

KONSEP RANCANGAN SISTEM PENGATUR BATANG KENDALI REAKTOR TRIGA-2000 BAHAN BAKAR TIPE PELAT

Eko Priyono dan Saminto

Pusat Sains Dan Teknologi Akselerator, BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta 55281
email: eko_priyono@batan.go.id

ABSTRAK

KONSEP RANCANGAN SISTEM PENGATUR BATANG KENDALI REAKTOR TRIGA-2000 BAHAN BAKAR TIPE PELAT. Telah dilakukan kegiatan pembuatan konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat. Konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat ini dibuat dengan mengacu hasil kajian sistem instrumentasi dan kendali (SIK) yang digunakan sebagai sistem operasi reaktor yang dimiliki oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) saat ini. Konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat terdiri dari 4 bagian yaitu panel kendali, bagian penerjemah, bagian penggerak dan bagian penampil. Panel kendali berfungsi sebagai tempat tombol-tombol penggerak, pengaman dan penampil batang kendali, bagian penerjemah berfungsi sebagai pengolah sinyal dari panel kendali untuk mengatur gerakan batang kendali, bagian penggerak berfungsi penghasil sinyal yang mampu menggerakkan batang kendali dan bagian penampil berfungsi menampilkan posisi ketinggian batang kendali. Pada konsep rancangan ini, bagian penerjemah dibuat dalam 2 pilihan mode operasi yaitu mode operasi menggunakan modul PLC dan menggunakan IC TTL. Konsep rancangan ini dapat digunakan sebagai salah satu bahan acuan/referensi dalam pembuatan rancangan detail sistem pengatur batang kendali reaktor Triga Mark II bahan bakar tipe pelat.

Kata kunci: konsep rancangan, pengatur batang kendali, reaktor triga, bahan bakar tipe pelat

ABSTRACT

CONCEPTUAL DESIGN OF CONTROL ROD REGULATING SYSTEM FOR PLATE TYPE FUELS OF TRIGA-2000 REACTOR. Conceptual design of the control rod regulating system for plate type fuel of Triga-2000 reactor has been made. Conceptual design of the control rod regulating system for plate type fuel of Triga-2000 reactor was made with refer to study result of instrument and control system which is used in BATAN'S reactor. Conceptual design of the control rod regulating system for plate type fuel of Triga-2000 reactor consist of 4 segments that is control panel, translator, driver and display. Control panel is used for regulating, safety and display control rod, translator is used for signal processing from control panel, driver is used for driving control rod and display is used for display control rod level position. The translator was designed in 2 modes operation i.e operation by using PLC moduls and IC TTL moduls. These conceptual design can be used as one of reference of control rod regulating system detail design.

Keywords: conceptual design, control rod regulator, triga reactor, sheet type fuel

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. Untuk itu telah dibentuk tim yang bertugas untuk mengkaji dan menganalisa kegiatan tersebut dari segi/aspek neutronik,

termohidrolik, perisai radiasi, keselamatan, dan instrumentasi.

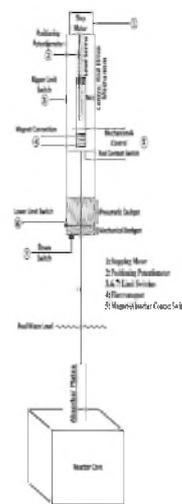
Tim sistem instrumentasi dan kendali merupakan salah satu tim yang bertugas melaksanakan kegiatan perancangan SIK reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat. Kegiatan tersebut dilaksanakan dalam beberapa tahapan kegiatan yaitu tahap pertama kegiatan ini adalah kajian SIK yang digunakan untuk sistem operasi 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 rencananya dilaksanakan pada tahun 2017 dengan sasaran dokumen rancangan detil SIK reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat.

Sistem pengatur batang kendali merupakan salah satu bagian dari SIK yang berfungsi sebagai perangkat untuk mengatur gerak dan menampilkan posisi batang kendali reaktor. Pembuatan konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat merupakan salah satu tugas dari Tim SIK yang diharapkan dapat menghasilkan dokumen konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat yang dapat digunakan sebagai salah satu bahan acuan/referensi dalam pembuatan rancangan detil sistem pengatur batang kendali reaktor tersebut.

