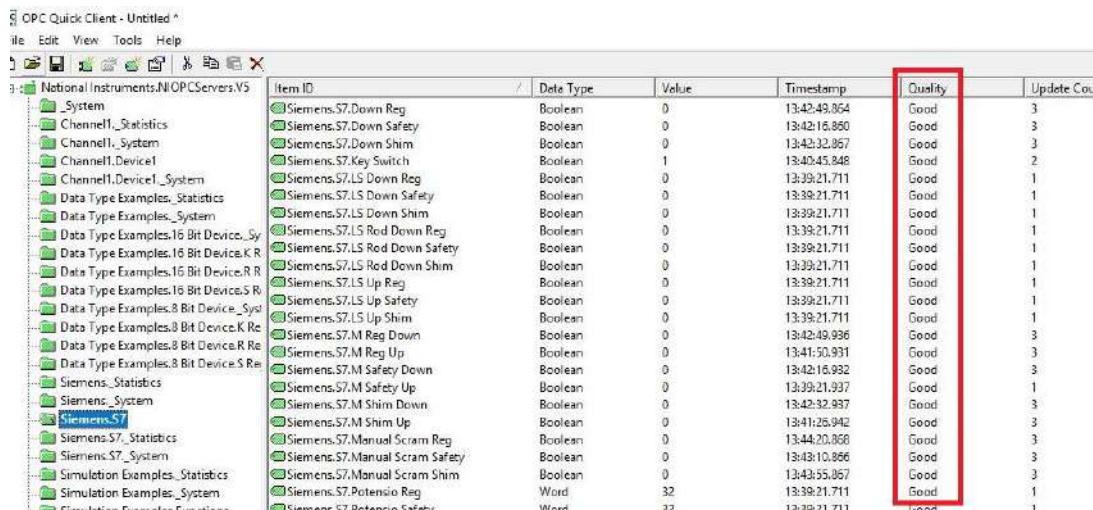
No	Batang Kendali	Posisi (Simulasi)	Posisi (Operasi)	Faktor Pengali
1	Safety	100%	100%	1
	Shim	60%	60%	1
	Regulator	37,05%	55%	1,46
2	Safety	100%	100%	1
	Shim	65%	65%	1
	Regulator	29,50%	47%	1,59
3	Safety	100%	100%	1
	Shim	70%	70%	1
	Regulator	19,50%	41,60%	2,13

Berdasarkan data pada Tabel 4. 4 dari hasil simulasi yang dibandingkan dengan data dari hasil operasi dapat diperoleh informasi faktor pengali. Pada saat posisi *safety* 100%, *shim* 60% memiliki faktor pengali 1,46 agar posisi regulator yang disimulasikan memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan operasi reaktor

sesungguhnya. Saat posisi *safety* 100%, *shim* 65%, diperolah faktor pengali sebesar 1,59. pada saat posisi *safety* 100%, *shim* 70%, diperoleh faktor pengali sebesar 2,13.

#### 4.6 Hasil Pengujian OPC Server (Komunikasi Serial PLC to PC)

Komunikasi antara PC dengan PLC menggunakan komunikasi serial OPC Server. OPC Server ini bekerja dengan memanggil alamat *tag* yang telah diisikan dan di panggil melalui program LabVIEW yang telah dibuat. Untuk melihat apakah komunikasi antara PC dan PLC telah terjadi dilakukan dengan melihat pada OPC Quick Client. Gambar 4. 41 memperlihatkan bahwa komunikasi antara PC dengan PLC telah terjalin.



Item ID	Date Type	Value	Timestamp	Quality	Update Cnt
Siemens.S7.Down Reg	Boolean	0	13:42:49,864	Good	3
Siemens.S7.Down Safety	Boolean	0	13:42:16,860	Good	3
Siemens.S7.Down Shim	Boolean	0	13:42:32,867	Good	3
Siemens.S7.Key Switch	Boolean	1	13:40:45,848	Good	2
Siemens.S7.LS Down Reg	Boolean	0	13:39:21,711	Good	1
Siemens.S7.LS Down Safety	Boolean	0	13:39:21,711	Good	1
Siemens.S7.LS Down Shim	Boolean	0	13:39:21,711	Good	1
Siemens.S7.LS Rod Down Reg	Boolean	0	13:39:21,711	Good	1
Siemens.S7.LS Rod Down Safety	Boolean	0	13:39:21,711	Good	1
Siemens.S7.LS Rod Down Shim	Boolean	0	13:39:21,711	Good	1
Siemens.S7.LS Up Reg	Boolean	0	13:39:21,711	Good	1
Siemens.S7.LS Up Safety	Boolean	0	13:39:21,711	Good	1
Siemens.S7.LS Up Shim	Boolean	0	13:39:21,711	Good	1
Siemens.S7.M Reg Down	Boolean	0	13:42:49,936	Good	3
Siemens.S7.M Up Reg	Boolean	0	13:41:50,931	Good	3
Siemens.S7.M Safety Down	Boolean	0	13:42:16,932	Good	3
Siemens.S7.M Safety Up	Boolean	0	13:39:21,937	Good	1
Siemens.S7.M Shim Down	Boolean	0	13:42:32,937	Good	3
Siemens.S7.M Shim Up	Boolean	0	13:41:25,942	Good	3
Siemens.S7.Manual Scram Reg	Boolean	0	13:44:20,868	Good	3
Siemens.S7.Manual Scram Safety	Boolean	0	13:43:10,866	Good	3
Siemens.S7.Manual Scram Shim	Boolean	0	13:43:55,067	Good	3
Siemens.S7.Potensio Reg	Word	32	13:39:21,711	Good	1
Siemens.S7.Datasheet Safety	Word	33	13:40:31,711	Good	1

Gambar 4. 41 Tampilan OPC Quick Client

Pada OPC Quick Client ini juga dapat melihat tag mana saja yang aktif memberikan nilai *true* dengan melihat pada perubahan *Value*. Saat tombol pada *panel box* ditekan untuk memberikan sinyal motor *up* maka tag yang menyala akan sama dengan alamat *tag* pada program PLC. Gambar 4. 42 memperlihatkan bahwa *value key switch* berubah menjadi *true* (1) akibat perubahan *input* dari *panel box*.

Hal ini telah membuktikan bahwa antara PC mampu melakukan pembacaan data dari PLC.

