

RANCANGAN PERANGKAT SISTEM PANCUNG (SCRAM) REAKTOR TRIGA-2000 BAHAN BAKAR TIPE PELAT PSTNT-BATAN BANDUNG

Eko Priyono dan Saminto

Pusat Sains Dan Teknologi Akselerator

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta 55281

eko_priyono@batan.go.id

ABSTRAK

RANCANGAN PERANGKAT SISTEM PANCUNG BATANG TRIGA-2000 BAHAN BAKAR TIPE PELAT PSTNT-BATAN BANDUNG. Telah dilakukan kegiatan rancangan perangkat sistem pancung reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung. Perangkat ini berfungsi untuk mengamankan operasi reaktor dengan cara batang kendali jatuh bebas ke dalam teras reaktor secara otomatis akibat arus listrik pada rangkaian magnet pemegang batang kendali terputus/hilang. Kondisi pancung batang kendali dapat terjadi karena adanya tombol pancung batang kendali yang ditekan atau terdapat parameter keselamatan operasi reaktor berada diluar jangkau nilai batas keselamatan yang telah ditentukan. Perangkat ini dirancang dalam dua bentuk modul yang dapat dipilih operasionalnya yaitu modul berbasis PLC dan modul berbasis IC-TTL. Untuk modul berbasis PLC berupa perangkat elektronik PLC Fx-2424 ver.1 yang dilengkapi dengan susunan rangkaian program yang dibuat menggunakan bahasa ladder, sedangkan untuk modul berbasis IC-TTL berupa susunan rangkaian komponen elektronik berupa IC TTL jenis CMOS. Uji coba unjuk kerja perangkat hasil rancangan dilakukan secara simulasi menggunakan komputer yaitu dengan paket program TRILOGI untuk program ladder dan paket program PROTEUS-8 untuk rangkaian IC TTL. Hasil uji coba menunjukkan bahwa unjuk kerja perangkat sistem pancung batang kendali hasil rancangan telah sesuai dengan persyaratan dan kriteria keselamatan yang telah ditentukan sehingga hasil rancangan ini dapat dijadikan sebagai bahan acuan dalam pembuatan prototip sistem pancung reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung.

Kata kunci : pancung, Triga-2000, bahan bakar tipe pelat

ABSTRACT

DESIGN OF SCRAM SYSTEM FOR PLATE TYPE FUELS TRIGA-2000 REACTOR PSTNT-BATAN BANDUNG. The scram system for plate type fuels Triga-2000 reactor PSTNT-BATAN Bandung has been designed. This device is used for operation safety system by control rod falling down automatically which is caused by loss or cut of current magnet of control rod holder. The scram condition can be occurred by pressing scram button or there are any reactor safety operation parameters value out of safety range were determined. The device was designed in two optionally operation models i.e. reactor scram system PLC based and IC TTL electronic components based. The PLC based module was designed using Fx 2424 ver.1 PLC module and equipped with structure program in ladder language where as IC TTL based modul was designed by electronic componen as IC TTL CMOS type. The performance test of the device design result has been done by simulation on computer with TRILOGI software for PLC module and PROTEUS-8 for IC TTL module. The performance test shows that the plate type reactor Triga-2000 scram device system has been designed runs well as the rule and criteria has been determined so this design is ready to be appllied as reference for constructing of prototype of scram system for plate type fuel Triga-2000 reactor PSTNT-BATAN Bandung

Keywords : scram, Triga-2000, plate type fuels

PENDAHULUAN

Reaktor TRIGA-2000 PSTNT-BATAN Bandung merupakan fasilitas yang sangat diperlukan dalam penelitian di bidang nuklir. Sampai saat ini Reaktor TRIGA-2000 PSTNT-BATAN Bandung masih memiliki nilai strategis dan ekonomis, yaitu dapat untuk memback-up produksi radioisotop dan sebagai instalasi penting untuk penelitian dan pendidikan nuklir di Indonesia[1]. Operasi reaktor TRIGA tersebut sebagian besar sangat bergantung pada pasokan bahan bakar dari

General Atomic (GA) USA, padahal saat ini GA sebagai pemasok bahan bakar standar reaktor TRIGA tidak memproduksi lagi bahan bakar reaktor TRIGA tersebut. Sementara di sisi lain BATAN Serpong telah dapat membuat sendiri bahan bakar tipe pelat yang telah digunakan untuk reaktor serba guna (RSG-30) BATAN Serpong. Ini membuktikan adanya penguasaan teknologi bahan bakar oleh BATAN. Agar reaktor TRIGA-2000 dapat dioperasikan dalam jangka waktu yang lama dan tidak bergantung pada bahan bakar TRIGA buatan

General Atomic, maka PSTNT-BATAN Bandung merencanakan untuk mengkonversi reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe silinder buatan General Atomic ke bahan bakar tipe pelat buatan BATAN[1,9]. Untuk itu telah dibentuk tim yang bertugas untuk mengkaji dan menganalisa kegiatan tersebut dari segi/aspek neutronik, termohidrolik, perisai radiasi, keselamatan, dan instrumentasi.