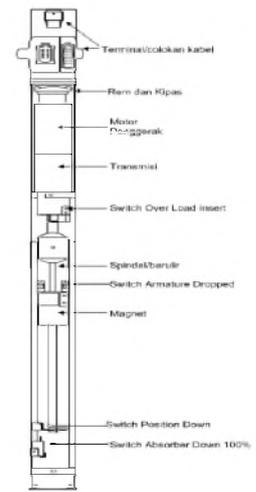
TEORI DASAR

Reaktor nuklir merupakan sebuah tempat terjadinya reaksi pembelahan inti (reaksi fisi) berantai secara terkendali. Reaktor nuklir dikelompokkan menjadi dua yaitu reaktor daya (*power reactor*) dan reaktor penelitian (*research reactor*). Reaktor daya dirancang sebagai penghasil daya yang dapat digunakan untuk pembangkit tenaga listrik, penggerak kapal selam dan lain sebagainya, sedangkan reaktor penelitian dirancang sebagai penghasil neutron yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan radionuklida, keperluan analisis dan lain sebagainya. Salah satu komponen utama reaktor nuklir adalah batang kendali yang berfungsi untuk mengatur daya reaktor. Pada umumnya komponen utama batang kendali reaktor nuklir terdiri dari batang penyerap neutron dan sistem penggerak

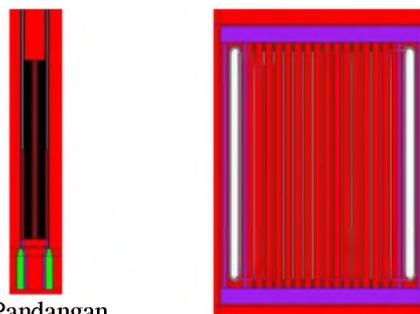
batang penyerap neutron seperti yang disajikan pada Gambar 1 [2]. Batang penyerap neutron berfungsi untuk menyerap neutron hasil reaksi fisi yang terbuat dari bahan yang mempunyaiampang lintang serapan neutron tinggi seperti cadmium (Cd), Boron (B) dan hafnium (Hf), sedangkan sistem penggerak batang penyerap neutron berfungsi untuk mengatur/menggerakkan batang penyerap neutron agar dapat diperoleh kondisi seimbang antara neutron yang lahir dengan neutron yang diserap (kondisi kritis). Pada umumnya sistem penggerak batang penyerap neutron terdiri dari komponen utama berupa coil magnet pemegang batang penyerap neutron, motor penggerak, *limit switch* dan konektor kabel seperti yang disajikan pada Gambar 2 [3].



Gambar 1. Skema diagram batang kendali reaktor nuklir



Gambar 2. Skema diagram sistem penggerak batang penyerap neutron



a. Pandangan vertikal

b. Pandangan Horisontal

Gambar 3. Tampang lintang geometri elemen kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat

Batang kendali yang digunakan untuk reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat direncanakan mirip batang kendali yang digunakan pada reaktor serbaguna (RSG-GAS) BATAN Serpong yaitu

berbentuk pelat seperti garpu yang ditunjukkan pada Gambar 3 [4].

TATA KERJA

Konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat merupakan sebuah kegiatan pembuatan rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor secara garis besar yang mampu memberi gambaran tentang kriteria, proses dan mekanisme pengaturan batang kendali serta dapat dijadikan salah satu bahan acuan dalam pembuatan rancangan detilnya. Untuk melaksanakan kegiatan ini agar dapat diterima oleh semua pihak baik pengguna (*user*), perancang (*designer*) maupun pemangku kepentingan (*stage holder*), maka dilakukan dalam beberapa tahapan kegiatan yaitu: koordinasi, identifikasi, studi referensi, perancangan dan verifikasi.