Item ID	/	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update C
Siemens.S7.Down Reg		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Down Safety		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Down Shim		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Key Switch		Boolean	1	13:32:39.657	Good	2
Siemens.S7.LS Down Reg		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.LS Down Safety		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.LS Down Shim		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.LS Rod Down Reg		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.LS Rod Down Safety		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1

Gambar 4. 42 Pembacaan tag Key Switch pada OPC Quick Client

Item ID	/	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Updat
Siemens.S7.Down Reg		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Down Safety		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Down Shim		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Key Switch		Boolean	1	13:32:39.657	Good	2
Siemens.S7.LS Down Reg		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.LS Down Safety		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.LS Down Shim		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Potensio Reg		Word	32	13:32:23.310	Good	1
Siemens.S7.Potensio Safety		Word	32	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Potensio Shim		Word	32	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Release		Boolean	1	13:33:32.659	Good	2
Siemens.S7.Reset Trip		Boolean	0	13:32:25.662	Good	1
Siemens.S7.Trip HV CIC		Boolean	0	13:32:25.662	Good	1
Siemens.S7.Trip HV DC		Boolean	0	13:32:25.662	Good	1

Gambar 4. 43 Pembacaan tag Release dari PLC

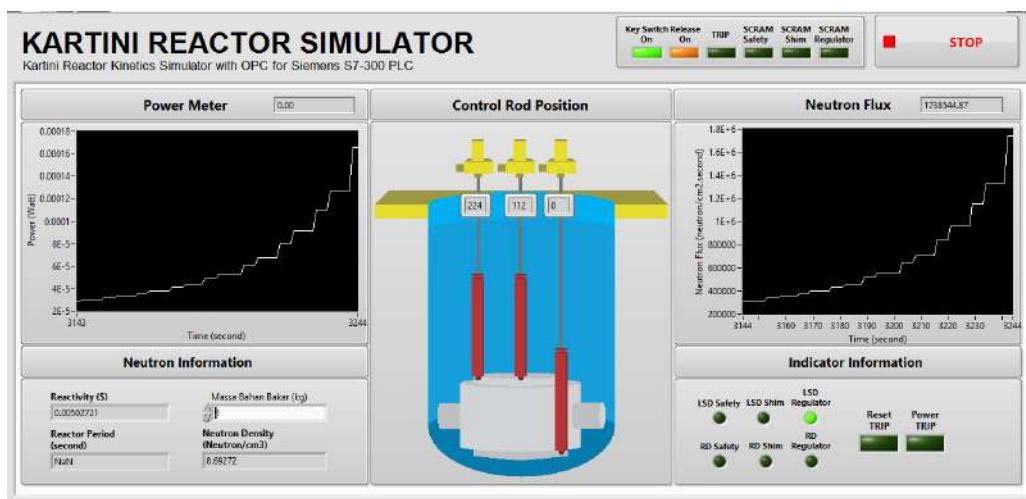
Gambar 4. 42 dan Gambar 4. 43 merupakan dua bukti bahwa komunikasi PC dengan PLC telah terjalin. Untuk melihat seluruh pembacaan tag pada OPC Quick Client dapat dilihat pada Lampiran 1 dan untuk hasil pembacaan bit address pada OPC Server dapat dilihat pada Lampiran 4.

#### 4.7 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Hasil pengujian sistem dilihat pada user display LabVIEW. Pengujian sistem secara lengkap bertujuan untuk melihat apakah sistem dapat berjalan dengan baik dan dapat ditampilkan pada user display. Gambar 4. 44 memperlihatkan bahwa data sudah dapat ditampilkan pada user display. Data daya yang dihasilkan dari perubahan posisi batang kendali sudah dapat dilihat. Pada Power meter daya belum terlihat mengalami kenaikan karena batang kendali

yang naik *full up* hanya batang kendali *Safety*, meskipun pada tampilan memperlihatkan bahwa batang kendali *safety* dan *shim* telah naik *full up*. Pengujian pada display hanya mampu dilakukan selama 5 sampai 10 menit sebelum sistem mengalami *down* karena koneksi OPC *Server* yang terputus. Kenaikan daya dan neutron terlihat tidak halus (kenaikan bertangga), hal ini disebabkan karena pengiriman data yang mengalami *delay* selama 100 ms.

*User display* belum mampu menampilkan informasi yang akurat mengenai posisi batang kendali yang direpresentasikan dengan gambar bergerak. Namun demikian perhitungan daya dan fluks neutron sudah dapat teramat. Kendala terbesar yang menghalangi pengambilan data diakibatkan karena koneksi dari OPC *Server* yang sering terputus dan diharuskan mengganti alamat COM setiap kali sistem *software* mengalami *down*. Saat koneksi OPC *Server* menjadi *bad*, sistem *software* akan berhenti secara otomatis, namun demikian tidak mempengaruhi operasi batang kendali. Batang kendali tetap dapat berjalan dengan baik.



Gambar 4. 44 *User display* Simulator Reaktor Kartini

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dari proses pengujian dan pengamatan kinerja sistem secara keseluruhan serta mengacu pada tujuan tugas akhir simulator reaktor kartini berbasis PLC dengan actuator CRDM., maka dapat disimpulkan, telah berhasil dibuat suatu sistem simulator reaktor kartini berbais PLC dengan aktuator CRDM. Meskipun demikian sistem software masih mengalami sedikit masalah dengan tampilan, tetapi untuk keseluruhan sistem dapat berjalan dengan baik dan dapat mengirimkan data untuk diolah dan direpresentasikan dalam perubahan daya terhadap perubahan posisi batang kendali.

Perubahan daya yang dihasilkan dari simulator reaktor belum dapat divalidasi dengan hasil daya operasi reaktor Kartini. Namun demikian, simulasi sudah dapat merepresentasikan perubahan batang kendali menjadi perubahan daya. Untuk mencapai daya 100 kW dapat dilakukan dengan 3 cara pengaturan posisi, yaitu:

1. Batang kendali *safety* 100%, batang kendali *shim* 60%, dan batang kendali regulator 37.05%
2. Batang kendali *safety* 100%, batang kendali *shim* 65%, dan batang kendali regulator 29.50%
3. Batang kendali *safety* 100%, batang kendali *shim* 70%, dan batang kendali regulator 19.05%

## Saran

Pada penelitian yang telah dilakukan ini masih mengalami *system software down* dikarenakan koneksi *OPC Server* yang sering mengalami *Bad Connection*, ada baiknya untuk penelitian yang akan datang menggunakan koneksi TCP/IP untuk koneksi dengan *OPC Server* yang lebih baik. Hal ini dikarenakan LabVIEW tidak mendukung koneksi dengan menggunakan MPI *cable*.

Simulasi yang dibangun menggunakan LabVIEW ini hanya mempertimbangkan kinetika reaktor saja untuk melakukan perhitungan perubahan posisi batang kendali menjadi densitas neutron. Suhu bahan bakar, densitas pendingin, peracunan Xe dan parameter yang lain diabaikan, sehingga hasil simulasi belum dapat divalidasi dengan hasil operasi reaktor Kartini. Untuk kedepannya, diharapkan apabila ada yang melanjutkan penelitian penulis agar dapat menambahkan program reaktivitas *feedback* yang terdiri dari perhitungan efek suhu bahan bakar dan densitas pendingin.