Tim sistem instrumentasi dan kendali merupakan salah satu tim yang bertugas melaksanakan kegiatan perancangan SIK reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat. Kegiatan tersebut dilaksanakan dalam beberapa tahapan kegiatan yaitu tahap pertama kegiatan ini adalah kajian SIK yang digunakan untuk sistem operasi reaktor yang dimiliki oleh BATAN yaitu reaktor TRIGA-2000 BATAN Bandung, reaktor Kartini BATAN Yogyakarta dan reaktor Serba Guna (RSG) BATAN Serpong yang telah dilakukan pada tahun 2015 dengan sasaran berupa dokumen hasil kajian. Tahap kedua adalah pembuatan konsep rancangan SIK reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat yang dilaksanakan pada tahun 2016 dengan sasaran berupa dokumen konsep rancangan SIK reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat. Tahap ketiga adalah pembuatan rancangan detil SIK reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat yang dilaksanakan pada tahun 2017 dengan sasaran dokumen rancangan detil SIK reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat.

Rancangan sistem pancung reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung yang merupakan salah satu bagian dari sistem instrumentasi dan kendali (SIK) reaktor berfungsi untuk mengamankan operasi reaktor dengan cara batang kendali jatuh bebas ke dalam teras reaktor secara otomatis akibat arus listrik pada rangkaian magnet pemegang batang kendali terputus/hilang. Kondisi pancung batang kendali dapat terjadi karena adanya tombol pancung batang kendali yang ditekan atau terdapat parameter keselamatan operasi reaktor berada diluar jangkauan nilai batas keselamatan yang telah ditentukan. Sistem pancung reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat tidak jauh berbeda dengan sistem proteksi yang ada saat ini. Perbedaannya terletak pada parameter keselamatan dan modul elektronik sistem pancung reaktor. Untuk itu maka perlu dibuat perangkat sistem pancung yang disesuaikan dengan parameter dan modul elektronik yang akan digunakan. Sebelum perangkat tersebut dibuat, maka perlu dilakukan kegiatan perancangan perangkat sistem pancung dengan sasaran dalam bentuk dokumen yang dapat dijadikan sebagai bahan acuan/referensi pada kegiatan pembuatan prototip reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung.

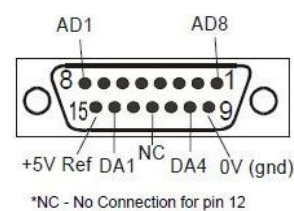
TEORI DASAR

Programmable Logic Controllers (PLC) adalah sebuah rangkaian elektronik yang dapat mengerjakan berbagai fungsi kontrol pada level-level yang kompleks. PLC dapat diprogram, dikontrol dan dioperasikan oleh operator yang tidak berpengalaman dalam mengoperasikan komputer. PLC umumnya digambarkan dengan garis dan peralatan pada suatu diagram *ladder*.

Hasil gambar tersebut pada komputer menggambarkan hubungan yang diperlukan untuk suatu proses.

PLC dirancang untuk menggantikan sistem kontrol elektrik berbasis relay. Ide utamanya adalah untuk mensubstitusi relay yang digunakan untuk mengimplementasikan logika kontrol. PLC memiliki bahasa pemrograman yang mudah dipahami dan dapat dioperasikan bila program yang telah dibuat menggunakan software yang sesuai dengan jenis PLC yang digunakan dan telah ter-install. Alat ini bekerja berdasarkan input-input yang ada dan tergantung dari keadaan pada waktu tertentu yang kemudian akan mengaktifkan atau menonaktifkan output-output. Nilai high (1) menunjukkan bahwa keadaan yang diharapkan terpenuhi sedangkan nilai low (0) menunjukkan keadaan yang diharapkan tidak terpenuhi. Keunggulan PLC dibandingkan dengan sistem konvensional antara lain adalah[2,10] :

- Relatif mudah untuk melakukan perubahan pada kontrol yang akan diterapkan karena logika kontrol yang digunakan diwujudkan dalam bentuk perangkat lunak (*software*)
- Jumlah relay yang digunakan dapat dikurangi hingga tinggal seperlimanya
- Lebih mudah untuk menginstalasinya karena pengkabelannya lebih sederhana
- Lebih mudah untuk menemukan kesalahan dan kerusakan karena PLC memiliki fasilitas self-diagnosis
- Biaya yang diperlukan lebih kecil baik dari segi biaya pengadaan maupun pemeliharaan
- Tahan bekerja secara terus menerus dalam segala kondisi lingkungan kerja seperti suhu tinggi, tekanan tinggi kelembaban tinggi atau lingkungan beracun.