a. Tahap Koordinasi

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

b. Tahap Identifikasi

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

c. Studi Referensi

Studi referensi merupakan kegiatan kajian tentang kriteria, proses dan mekanisme sistem pengaturan batang kendali reaktor nuklir baik reaktor riset maupun reaktor daya yang ditinjau dari aspek keselamatan operasi reaktor nuklir.

d. 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 pengatur batang kendali serta bentuk, jumlah dan asesoris batang kendali reaktor yang akan diatur atau dipergunakan

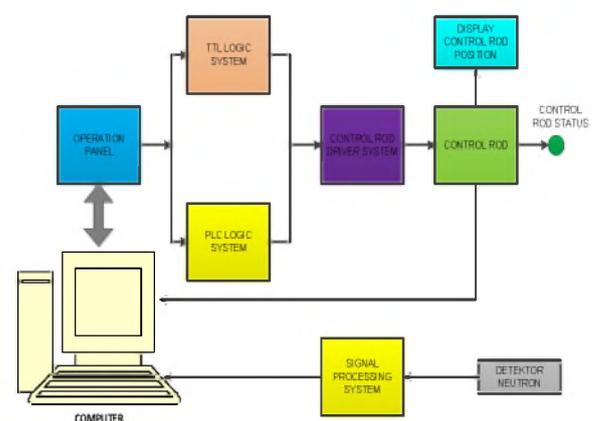
e. Tahap Verifikasi

Tahap verifikasi merupakan bagian kegiatan dari koordinasi setelah konsep rancangan sistem

pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat dibuat. Kegiatan ini bertujuan agar hasil konsep rancangan yang telah dibuat dapat disetujui dan diterima oleh semua pihak baik oleh tim perancang, pengguna dan pemangku kepentingan. Pada tahap ini juga masih memungkinkan adanya perubahan dan penyempurnaan pada konsep rancangan tersebut berdasarkan masukan atau saran dari tim verifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 PSTNT-BATAN Bandung merupakan salah satu bagian perangkat sistem instrumentasi dan kendali yang berfungsi untuk mengatur gerak batang kendali, memonitor posisi ketinggian batang kendali dan meng-*scram* batang kendali. Dalam rangka konversi reaktor Triga-2000 bahan bakar standar TRIGA buatan GA yang berbentuk silinder ke bahan bakar tipe pelat buatan BATAN, maka telah dilakukan kajian dan analisa terhadap sistem pengatur batang kendali yang ada. Hasil kajian dan analisa menunjukkan bahwa perlu adanya penggantian sistem pengatur batang kendali karena jenis, mekanisme atau kriteria pengoperasian dan jumlah batang kendali berbeda. Konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor ini dibuat berdasarkan jenis, mekanisme, kriteria pengoperasian dan jumlah batang kendali yang telah ditentukan. Target atau sasaran dari kegiatan ini berupa dokumen konsep rancangan (*conceptual design*) yang dapat dijadikan salah satu referensi pembuatan rancangan detil sistem pengatur batang kendali tersebut.



Gambar 4. Blok diagram sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat

Konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 dengan bahan bakar tipe

pelat terdiri dari 4 (empat) bagian yaitu panel kendali (*control panel*), bagian penerjemah (*translator*), bagian penggerak (*driver*) dan bagian penampil (*display*) seperti yang disajikan pada Gambar 4 [5-7]

Secara garis besar, prinsip kerja dari sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat adalah sebagai berikut:

Pada panel kendali terdapat tombol-tombol pengatur, pengaman dan monitor posisi batang kendali serta sakelar pemilihan operasi manual atau otomatis. Untuk pilihan mode operasi secara manual, sinyal perintah operasi *manual* diperoleh dari sakelar pilihan MAN/AUTO (*manual/automatic*) pada posisi MAN. Pengaturan gerakan naik atau turun batang kendali dilakukan dengan cara menekan tombol UP atau DN yang terdapat pada panel kendali tersebut. Sinyal perintah dari panel kendali hasil penekanan tombol-tombol operasi tersebut kemudian diolah dan diterjemahkan oleh bagian penerjemah (*translator*) sehingga menghasilkan sinyal keluaran (*output*) berupa sinyal pemicu/penyulut (*trigger signal*) pada bagian penggerak (*driver*) untuk menghasilkan sinyal yang mampu menggerakkan atau memutar motor penggerak batang kendali naik atau turun. Pada sumbu atau poros motor penggerak batang kendali dipasang potensiometer yang diberi catu tegangan DC pada ujung-ujung terminalnya sehingga apabila motor penggerak batang kendali berputar maka potensiometer juga ikut berputar yang mengakibatkan besarnya *variable resistor* berubah sehingga tegangan pada *variable resistor* juga ikut berubah sebanding dengan banyaknya putaran motor penggerak batang kendali. Sinyal inilah yang digunakan untuk memonitor posisi atau ketinggian batang kendali yang ditampilkan oleh panel meter dan perangkat komputer.

Untuk mode operasi otomatis, sinyal perintah operasi otomatis diperoleh dari sakelar pilihan MAN/AUTO (*manual/automatic*) pada posisi AUTO. Pengaturan gerakan naik atau turun batang kendali dilakukan oleh rangkaian program (*software*) yang dipasang (*install*) di dalam CPU (*Central Processing Unit*) perangkat komputer sebagai pengganti peran operator reaktor dalam mengatur batang kendali melalui panel kendali. Pada mode operasi otomatis sistem umpan balik diambil dari hasil pengukuran daya menggunakan detektor neutron.

Pada konsep rancangan ini terdapat 2 jenis *translator* yang dapat dipilih dalam pengoperasiannya yaitu *translator* jenis modul IC TTL dan modul PLC. *Translator* modul IC TTL berupa serangkaian skema komponen elektronik yang disusun menggunakan komponen utama berupa IC

TTL, sedangkan *translator* modul PLC berupa susunan serangkaian program yang dibuat menggunakan bahasa *ladder*.

1. Panel Kendali

Panel kendali reaktor merupakan sebuah perangkat yang berfungsi sebagai sistem pengatur daya reaktor, pengaman operasional reaktor dan pemantau posisi batang kendali reaktor. Pada umumnya panel kendali reaktor terdapat tombol-tombol pengatur batang kendali yang berfungsi untuk mengatur daya reaktor, tombol pengaman reaktor yang berfungsi untuk mengamankan operasional reaktor bila terjadi kondisi darurat (*scram*) dan meter penampil parameter yang berfungsi untuk menampilkan parameter ketinggian batang kendali reaktor serta kunci panel yang berfungsi sebagai pengaman interlok. Konsep rancangan panel kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat dibuat dengan mengacu kriteria panel kendali yang sudah ada dan sampai saat ini digunakan sebagai panel operasi reaktor Triga-2000. Adapun kriteria panel kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat adalah sebagai berikut [1, 5, 8]:

- Panel kendali harus mempunyai tombol-tombol untuk menaikkan dan menurunkan semua batang kendali yang dipegang melalui pengaktifan magnet pemegang batang kendali. Untuk empat buah batang kendali berarti harus ada 4 buah tombol untuk menaikkan batang kendali dan 4 buah tombol untuk menurunkan batang kendali
- Panel kendali harus mempunyai fasilitas tombol untuk melepaskan batang kendali secara individu melalui penghilangan arus magnet pemegang batang kendali (*scram* individu). Untuk empat buah batang kendali berarti harus ada 4 buah tombol untuk membuat *scram* secara individu melalui penghilangan arus magnet
- Panel kendali harus mempunyai tombol untuk melakukan pelepasan batang kendali secara bersama dari empat buah batang kendali yang digunakan (*manual scram*)
- Panel kendali harus mempunyai meter indikator posisi ketinggian (*level*) batang kendali untuk empat buah batang kendali
- Panel kendali harus mempunyai kunci panel sebagai pengaman untuk mengaktifkan fungsi panel kendali
- Panel kendali harus mempunyai fasilitas tombol untuk mereset arus magnet dalam kondisi normal pada awal operasi atau untuk kondisi normal setelah adanya gangguan *scram* pada lingkaran jalur *scram*