## DAFTAR PUSTAKA

- ABIMANYU, A. & PRAJITNO 2016. *Sistem Isntrumentasi dan Kendali Reaktor Kartini*, Yogyakarta, PUSDIKLAT BATAN.
- AMORA, L. D. 2016. *PENGEMBANGAN SISTEM AKUISISI DATA PARAMETER PROSES REAKTOR KARTINI BERBASIS SIMULASI MENGGUNAKAN SUPER PLC T100MD-2424*. Bachelor Aplicant, STTN-BATAN.
- ANGLART, H. *Applied Nuclear Technology and Nuclear Power Safety*, KTH, Nuclear Reactor Technology Division Department of Energy Technology.
- BAKHRI, S., DESWANDRI & ABTOKHI, A. 2014. Pengembangan PLC Trainer Serbaguna Untuk Simulator Sistem Keselamatan dan Keandalan Reaktor. *Pengembangan Energi Nuklir*, 16, 33-42.
- BOCK, H. 2016. The TRIGA Mark-II Reactor.
- BOCK, H., VILLA, M. & BERGMANN, R. 2016. Five Decades of TRIGA Reactor. *25th International Conference Nuclear Energy for New Europe*. Potoroz, Slovenia.
- CAHYONO, A., HANDOYO, D., HANDONO, K. & P, S. T. 2012. Pemrograman Persamaan Kinetika Reaktor Titik dengan LabVIEW. *PRIMA*, 9, 8.
- CAMMI, A., ZANETTI, M., CHIESA, D., CLEMENTZA, M., POZZI, S., PREVITALI, E., SISTI, M., MAGROTTI, G., PRATA, M. & SALVINI, A. 2016. Characterization of the TRIGA Mark II Reactor Full-Power Steady State. *Nuclear Engineering and Design*, 300, 3008-321.
- HANDOYO, D., CAHYONO, A., HANDONO, K. & P, S. T. 2011. Rancang Bangun Perangkat Lunak Simulator Reaktor Nuklir. *Jurnal Perangkat Nuklir*, 05
- HANS-PETTER HALVORSEN, M. S. 2012. OPC and Real-Time Systems in LabVIEW. *Telemark University College*.
- HENRY, R., TISELJ, I. & SNOJ, L. 2015. Analysis of JSI TRIGA Mark II Reactor Physical Parameters Calculated with TRIPOLI MCNP. *Applied Radiation and Isotopes*, 97, 140-148.
- HONG, X. & JIANHUA, W. 2005. Using standard components in automation industry: A study on OPC Specification. *Institute of Electrical Engineering, Xi'an JiaoTong University*.
- IAEA 2008. *IAEA Nuclear Energy* Vienna, IAEA.
- INTERNATIONAL, F. T. D. 2010. *DB-9-USB-RS232 Module Male &Female Datasheet*, Glasgow, UK, FTDI Ltd.
- JUMARI, HIDAYAT, N., ABIMANYU, A. & MURSITI. Pembuatan Rangkaian Trip dan Perioda Kanal Daya Logaritmik Analog untuk SIK Reaktor Kartini. Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkar Nuklir, 26, September 2012 2012 Yogyakarta.
- KEMDIKBUD, K. P. D. K. R. I. 2016. KBBI Daring.
- KHANIFATUN. 2007. *Pemantauan Radioaktivitas Udara Ruang Reaktor Kartini*. Universitas Negeri Semarang.

- KNAPP, E. D. 2011. The Industrial Network Security, Securing Critical Infrastructure Networks for Smart grid, SCADA and Other Industrial Control System, First Edition.
- LEE, J. H. & KOO, G. H. 2013. Conceptual Design on Primary Control Rod Drive Mechanism of a Prototype Gen-IV SFR. *Transaction of the Korean Society Autumn Meeting*. Gyeongju, South Korea.
- MARSUDI & ROCHIM. 2007. Pemasangan Sistem Monitor Pada Sistem Bantu Reaktor Kartini.
- OPC-FOUNDATION 2002. *OPC Data Acces Custom Interface Specification*.
- PINTO, A. J., MESQUITA, A. Z. & LAMEIRAS, F. S. 2013. Operational Parameters Study of IPR-RI TRIGA Research Reactor Using Virtual Instruments. *22nd International COngres of Mechanical Engineering (COBEM 2013)*. Brazil.
- PRAMUDIJANTO, J. 2011. *Komponen Hardware Programmable Logic Controller*, ITS Surabaya, ITS.
- PURADWI, T. T., S. E., WIDARTO, SUTONDO, T., EDY, E., TRIJONO, E., PRAJITNO, SAHIFUL, U., NUGROHO, T. & MARSUDI 2012. Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Reaktor Kartini. In: SAMIN, P. D. & SW, I. G. (eds.). Yogyakarta: BATAN.
- RACHMAN, A. N. 2015. *Pengembangan Sistem Online Monitoring Parameter Proses RSG-GAS Berbasis OPC*. STTN-BATAN.
- RAVNIK, M. 1998. *Description of TRIGA Reactor* [Online]. Ljubljana, Slovenia: Jozef Stefan Institute. [Accessed 23 December 2016].
- REIS, P. A. L., COSTA, A. L., PEREIRA, C., VELOSO, M. A. F. & MESQUITA, A. Z. 2015. Simulation of TRIGA Reactor Core Blokage Using RELAP5 Code. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2015, 10.
- ROSYID, M., HIDAYAT, N. & JUMARI. Simulator Reaktor Kartini Sebagai Alat Peraga Operasi Reaktor Kartini Penelitian Tipe TRIGA Mark II. Seminar Nasional IX SDM Teknologi Nuklir, 2013 Yogyakarta.
- SETIJAWAN, H. S. 1994. *Sistem Start-Up dan Kendali Daya Otomatis Berbasis Mikrokomputer*. Universitas Gadjah Mada.
- SHULTIS, J. K. & FAW, R. E. 2002. Fundamentals of Nuclear Science and Engineering. Madison Avenue, New York: Marcel Dekker, Inc.
- SIEMENS 2013a. Simatic S7-300 Module Data (Manual Book). Nurnberg, Jerman: Siemens.
- SIEMENS 2013b. Simatic S7 Manuals and Guides. *Siemens Supply*.
- SUNTORO, A. Analisis Rangkaian Logik Interlock Kendali Daya Manual Reaktor Kartini. Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir, 2007. 21-22.
- SYARIP 2001. *Kinetika dan Pengendalian Reaktor Nuklir*, Yogyakarta, Badan Tenaga Nuklir NAsional (BATAN).
- WICAKSONO, H. 2012. *Hardware PLC*.