Gambar 1. Konektor DB-15 Analog Port PLC Fx-2424

Tabel 1. Konfigurasi Pin DB-15 PLC Fx2424

Signal	Pin
A/D #1	8
A/D #2	7
A/D #3	6
A/D #4	5
A/D #5	4
A/D #6	3
A/D #7	2
A/D #8	1
D/A #1	14
D/A #2	13
D/A #3	11
D/A #4	10
Analog Ref.AVcc	15
Analog ground AVss	9

PLC Fx2424 merupakan salah satu jenis PLC produksi *Triangle research international*. Brain board yang digunakan pada PLC FX2424 adalah smart TILE (TRI Integrated Logic Engine) yang memiliki performa tinggi dan memiliki berbagai fitur kontrol cukup banyak. PLC FX2424 memiliki 24 digital input, 24 digital output, 8 analog input (12 bit, 0-5VDC), 4 analog output (10 bit, 0-5 VDC) masing-masing dapat mencapai arus puncak 8A dan arus continue 4A, Tegangan 24VDC dari beban dapat mengendalikan 3 motor stepper kecil secara langsung tanpa menggunakan penggerak motor (driver). Saluran input dan output ADC pada PLC disediakan melalui konektor DB15 di tepi kiri PLC Fx2424. PLC FX2424 juga mencatu tegangan output referensi +5V analog dan ground analog pada konektor DB15 betina, seperti yang di tunjukkan pada Gambar-1 dan Tabel-1.

Tabel 2. Konfigurasi special input PLC Fx2424[3]

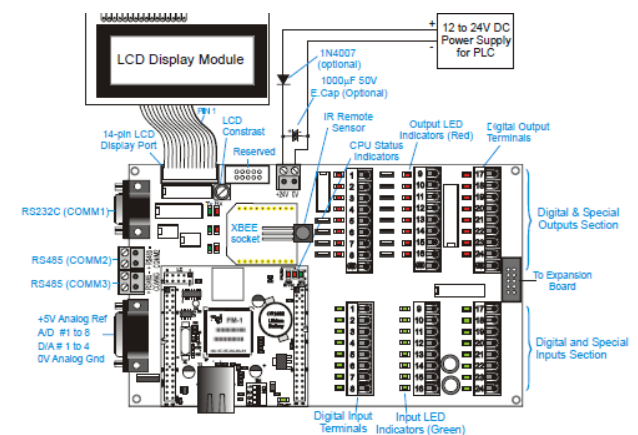
Input	High Speed Counter	Interrupt	Pulse Measurement
1	Ch #1: Phase A	Ch #1	Ch #1
2	Ch #1: Phase B	Ch #2	Ch #2
3	Ch #2: Phase A	Ch #3	Ch #3
4	Ch #2: Phase B	Ch #4	Ch #4
5	Ch #3: Phase A	Ch #5	Ch #5
6	Ch #3: Phase B	Ch #6	Ch #6
7			
8			
9		Ch #9	
10		Ch #10	
11		Ch #11	
12		Ch #12	

Tabel 3. Konfigurasi special output PLC Fx2424[3]

Output	Stepper Pulse	Stepper Driver Output	PWM output
1			
2			
3			
4			
5	Ch #1 Direction	Ch #1 A phase	Ch #1
6	Ch #1 Pulse	Ch #1 A' Phase	Ch #2
7		Ch #1 B phase	Ch #3
8		Ch #1 B' phase	Ch #4
9	Ch #2 Direction	Ch #2 A phase	
10	Ch #2 Pulse	Ch #2 A' Phase	
11		Ch #2 B phase	
12		Ch #2 B' phase	
13	Ch #3 Direction	Ch #3 A phase	
14	Ch #3 Pulse	Ch #3 A' Phase	
15		Ch #3 B phase	
16		Ch #3 B' phase	

Selain itu 6 input digital dapat digunakan untuk *decoding* dan pengukuran pulsa yang diterima dari 3 digital encoder, yang dapat memungkinkan untuk mengukur posisi dan kecepatan objek yang bergerak secara real time, serta 10 digital input dapat didefinisikan sebagai interrupt input, yang memungkinkan kejadian dapat cepat ditangani dalam waktu singkat dan tidak dibatasi oleh waktu pemindaian program. Pada saluran output PLC, 12 dari 16 digital output dapat dikonfigurasi sebagai PWM, atau stepper motor controller. Input dan output tersebut disebut dengan special I/O, keterangan dari special I/O dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Dalam memprogram PLC ini digunakan software *Trilogi ladder* dan basic yang dirancang oleh triangle research sehingga pemrograman PLC Fx2424 lebih mudah dibandingkan dengan pemrograman standar logika [3]. Berikut adalah diagram modul PLC Fx2424 seperti yang disajikan pada Gambar 2



Gambar 2. Diagram modul PLC Fx2424[3]

TATA KERJA

Untuk membuat rancangan sistem pancung batang kendali reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tiper pelat agar dapat diterima oleh semua pihak baik pengguna (user), perancang (designer) maupun pemangku kepentingan (stage holder), dilakukan dalam beberapa tahapan kegiatan yaitu : koordinasi, identifikasi, studi referensi, perancangan, pengujian dan verifikasi.