- g. Panel kendali harus mempunyai indikator lampu yang menyatakan masing-masing batang kendali tersebut dalam posisi batas atas dan batas bawah.
- h. Panel kendali harus mempunyai fasilitas tombol *reset alarm* dan lampu indikator terjadinya *alarm*
- i. Panel kendali harus mempunyai fasilitas sakelar untuk memilih *mode* operasi batang kendali (*manual/* otomatis)

Berdasarkan kriteria tersebut maka konsep rancangan panel kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat yang dibuat adalah sebagai berikut:

Pada panel kendali terdapat tombol-tombol operasi *UP* 4 buah, *DOWN* 4 buah, *SCRAM* 4 buah untuk mengatur gerak naik, turun dan *scram* 4 buah batang kendali, tombol *SCRAM ALL* untuk meng-*scram* 4 buah batang kendali secara bersamaan, *selector switch MAN/AUTO* untuk memilih mode operasi reaktor secara manual atau secara otomatis dan 4 buah digital panel meter untuk memonitor posisi 4 buah batang kendali, kunci panel (*PANEL KEY*) untuk mengaktifkan fungsi panel kendali, tombol *RESET ALARM* untuk mematikan bunyi *alarm* agar tidak bising dan tombol *ACKNOWLEDGE* untuk memulihkan rangkaian *scram* sehingga dapat dijalankan kembali secara normal. Adapun bentuk panel kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat dalam konsep rancangan ini ditampilkan pada Gambar 5 [1, 9, 10].



Gambar 5. Konsep rancangan panel kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat

2. Bagian Penerjemah

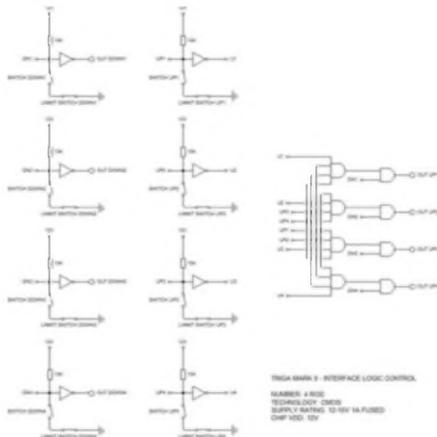
Bagian penerjemah merupakan perangkat berupa modul elektronik yang berfungsi mengolah sinyal-sinyal yang berasal dari panel kendali untuk diterjemahkan menjadi sinyal keluaran yang berupa sinyal perintah untuk mengatur gerakan dan arah gerak batang kendali. Bagian penerjemah dibuat dalam 2 pilihan mode operasi yaitu mode operasi menggunakan modul PLC dan menggunakan modul IC TTL. Untuk mode operasi melalui modul PLC, sinyal-sinyal keluaran dari panel kendali

diterjemahkan oleh rangkaian berupa program (*software*), sedang kan untuk mode operasi melalui modul IC TTL diterjemahkan oleh rangkaian IC TTL. Bagian penerjemah ini dibuat berdasarkan kriteria/persyaratan peng-operasian batang kendali yang telah ditentukan. Kriteria/persyaratan tersebut dituangkan dalam bentuk program (*software*) untuk *mode* operasi melalui modul PLC atau dalam bentuk skema rangkaian komponen elektronik (IC TTL) untuk *mode* operasi melalui modul IC TTL. Adapun kriteria/persyaratan operasi batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat yang sudah ditentukan adalah sebagai berikut [1, 9]:

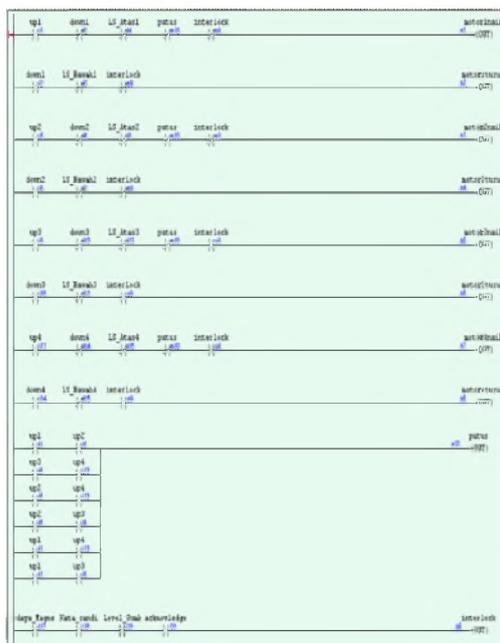
- a. Batang kendali dapat dioperasikan (gerak naik atau turun) apabila sinyal interlok dalam kondisi normal
- b. Sinyal interlok terdiri dari interlok kunci panel, interlok level sumber neutron, interlok kata sandi PC, interlok tombol *ACKNOWLEDGE*
- c. Untuk menaikkan batang kendali hanya dapat dilakukan dengan cara menekan tombol *UP* untuk batang kendali yang bersangkutan
- d. Untuk menurunkan batang kendali hanya dapat dilakukan dengan cara menekan tombol *DN* untuk batang kendali yang bersangkutan
- e. Batang kendali hanya diijinkan naik secara satu per satu (tidak diijinkan dinaikkan secara bersamaan)
- f. Batang kendali diijinkan untuk turun secara bersamaan
- g. Jika tombol naik (*UP*) dan tombol turun (*DN*) salah satu batang kendali ditekan secara bersamaan, maka aksi gerak batang kendali adalah gerak turun
- h. Dapat diijinkan jika ada salah satu tombol naik (*UP*) batang kendali dan satu atau lebih tombol turun (*DN*) batang kendali ditekan
- i. Jika posisi (*level*) magnet pembawa batang kendali telah mencapai batas atas (*fully-Up*) maka lampu tombol *UP* batang kendali tersebut menyala terus
- j. Jika posisi (*level*) magnet pembawa batang kendali telah mencapai batas bawah (*fully-Down*) maka lampu tombol *DN* batang kendali tersebut menyala terus
- k. Jika posisi magnet pembawa batang kendali telah mencapai batas atas (*fully-Up*) maka motor penggerak batang kendali tersebut tidak dapat berputar kearah naik lagi (mati)
- l. Jika posisi magnet pembawa batang kendali telah mencapai batas bawah (*fully-Down*) maka motor

penggerak batang kendali batang kendali tersebut tidak dapat berputar kearah turun lagi (mati)

Berikut adalah konsep rancangan bagian penerjemah dalam bentuk skema rangkaian menggunakan IC TTL yang menggambarkan mekanisme gerak batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat berdasarkan kriteria/persyaratan operasi yang disajikan pada Gambar 6. Gambar tersebut dibuat dan telah disimulasikan menggunakan paket program PROTEOUS-8. Hasil simulasi telah sesuai dengan persyaratan operasi batang kendali reaktor yang telah ditentukan.



Gambar 6. Konsep rancangan bagian penerjemah menggunakan rangkaian IC TTL



Gambar 7. Konsep rancangan bagian penerjemah menggunakan modul PLC dengan rangkaian program menggunakan bahasa *ladder*

Untuk membuat gambaran konsep rancangan bagian penerjemah menggunakan modul PLC dilakukan dengan cara mengkon-versi gambar skema rangkaian modul IC TTL menjadi susunan program yang berisi perintah-perintah sesuai dengan kriteria/persyaratan operasi batang kendali yang telah ditentukan. Untuk modul PLC pada umumnya susunan program dibuat menggunakan bahasa *ladder* seperti yang disajikan pada Gambar 7.

3. Bagian Penggerak

Bagian penggerak (*driver*) merupakan perangkat berupa modul elektronik yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal yang mampu menggerakkan batang kendali yang dikendalikan oleh bagian penerjemah. Bagian penggerak batang kendali ini berisi modul elektronik sistem catu daya motor penggerak batang kendali reaktor yang dikendalikan oleh sinyal keluaran dari bagian penerjemah.