## Lampiran 1

### Koneksi PLC ke PC dengan menggunakan PCS Server

#### 1. Key Switch On

OPC Quick Client - Untitled \*

File Edit View Tools Help

Item ID	/	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
Siemens.S7.Down Reg		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Down Safety		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Down Shim		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Key Switch		Boolean	1	13:32:39.657	Good	2
Siemens.S7.LS Down Reg		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.LS Down Safety		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.LS Down Shim		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1

#### 2. Tombol Release On

OPC Quick Client - Untitled \*

File Edit View Tools Help

Item ID	/	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
Siemens.S7.M Shim Down		Boolean	0	13:32:25.733	Good	1
Siemens.S7.M Shim Up		Boolean	0	13:32:25.733	Good	1
Siemens.S7.Manual Scram Reg		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Manual Scram Safety		Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Potensio Reg		Word	32	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Potensio Safety		Word	32	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Potensio Shim		Word	32	13:32:25.516	Good	1
Siemens.S7.Release		Boolean	1	13:33:32.659	Good	2
Siemens.S7.Reset Trip		Boolean	0	13:32:25.662	Good	1
Siemens.S7.Trip HV CIC		Boolean	0	13:32:25.662	Good	1
Siemens.S7.Trip HV FC		Boolean	0	13:32:25.662	Good	1

### 3. Safety Up On

Siemens.S7	Siemens.S7.M Reg Up	Boolean	0	13:32:25.733	Good	1
	Siemens.S7.M Safety Down	Boolean	0	13:32:25.733	Good	1
	Siemens.S7.M Safety Up	Boolean	1	13:33:54.733	Good	2
	Siemens.S7.M Shim Down	Boolean	0	13:32:25.733	Good	1
	Siemens.S7.M Shim Up	Boolean	0	13:32:25.733	Good	1
	Siemens.S7.Manual Scram Reg	Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
	Siemens.S7.Manual Scram Safety	Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
	Siemens.S7.Manual Scram Shim	Boolean	0	13:32:25.516	Good	1
	Siemens.S7.Potensio Reg	Word	32	13:32:25.516	Good	1
	Siemens.S7.Potensio Safety	Word	32	13:32:25.516	Good	1
	Siemens.S7.Potensio Shim	Word	32	13:32:25.516	Good	1
	Siemens.S7.Release	Boolean	1	13:33:54.862	Good	4
	Siemens.S7.Reset Trip	Boolean	0	13:32:25.862	Good	1

### 4. Shim Up On

Siemens.S7	Siemens.S7.M Shim Up	Boolean	1	13:39:21.937	Good	1
	Siemens.S7.Manual Scram Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Manual Scram Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Manual Scram Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Potensio Reg	Word	32	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Potensio Safety	Word	32	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Potensio Shim	Word	32	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Release	Boolean	1	13:41:06.861	Good	2
	Siemens.S7.Reset Trip	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
	Siemens.S7.Trip HV CIC	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
	Siemens.S7.Trip HV FC	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
	Siemens.S7.Trip Level Sumber	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
	Siemens.S7.Up Reg	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
	Siemens.S7.Up Safety	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
	Siemens.S7.Up Shim	Boolean	1	13:41:08.863	Good	2

## 5. Regulator Up On

Siemens.S7	Siemens.S7.M Reg Down	Boolean	0	13:39:21.937	Good	1
	Siemens.S7.M Reg Up	Boolean	1	13:41:40.927	Good	2
	Siemens.S7.M Safety Down	Boolean	0	13:39:21.937	Good	1
	Siemens.S7.M Safety Up	Boolean	0	13:39:21.937	Good	1
	Siemens.S7.M Shin Down	Boolean	0	13:39:21.937	Good	1
	Siemens.S7.M Shin Up	Boolean	0	13:41:26.942	Good	3
	Siemens.S7.Manual Scram Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Manual Scram Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Manual Scram Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Potensio Reg	Word	32	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Potensio Safety	Word	32	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Potensio Shim	Word	32	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Release	Boolean	1	13:41:39.858	Good	4
	Siemens.S7.Reset Trip	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
	Siemens.S7.Trip HV CIC	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
	Siemens.S7.Trip HV FC	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
	Siemens.S7.Trip Level Sumber	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
	Siemens.S7.Up Req	Boolean	1	13:41:40.866	Good	2

## 6. Safety Down On

Siemens.S7	Siemens.S7.Down Req	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Down Safety	Boolean	1	13:42:08.866	Good	2
	Siemens.S7.Down Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.Key Switch	Boolean	1	13:40:45.848	Good	2
	Siemens.S7.LS Down Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.LS Down Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.LS Down Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.LS Rod Down Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.LS Rod Down Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.LS Rod Down Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.LS Up Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.LS Up Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.LS Up Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
	Siemens.S7.M Reg Down	Boolean	0	13:39:21.937	Good	1
	Siemens.S7.M Reg Up	Boolean	0	13:41:50.931	Good	3
	Siemens.S7.M Safety Down	Boolean	1	13:42:08.937	Good	2
	Siemens.S7.M Safety Up	Boolean	0	13:39:21.937	Good	1

## 7. SHIM Down On

Channel1..Statistics	Siemens.S7.Down Safety	Boolean	0	13:42:16.860	Good	3
Channel1..System	Siemens.S7.Down Shim	Boolean	1	13:42:24.869	Good	2
Channel1.Device1	Siemens.S7.Key Switch	Boolean	1	13:40:45.848	Good	2
Channel1.Device1..System	Siemens.S7.LS Down Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..Statistics	Siemens.S7.LS Down Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..System	Siemens.S7.LS Down Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..16 Bit Device..Sy	Siemens.S7.LS Rod Down Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..16 Bit Device.K R	Siemens.S7.LS Rod Down Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..16 Bit Device.R R	Siemens.S7.LS Rod Down Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..16 Bit Device.S R	Siemens.S7.LS Up Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..8 Bit Device..Syst	Siemens.S7.LS Up Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..8 Bit Device.K Re	Siemens.S7.LS Up Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..8 Bit Device.R Re	Siemens.S7.M Reg Down	Boolean	0	13:39:21.937	Good	1
Data Type Examples..8 Bit Device.S Re	Siemens.S7.M Reg Up	Boolean	0	13:41:50.931	Good	3
Siemens..Statistics	Siemens.S7.M Safety Down	Boolean	0	13:42:16.932	Good	3
Siemens..System	Siemens.S7.M Safety Up	Boolean	0	13:39:21.937	Good	1
Siemens.S7	Siemens.S7.M Shim Down	Boolean	1	13:42:23.930	Good	2
	Siemens.S7.M Shim Up	Boolean	0	13:41:26.942	Good	3