Tahap Koordinasi

Koordinasi merupakan tahap awal kegiatan pembuatan rancangan sistem pancung batang kendali reaktor yang bertujuan untuk mencari masukan, menyamakan persepsi, pandangan dan gambaran antara pengguna, perancang dan pemangku kepentingan tentang sistem pancung batang kendali reaktor yang diinginkan. Pada kegiatan ini didiskusikan tentang kriteria, proses dan mekanisme sistem pancung batang kendali reaktor.

Tahap Identifikasi

Kegiatan pada tahap ini yang dilakukan adalah meninjau atau cek lapangan yang berhubungan bentuk fisik, fitur dan asesoris batang kendali reaktor yang akan dipergunakan.

Studi Referensi

Studi referensi merupakan kegiatan kajian dari dokumen, buku dan makalah yang berhubungan dengan kriteria, proses dan mekanisme sistem pancung batang kendali reaktor nuklir baik reaktor riset maupun reaktor daya yang ditinjau dari aspek keselamatan operasi reaktor nuklir.

Tahap Perancangan

Tahap perancangan dilaksanakan setelah koordinasi, proses identifikasi dan studi referensi selesai dilaksanakan. Pada tahap ini telah diketahui gambaran tentang kriteria, proses dan mekanisme sistem pancung batang kendali serta bentuk, jumlah dan asesoris batang kendali reaktor yang akan dipergunakan. Pada tahap ini dilakukan dengan cara membuat sistem pancung reaktor dalam bentuk skema rangkaian menggunakan paket program PROTEOUS-8 dan dalam bentuk susunan rangkaian program dalam bahasa ladder

Tahap Pengujian

Tahap pengujian dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja hasil rancangan perangkat sistem pancung yang telah dibuat. Pengujian dilakukan secara simulasi menggunakan paket program TRILOGY untuk program ladder dan paket program PROTEOUS-8 untuk rangkaian IC TTL

Tahap Verifikasi

Tahap verifikasi merupakan bagian kegiatan dari koordinasi setelah program sistem pancung batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat dibuat dan diuji. Kegiatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil rancangan perangkat sistem pancung yang telah dibuat sesuai dengan persyaratan operasi batang kendali yang telah ditentukan serta dapat diterima dan disetujui oleh semua pihak baik oleh tim perancang, pengguna dan pemangku kepentingan. Pada tahap ini juga masih memungkinkan adanya perubahan dan penyempurnaan pada hasil rancangan yang telah dibuat tersebut berdasarkan masukan atau saran dari tim verifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlindungan utama terhadap reaktor, baik dalam keadaan operasi normal maupun pada saat terjadi kecelakaan diberikan melalui penggunaan batang kendali. Dalam perencanaannya, reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat mempunyai empat buah batang kendali yang terbuat dari bahan Ag-In-Cd. Keempat buah batang kendali tersebut menjamin reaktor akan berada dalam keadaan subkritik, apabila paling sedikit 3 batang kendali sepenuhnya berada di dalam teras reaktor. Batang-batang kendali tersebut dipegang oleh magnet yang berada di dalam sistem penggerak batang kendali (Control Rod Drive Mechanism, CRDM). Sistem pancung merupakan sistem yang berfungsi untuk mengamankan reaktor dengan cara batang kendali jatuh bebas ke dalam teras reaktor secara otomatis akibat gravitasi apabila arus listrik pada rangkaian magnet pemegang batang kendali terputus. Pada rancangan