4. Bagian Penampil

Bagian penampil merupakan perangkat elektronik berupa modul sistem monitor yang berfungsi untuk menampilkan posisi ketinggian (*level*) tiap-tiap batang kendali. Pada konsep rancangan ini, posisi ketinggian batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat ditampilkan oleh modul digital panel meter dan perangkat komputer.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kegiatan pembuatan konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor TRIGA-2000 bahan bakar tipe pelat yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat telah selesai dibuat
2. Konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat terdiri dari 4 bagian yaitu panel kendali, bagian penerjemah dengan 2 pilihan yaitu modul TTL dan modul PLC, bagian penggerak dan bagian penampil
3. Konsep rancangan sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat dapat dijadikan salah satu bahan acuan/referensi dalam pembuatan rancangan detail sistem pengatur batang kendali reaktor Triga-2000 bahan bakar tipe pelat

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah turut membantu dalam kegiatan ini khususnya kepada Pihak Manajemen PSTA-BATAN Yogyakarta yang telah mendanai kegiatan ini melalui DIPA

DAFTAR PUSTAKA

1. Sujatmi, K.A., dkk, *Sistem Instrumentasi Dan Kendali Reaktor Triga-2000*, Seminar Keselamatan Nuklir, Serpong, 2016.
2. Mohammad Arkani, dkk, *Modernization of TRR Control Rod Mechanisms Driving System Based on FPGA*, 3rd International Conference on Electric and Electronics, EEIC, 2013.
3. Sujarwono, *Sistem Instrumentasi Dan Kendali RSG-GAS*, Materi Diklat Operator Reaktor, PRSG-BATAN, 2014.
4. 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 Februari 2015.
5. Mesqita, A. Z., dkk, *Modernization Of The Cdn Ipr-R1 Triga Reactor Instrumentation And Control*, International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009, Rio de Janeiro, RJ, Brazil September 27 to October 2 2009.
6. IAEA-TECDOC-973, *Research Reactor Instrumentation and Control Technology*, Report of a Technical Committee Meeting, Ljubljana 4-8 December 1995.
7. P., Carvalho, dkk, *Instrumentation & Control Systems for the Brazilian Multipurpose Reactor – RMB*, IAEA Technical Meeting, Bariloche Argentina 17-21 November 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. Bapak Prof. Dr. Ir. Efrizon Umar, MT, Ka. PSTNT-BATAN Bandung yang telah mengijinkan untuk acara kunjungan ke fasilitas reaktor Triga-2000 Bandung
10. Semua anggota tim konversi reaktor Triga Pelat yang telah memberi masukan dan saran
9. LAK, *Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Reaktor Triga-2000 PSTNT-BATAN Bandung*, Dokumen No. LP 006 RE 001 Rev. 3, 16 Januari 2006.
10. LAK, *Dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Reaktor MPR-30, BATAN Serpong*, Dokumen No. RSG.KK.01.01.63.11 Rev. 10.

TANYA JAWAB

Yogi M

- Berapa lama waktu turun dan naiknya batang kendali?

Eko Priyono

- Lama waktu turun dan naiknya batang kendali ditentukan oleh kecepatan putar motor penggerak batang kendali dan akan berhubungan dengan reaktivitas batang kendali. Hal ini sangat berhubungan dengan tim lain terutama dengan tim neutronik yang hingga saat ini belum bisa memberi data tentang kecepatan batang kendali. Sehingga dalam konsep rancangan ini belum dapat menentukan waktu naik dan turunnya.

Triyono

- Dalam konsep rancangan pengatur batag kendali parameter apa saja yang perlu ditetapkan dan apakah ada hubungannya dengan daya reactor?

Eko Priyono

- Parameter yang perlu ditetapkan dalam konsep rancangan adalah kriteria apa saja yang disyaratkan dalam pengoperasian batang kendali untuk mekanisme pengaturannya.