## 8. Regulator Down On

_System	Siemens.S7.Down Req	Boolean	1	13:42:40.862	Good	2
Channel1..Statistics	Siemens.S7.Down Safety	Boolean	0	13:42:16.860	Good	3
Channel1..System	Siemens.S7.Down Shim	Boolean	0	13:42:32.867	Good	3
Channel1.Device1	Siemens.S7.Key Switch	Boolean	1	13:40:45.848	Good	2
Channel1.Device1..System	Siemens.S7.LS Down Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..Statistics	Siemens.S7.LS Down Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..System	Siemens.S7.LS Down Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..16 Bit Device..Sy	Siemens.S7.LS Rod Down Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..16 Bit Device.K R	Siemens.S7.LS Rod Down Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..16 Bit Device.R R	Siemens.S7.LS Rod Down Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..16 Bit Device.S R	Siemens.S7.LS Up Reg	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..8 Bit Device..Syst	Siemens.S7.LS Up Safety	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..8 Bit Device.K Re	Siemens.S7.LS Up Shim	Boolean	0	13:39:21.711	Good	1
Data Type Examples..8 Bit Device.R Re	Siemens.S7.M Reg Down	Boolean	1	13:42:40.934	Good	2
Data Type Examples..8 Bit Device.S Re	Siemens.S7.M Reg Up	Boolean	0	13:41:50.931	Good	3
	Siemens.S7.M Safety Down	Boolean	0	13:42:16.932	Good	3

## 9. Scram Safety On

Siemens._System	Siemens.S7	Siemens.S7.Statistics	Siemens.S7._System	Simulation Examples._Statistics	Simulation Examples._System	Simulation Examples.Functions	Simulation Examples.Functions._System
				Siemens.S7.M Shim Up	Boolean	0	13:42:32.937
				Siemens.S7.M Shim Down	Boolean	0	13:41:26.942
				Siemens.S7.Manual Scram Reg	Boolean	0	13:39:21.711
				Siemens.S7.Manual Scram Safety	Boolean	1	13:42:57.864
				Siemens.S7.Manual Scram Shim	Boolean	0	13:39:21.711
				Siemens.S7.Potensio Reg	Word	32	13:39:21.711
				Siemens.S7.Potensio Safety	Word	32	13:39:21.711
				Siemens.S7.Potensio Shim	Word	32	13:39:21.711

## 10. Scram SHIM On

Siemens._System	Siemens.S7	Siemens.S7.Statistics	Siemens.S7._System	Simulation Examples._Statistics	Simulation Examples._System	Simulation Examples.Functions	Simulation Examples.Functions._System
				Siemens.S7.M Shim Up	Boolean	0	13:41:26.942
				Siemens.S7.Manual Scram Reg	Boolean	0	13:39:21.711
				Siemens.S7.Manual Scram Safety	Boolean	0	13:43:10.866
				Siemens.S7.Manual Scram Shim	Boolean	1	13:43:46.861
				Siemens.S7.Potensio Reg	Word	32	13:39:21.711
				Siemens.S7.Potensio Safety	Word	32	13:39:21.711
				Siemens.S7.Potensio Shim	Word	32	13:39:21.711

## 11. Scram Regulator On

Siemens._System	Siemens.S7	Siemens.S7.Statistics	Siemens.S7._System	Simulation Examples._Statistics	Simulation Examples._System	Simulation Examples.Functions	Simulation Examples.Functions._System
				Siemens.S7.M Shim Up	Boolean	0	13:39:21.857
				Siemens.S7.M Shim Down	Boolean	0	13:42:32.937
				Siemens.S7.Manual Scram Reg	Boolean	1	13:41:26.942
				Siemens.S7.Manual Scram Safety	Boolean	1	13:44:14.858
				Siemens.S7.Manual Scram Shim	Boolean	0	13:43:10.866
				Siemens.S7.Potensio Reg	Word	32	13:39:21.711
				Siemens.S7.Potensio Safety	Word	32	13:39:21.711
				Siemens.S7.Potensio Shim	Word	32	13:39:21.711

## 12. Trip HV CIC

Siemens._System	Siemens.S7	Siemens.S7.Statistics	Siemens.S7._System	Simulation Examples._Statistics	Simulation Examples._System	Simulation Examples.Functions	Simulation Examples.Functions._System
				Siemens.S7.Release	Boolean	0	13:42:49.864
				Siemens.S7.Reset Trip	Boolean	0	13:39:21.865
				Siemens.S7.Trip HV CIC	Boolean	1	13:44:35.866
				Siemens.S7.Trip HV FC	Boolean	0	13:39:21.865
				Siemens.S7.Trip Level Sumber	Boolean	0	13:39:21.865

### 13. Trip FC

Siemens.S7.Trip HV CIC	Boolean	0	13:44:46.862	Good	5
Siemens.S7.Trip HV FC	Boolean	1	13:44:51.859	Good	2
Siemens.S7.Trip Level Sumber	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
Siemens.S7.Up Reg	Boolean	0	13:41:50.860	Good	3
Siemens.S7.Up Safety	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1

### 14. Trip Level Sumber

Siemens.S7.Trip HV CIC	Boolean	0	13:44:46.862	Good	5
Siemens.S7.Trip HV FC	Boolean	0	13:45:00.871	Good	3
Siemens.S7.Trip Level Sumber	Boolean	1	13:45:14.864	Good	2
Siemens.S7.Up Reg	Boolean	0	13:41:50.860	Good	3
Siemens.S7.Up Safety	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
Siemens.S7.Up Shim	Boolean	0	13:41:26.870	Good	3