sistem proteksi reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat, sistem pancung dihubungkan dengan seluruh kanal keselamatan secara langsung (hardwired), yang sama sekali tidak bergantung/tidak berada di bawah pengaruh sistem komputer. Masing-masing kanal keselamatan dapat mengaktifkan rangkaian ini secara sendiri-sendiri maupun bersamaan. Demikian pula sistem komputer dapat mengaktifkan rangkaian pancung ini. Pada saat reaktor berada dalam keadaan terpancung (scram), kondisi ini akan tetap bertahan selama operator belum menekan tombol ACKNOWLEDGE yang berada di atas panel kendali. Kondisi scram dapat dilakukan secara manual oleh operator reaktor maupun secara otomatis apabila terdapat parameter keselamatan operasi reaktor berada diluar batas nilai aman yang telah ditentukan. Untuk kondisi scram secara manual dilakukan oleh operator reaktor dengan menekan tombol SCRAM yang terdapat pada panel kendali. Kondisi scram dapat dilakukan secara individu dengan menekan tombol SCRAM tiap-tiap batang kendali (SCRAM-1, SCRAM-2, SCRAM-3, SCRAM-4) maupun secara bersamaan dari keempat batang kendali dengan cara menekan tombol SCRAM-ALL. Untuk kondisi scram secara otomatis, empat buah batang kendali jatuh bebas ke dalam teras reaktor secara bersamaan apabila terdapat parameter operasi reaktor mempunyai nilai diluar batas angka keamanan yang telah ditentukan. Apabila terjadi kondisi scram salah satu atau lebih batang kendali reaktor, maka motor penggerak batang kendali berputar kearah turun secara otomatis hingga kontak magnet batang kendali tersebut terhubung kembali. Adapun parameter operasi reaktor yang dapat mengakibatkan kondisi scram otomatis adalah daya reaktor, HV detektor neutron, periode reaktor, suhu air pendingin primer, laju alir pendingin primer, suhu air kolam reaktor, tinggi air kolam reaktor dan sinyal watchdog sistem komputer[4,5,6,7,8].

Scram Daya 110 %

Kanal pemantau daya, baik NM 1000, NP 1000 maupun NPP-1000 akan mengakibatkan reaktor scram bila sebagian atau seluruh detektor pada kanal tersebut mendeteksi tingkat daya melebihi nilai batas aman yang telah ditentukan (110 % dari daya maksimum nominal 2000 kW).

Scram Tegangan Tinggi Detektor

Masing-masing kanal pemantau daya juga akan mengaktifkan rangkaian scram apabila terdeteksi catu tegangan tinggi ke detektor terlampau rendah (± 100 Volt lebih rendah dari tegangan kerja normalnya). Hal ini dilakukan karena frekuensi pulsa yang dihasilkan oleh detektor atau sensitifitas detektor akan semakin rendah apabila catu tegangan tinggi detektor semakin rendah, walaupun pada saat itu daya reaktor/fluks neutron tetap besar. Dengan demikian akan terhindar suatu keadaan dimana detektor mengukur bahwa daya reaktor masih rendah dan tak berbahaya, padahal sebenarnya daya reaktor sudah terlalu tinggi bahkan melebihi 110 % dari daya nominal 2000 kW.

Scram Manual

Pada saat terjadi keadaan yang tidak diinginkan, operator reaktor dapat menghentikan operasi reaktor secara mendadak dengan cara menekan tombol SCRAM yang terletak di atas panel kendali. Scram dapat dilakukan secara individu dengan menekan tombol SCRAM-1, SCRAM-2, SCRAM-3, SCRAM-4 untuk masing-masing batang kendali maupun secara serentak/bersamaan dari keempat buah batang kendali

Scram Watchdog Computer

Sistem komputer setiap saat melakukan pemantauan terhadap hasil eksekusi seluruh perangkat lunak yang berjalan di komputer tersebut. Apabila dalam pemantauan tersebut ternyata didapati suatu kondisi yang tidak normal, maka sistem komputer mengaktifkan rangkaian scram.

Scram Tuas Kunci Daya Magnet

Tuas kunci daya magnet yang berada di atas panel kendali memiliki 3 posisi yaitu OFF, ON dan RESET. Selama kunci berada pada posisi OFF berarti magnet batang kendali dalam keadaan padam, maka reaktor akan selamanya berada dalam keadaan scram. Bila kunci diputar dari posisi ON ke posisi OFF atau ke posisi RESET, reaktor akan segera di-scram.

Scram Periode Reaktor

Kanal keselamatan NM 1000 memantau periode reaktor secara terus-menerus. Apabila terdeteksi periode reaktor yang terlampaui kecil diluar batas nilai aman yang ditentukan (kenaikan daya terlalu cepat dari nilai batas keselamatan yang telah ditentukan), maka reaktor akan scram secara otomatis

Scram Ketinggian Air Kolam Reaktor

Konsep rancangan sistem instrumentasi reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat menyediakan pula fasilitas untuk mendeteksi ketinggian air kolam reaktor karena fungsi air pendingin pada kolam reaktor disamping sebagai air pendingin dan moderator neutron juga sebagai penahan (shielding) radiasi-Y sehingga ketinggian air pendingin kolam reaktor merupakan parameter penting dalam sistem keselamatan reaktor. Untuk itu bila ketinggian air tersebut menurun melebihi ketinggian nilai batas keselamatan yang telah ditentukan, maka reaktor akan scram secara otomatis.

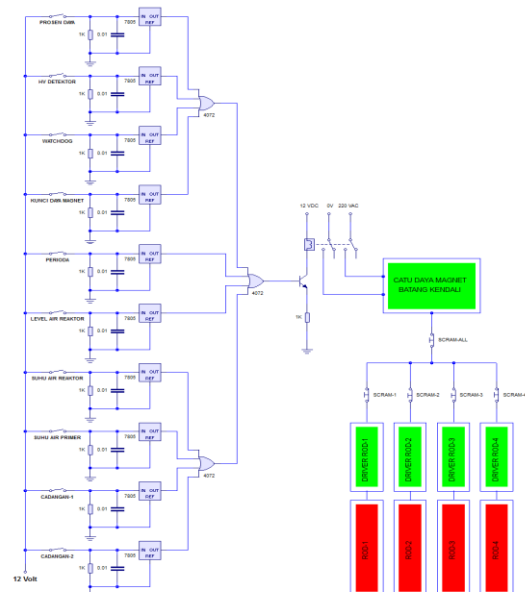
Scram Suhu Air Kolam reaktor

Salah satu dari hasil reaksi pembelahan/fisi yang terjadi di dalam teras reaktor nuklir adalah energi dalam bentuk panas yang terakumulasi di dalam teras reaktor sehingga suhu air kolam reaktor semakin tinggi. Untuk itu diperlukan sistem pendingin primer untuk memindahkan energi tersebut agar suhu air pendingin kolam reaktor tidak terlalu tinggi yang dapat menyebabkan proses pendidihan dan penguapan air di dalam kolam reaktor sehingga parameter suhu air kolam reaktor masuk dalam parameter keselamatan. Jika suhu kolam reaktor melebihi dari nilai batas keselamatan yang telah ditentukan, maka reaktor akan scram secara otomatis

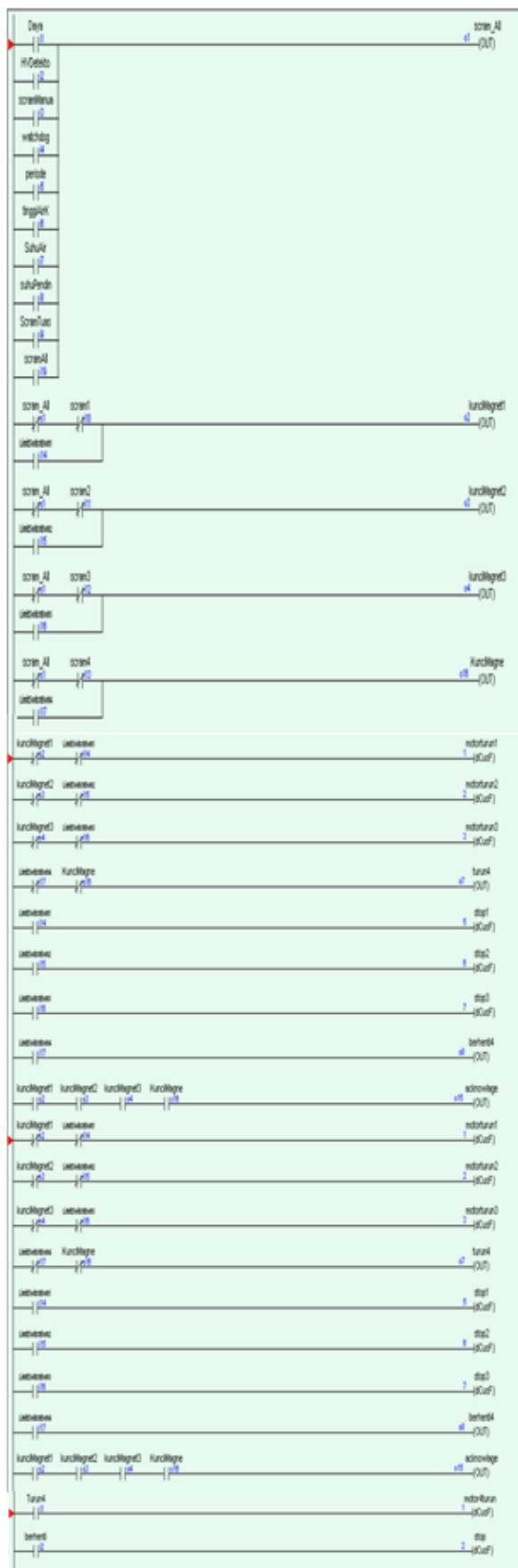
Scram Suhu Air Pendingin Primer

Kemampuan sistem pendingin primer dalam memindahkan energi panas yang dihasilkan oleh reaksi fisi di dalam teras reaktor perlu diketahui. Kemampuan tersebut dapat dimonitor melalui parameter suhu air masuk dan suhu air keluar pesawat penukar panas atau yang biasa disebut parameter suhu air pendingin primer reaktor. Jika suhu air pendingin primer (bulk temperature) melebihi batas tertinggi yang telah ditentukan, maka reaktor akan scram secara otomatis.