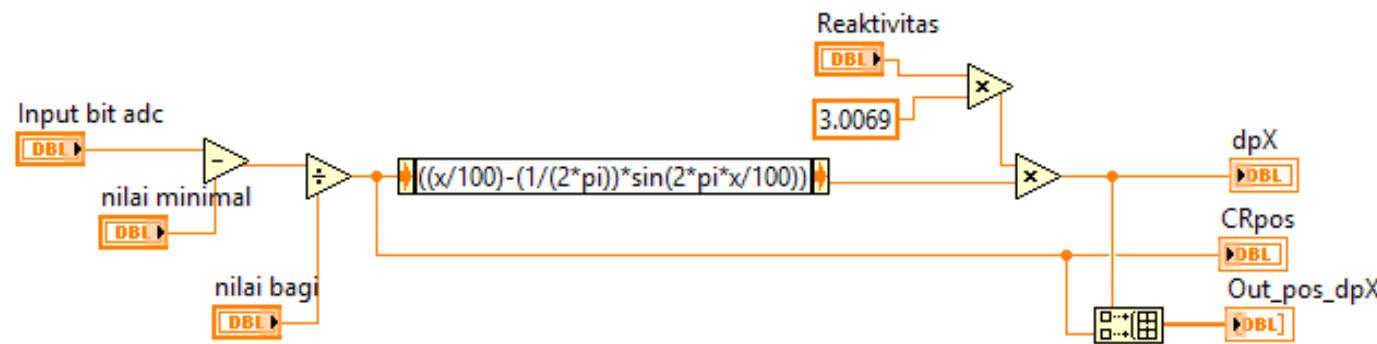
### 15. Reset Trip

Siemens.S7.Potensio Shim	Word	32	13:39:21.711	Good	1
Siemens.S7.Release	Boolean	0	13:42:49.864	Good	11
Siemens.S7.Reset Trip	Boolean	1	13:45:41.862	Good	2
Siemens.S7.Trip HV CIC	Boolean	0	13:44:46.862	Good	5
Siemens.S7.Trip HV FC	Boolean	0	13:45:00.871	Good	3
Siemens.S7.Trip Level Sumber	Boolean	0	13:45:42.863	Good	5
Siemens.S7.Up Reg	Boolean	0	13:41:50.860	Good	3
Siemens.S7.Up Safety	Boolean	0	13:39:21.865	Good	1
Siemens.S7.Up Shim	Boolean	0	13:41:26.870	Good	3