Perangkat sistem pancung (scram) reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat dirancang menggunakan modul programable logic control (PLC) dengan susunan rangkaian program yang dibuat menggunakan bahasa ladder dan susunan rangkaian komponen elektronik berupa IC TTL jenis CMOS. Pada kegiatan pembuatan rancangan perangkat sistem scram baik menggunakan IC TTL maupun menggunakan modul PLC, sinyal-sinyal masukan diambil dari kontak-kontak relay keluaran modul pengolah sinyal pembatas nilai parameter keselamatan operasi reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung. Kontak-kontak relay tersebut terdiri dari kontak relay yang berasal dari modul pengolah sinyal pembatas scram parameter prosen daya reaktor, tegangan tinggi (HV) detektor neutron, watchdog perangkat komputer, kunci catu daya magnet pemegang batang kendali, parameter perioda reaktor, parameter ketinggian (level) air kolam reaktor, parameter suhu air kolam reaktor dan suhu air pendingin primer. Berikut adalah hasil kegiatan pembuatan rancangan sistem pancung batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung dalam bentuk susunan program ladder dan gambar skema rangkaian IC TTL berdasarkan kriteria/persyaratan yang telah ditentukan seperti yang disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Skema rangkaian sistem pancung batang kendali reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung menggunakan IC TTL



Gambar 4. Rangkaian susunan program sistem pancung reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung berbasis PLC

Berdasarkan program tersebut maka dapat diketahui penggunaan saluran (channel) masukan (input) dan keluaran (output) yang digunakan pada program sistem pancung batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat berbasis PLC disajikan pada Tabel 4a, Tabel 4b, Tabel 4c, Tabel 4d, Tabel 4e.

Tabel 4a. Data penggunaan saluran input modul PLC-1 pada sistem pancung batang kendali

NO	Channel	Keterangan
1	Input 1	Indikator daya
2	Input 2	Indikator HV Detektor
3	Input 3	Scram Manual
4	Input 4	Indikator Watchdog
5	Input 5	Indikator Periode
6	Input 6	Indikator Tinggi Air Kolam
7	Input 7	Indikator Suhu Air
8	Input 8	Indikator Suhu Pendingin
9	Input 9	Scram Tuas
10	Input 10	Tombol Scram Batang Kendali 1
11	Input 11	Tombol Scram Batang Kendali 2
12	Input 12	Tombol Scram Batang Kendali 3
13	Input 13	Tombol Scram Batang Kendali 4
14	Input 14	Limit Bawah 1
15	Input 15	Limit Bawah 2
16	Input 16	Limit Bawah 3
17	Input 17	Limit Bawah 4
18	Input 18	Tombol Scram All
19	Input 19	Tombol Acknowledge 1
20	Input 20	Tombol Acknowledge 2
21	Input 21	Tombol Acknowledge 3
22	Input 22	Tombol Acknowledge 4

Tabel 4b. Data penggunaan saluran output modul PLC-1 pada sistem pancung batang kendali

No.	Channel	Keterangan
1	Output 1	Scram All
2	Output 2	Kunci Magnet 1
3	Output 3	Kunci Magnet 2
4	Output 4	Kunci Magnet 3
5	Output 5	Direction Motor 1
6	Output 6	Pulse Motor 1
7	Output 7	Perintah Turun Motor 4 ke PLC 2
8	Output 8	Perintah Stop Motor 4 ke PLC 2
9	Output 9	Direction Motor 2
10	Output 10	Pulse Motor 2
11	Output 13	Direction Motor 3
12	Output 14	Pulse Motor 3
13	Output 15	Acknowledge
14	Output 16	Kunci Magnet 4

- a. Batang kendali akan jatuh bebas (scram) ke dalam teras reaktor secara individu jika tombol scram batang kendali tersebut ditekan karena tombol SCRAM tersebut berfungsi menghubungkan catu daya magnet batang kendali dengan perangkat magnet pemegang batang kendali.
- b. Semua batang kendali akan jatuh bebas (scram) ke dalam teras reaktor secara serentak (bersamaan) jika tombol SCRAM ALL batang kendali tersebut ditekan karena tombol tersebut berfungsi menghubungkan catu daya magnet batang kendali dengan semua perangkat magnet pemegang batang kendali.
- c. Semua batang kendali akan jatuh bebas (scram) ke dalam teras reaktor secara serentak (bersamaan) dan otomatis apabila salah satu atau lebih parameter keselamatan mempunyai nilai diluar batas nilai aman yang telah ditentukan. Adapun parameter tersebut adalah prosen daya (% power), periode, tegangan tinggi detektor neutron (HV), watchdog komputer, kunci daya magnet, level air kolam reaktor, suhu air kolam reaktor dan suhu air pendingin primer.
- d. Bila terjadi scram baik secara otomatis maupun secara manual (individu) maka motor penggerak batang kendali bergerak ke arah turun secara otomatis hingga batang kendali terhubung kembali dengan magnet penggerak batang kendali

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kegiatan perancangan dan uji unjuk kerja perangkat sistem pancung batang kendali reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung yang telah dilakukan maka dapat diambil disimpulkan bahwa rancangan perangkat sistem pancung reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung telah selesai dibuat dan diuji secara simulasi. Hasil uji rancangan perangkat sistem pancung reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung baik menggunakan modul PLC maupun modul IC TTL telah sesuai dengan kriteria dan persyaratan yang telah ditetapkan sehingga rancangan perangkat sistem pancung yang telah dibuat dapat dijadikan bahan acuan/referensi dalam pembuatan/konstruksi prototip sistem pancung batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat PSTNT-BATAN Bandung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah turut membantu dalam kegiatan ini khususnya kepada :

1. Pihak Manajemen PSTA-BATAN Yogyakarta yang telah mendanai kegiatan ini melalui DIPA PSTA
2. Pihak Manajemen PSTNT-BATAN Bandung yang telah mengijinkan dan menerima acara kunjungan ke fasilitas-fasilitas reaktor Triga-2000 Bandung
3. Semua anggota tim konversi reaktor Triga Pelat dan semua pihak yang telah memberi masukan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SUJATMI KA, dkk, "Sistem Instrumentasi Dan Kendali Reaktor Triga-2000", Seminar Keselamatan Nuklir, Serpong, 2-3 Agustus 2006.
- [2] Balza Achmad, "Pemrograman PLC menggunakan Simulador", Andi OFFSET, Yogyakarta, Juli 2000
- [3] Fx2424 Ladder Basic Super PLC User Manual Revisi 8. Triangle Research International 2012
- [4] Eko Priyono, "Laporan Pelaksanaan Kegiatan Pembuatan Konsep Rancangan Sistem Proteksi Reaktor Triga-2000 Bahan Bakar Tipe Pelat", Dokumen Bidang Fisika patikel PSTA_BATAN No. C7/B2/03/Lap.Keg 3/0223/2017, Maret 2017
- [5] Laporan Analisis Keselamatan (Lak) Reaktor Triga-2000 PSTNT-BATAN Bandung, Dokumen No. LP 006 RE 001 Rev. 3, Tanggal 16 Januari 2006
- [6] MOHAMMAD ARKANI, dkk, "Modernization of TRR Control Rod Mechanisms Driving System Based on FPGA", 3rd International Conference on Electric and Electronics, EEIC 2013
- [7] SUJARWONO, "Sistem Instrumentasi Dan Kendali RSG-GAS" Materi diklat Operator Reaktor, PRSG-BATAN, 2014
- [8] IAEA SAFETY STANDART FOR PRO-TECTING PEOPLE AND ENVIROMENT, "Instrumentation and Control and Software important to Safety for Research Reactors", Spesific Safety Guide No. SSG-37, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2015
- [9] PUTRANTO ILHAM YASID, "Laporan Kemajuan : Kegiatan Perhitungan Neutronik Konversi Reaktor TRIGA 2000 ke Elemen Bakar Lempeng (MTR)", Rapat koordinasi Tim Triga Pelat BATAN, Bandung, 13 Pebruari 2015
- [10] MESQUITA, A.Z. dkk, "Modernization Of The Cdtm Ipr-R1 Triga Reactor Instrumentation And Control", 2009 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, September 27 to October 2, 2009

TANYA JAWAB

Totok Dermawan

Bagaimana mekanisme kondisi pancung/scram

Eko Priyono

Mekanismenya adalah sebagai berikut, batang kendali dipegang oleh elektromagnet yang terdapat pada sistem penggerak batang kendali. Kondisi pancung/scram dapat dilakukan secara manual yaitu dengan menekan tombol scram yang berada di panel kendali yang akan memutus arus magnet pemegang batang kendali sehingga batang kendali jatuh bebas ke dalam teras. Kondisi pancung juga bisa terjadi secara otomatis jika ada parameter keselamatan reaktor mempunyai nilai di luar jangkauan nilai keselamatan yang telah ditentukan sehingga arus magnet pemegang batang kendali terputus secara otomatis.