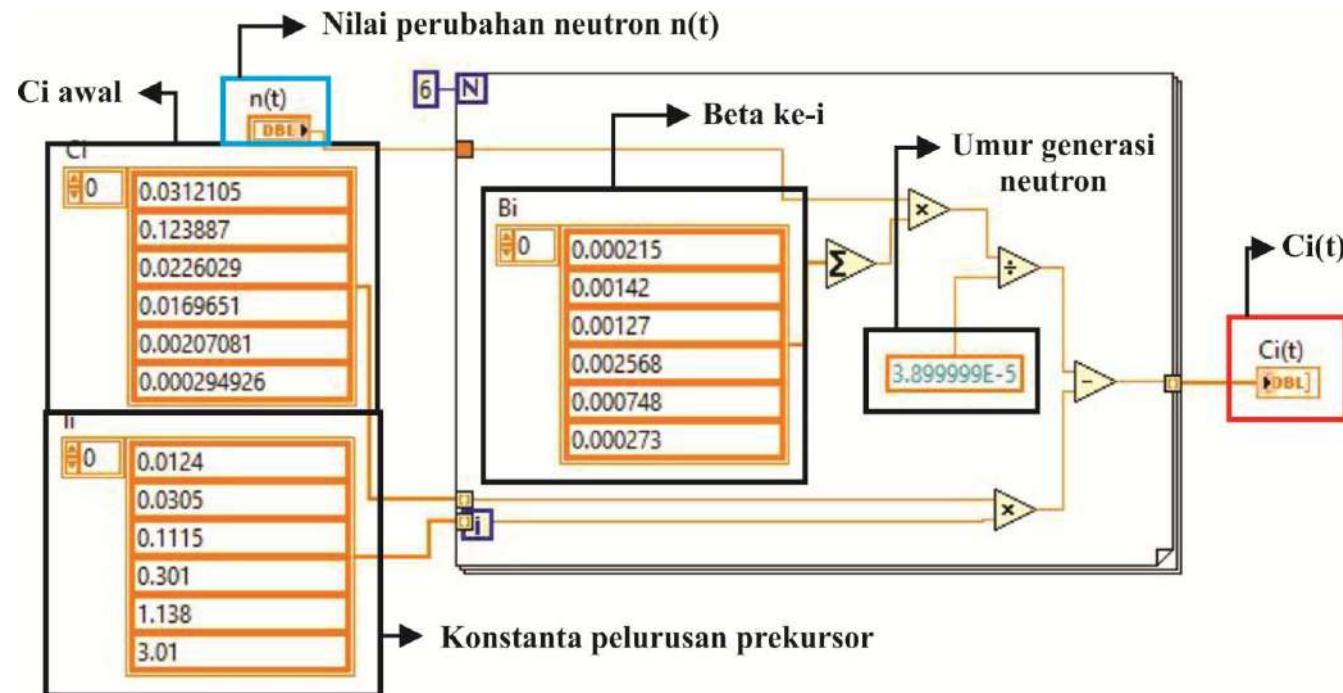
## Lampiran 2

### *Listing Program LabVIEW*

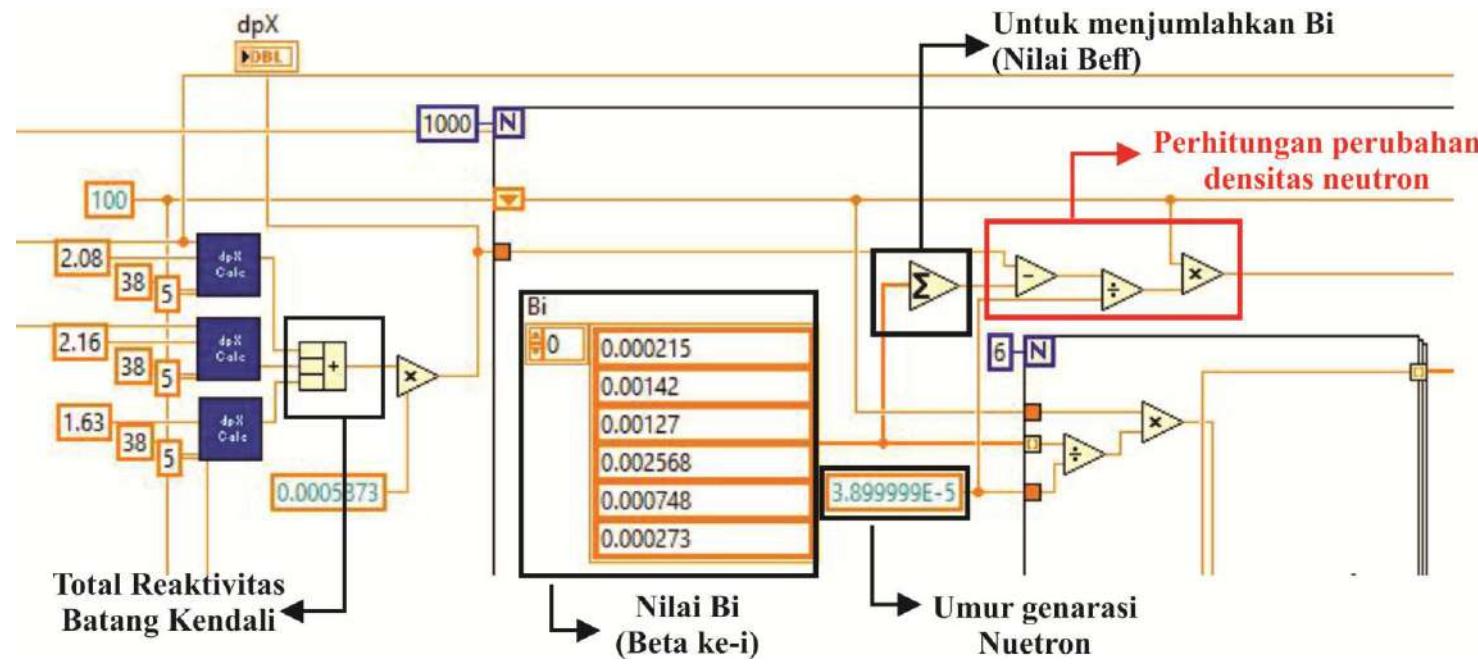
#### 1. Koversi Bit ADC ke Posisi



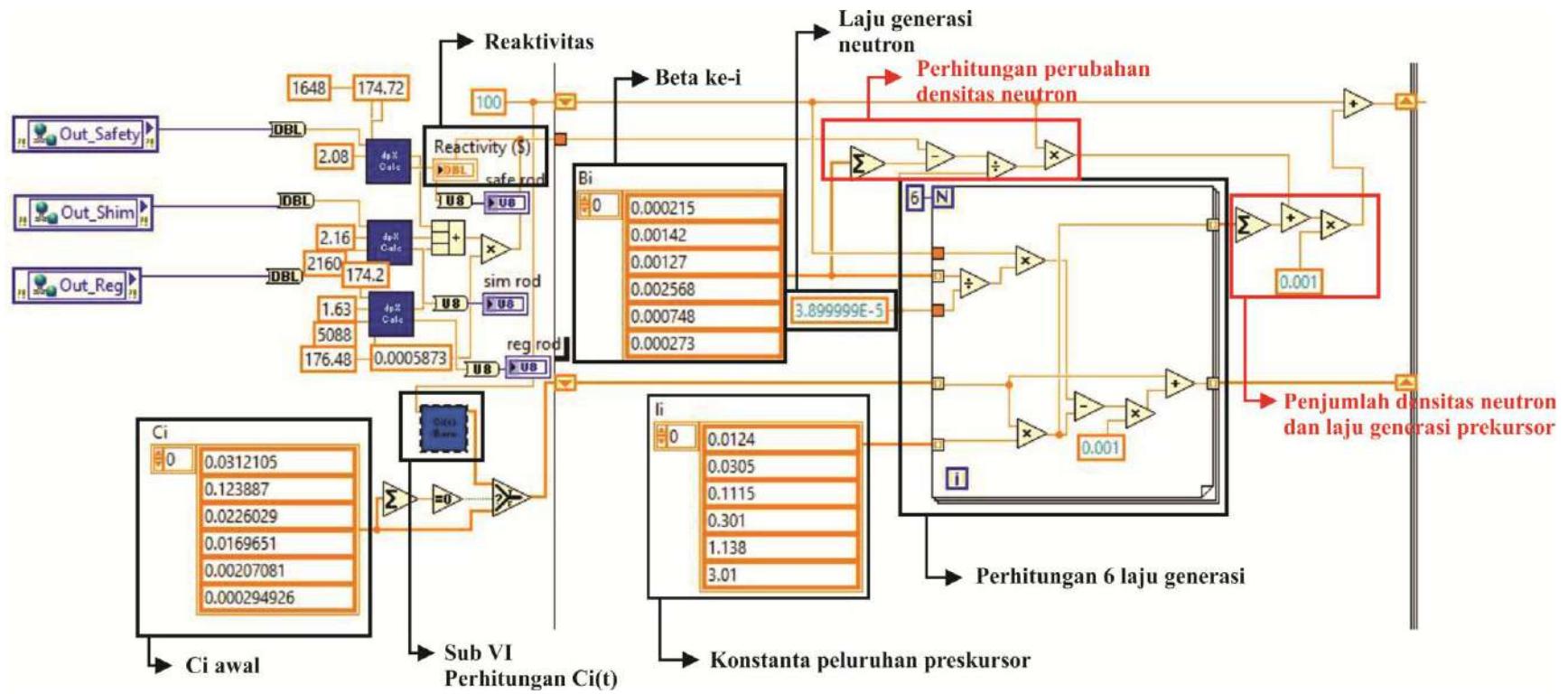
2. Perhitungan nilai  $C_i$



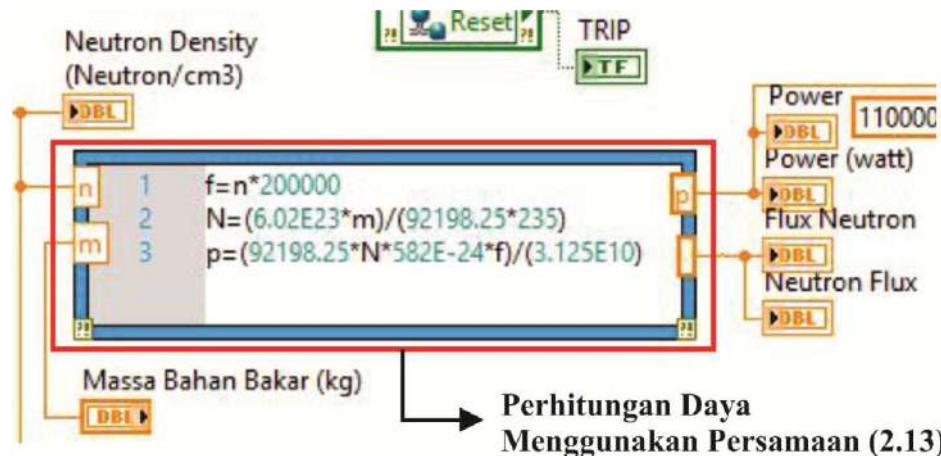
### 3. Perhitungan Perubahan Densitas Neutron $n(t)$



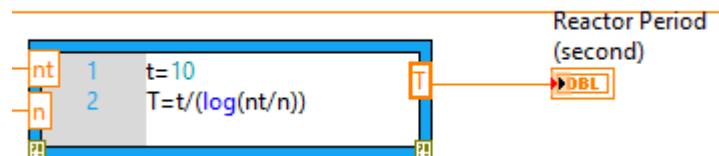
#### 4. Perhitungan Nilai Densitas Neutron



## 5. Perhitungan Flux Neutron

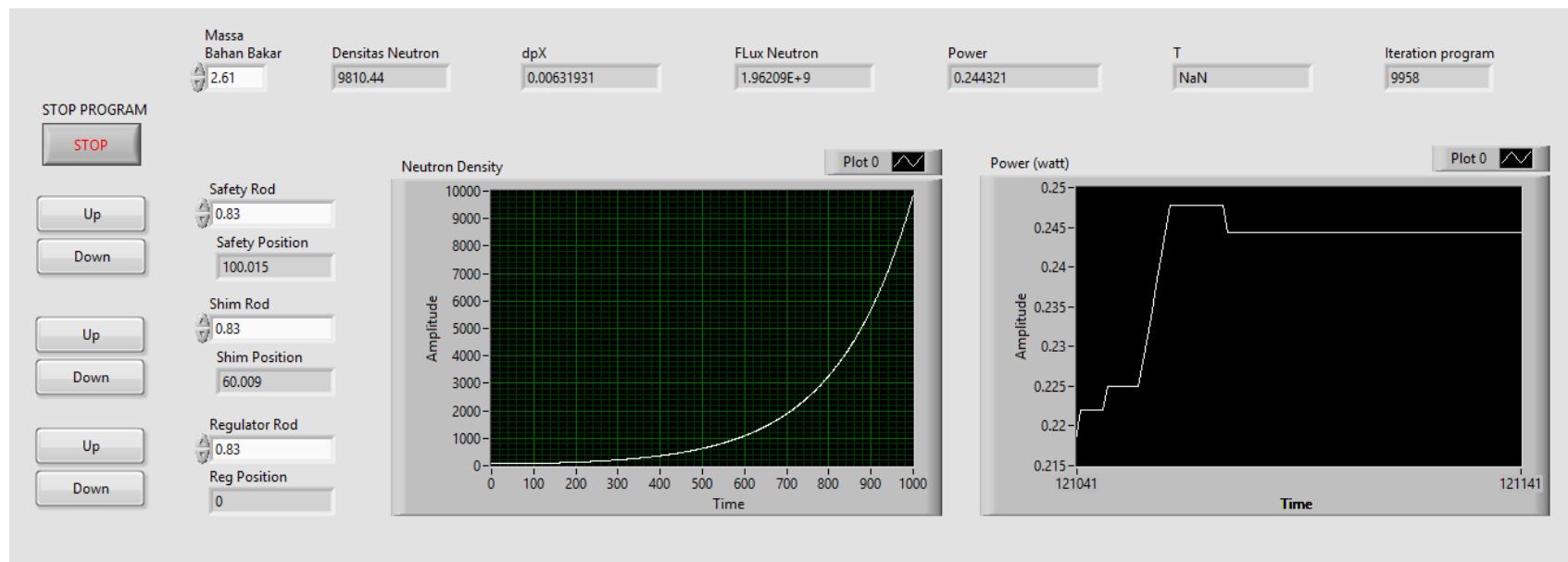


## 6. Perhitungan Periode

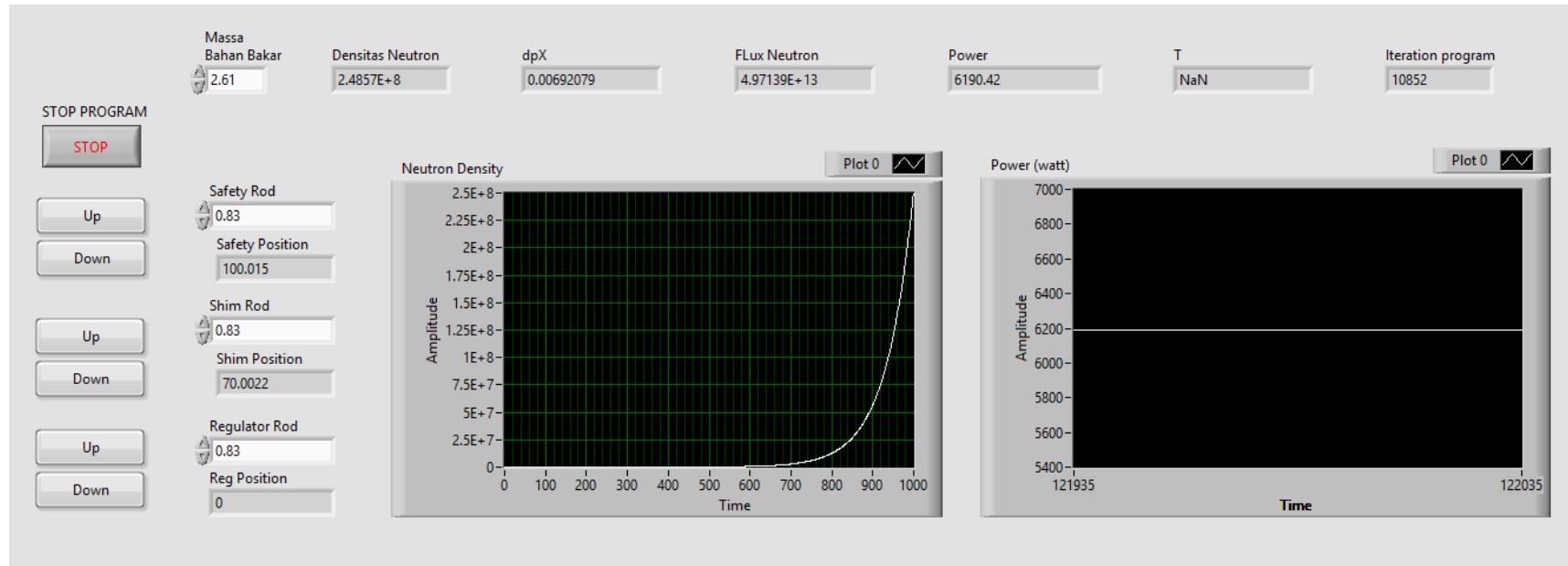


### Lampiran 3

1. Running program dengan posisi Safety 100% dan Shim 60%



## 2. Running program dengan Posisi Safety 100% dan Shim 70%



## Lampiran 4

Hasil *read Analog input* pada *OPC Server*

Path	Name	Type	Value	Last Update	Status	Count
Siemens.S7_Statistics	Siemens.S7.Potensio Reg	Word	5184	14:14:50.287	Good	5
Siemens.S7_System	Siemens.S7.Potensio Safety	Word	2096	14:15:16.281	Good	13
Simulation Examples_Statistics	Siemens.S7.Potensio Shim	Word	2176	14:14:50.287	Good	4
Siemens.S7_Statistics	Siemens.S7.Potensio Reg	Word	5488	14:15:29.289	Good	11
Siemens.S7_System	Siemens.S7.Potensio Safety	Word	3136	14:15:31.291	Good	25
Simulation Examples_Statistics	Siemens.S7.Potensio Shim	Word	2528	14:15:31.291	Good	16



