

PENGEMBANGAN PLC TRAINER SERBAGUNA UNTUK SIMULATOR SISTEM KESELAMATAN DAN KEANDALAN REAKTOR

Syaiful Bakhri, Deswandri, Ahmad Abtokhi

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) – BATAN
Kompleks PUSPIPTEK Serpong, Gedung 80, Tangerang Selatan, Banten
Telp/Fax: 021-7560912/ 021-7560913, Email: bakhrisy@batan.go.id

ABSTRAK

PENGEMBANGAN PLC TRAINER SERBAGUNA UNTUK SIMULATOR SISTEM KESELAMATAN REAKTOR. PLC adalah salah satu perangkat pengontrolan yang sangat penting di instalasi reaktor terkini yang berbasis sistem instrumentasi dan digital control. Beberapa penelitian telah mendemonstrasikan hasil yang menjanjikan termasuk implementasinya di reaktor riset RSG-GAS. Namun analisis kehandalan dan keselamatan terhadap sistem berbasis PLC ini tidaklah dapat dilakukan dengan bebas pada sistem terpasang. Tujuan penelitian mengembangkan PLC trainer menggunakan PLC mikro OMRON CPM1A yang nantinya berguna untuk implementasi simulator berbagai topik sistem keselamatan reaktor. Metode yang digunakan meliputi 2 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. Hasil menunjukkan sistem PLC mampu mengidentifikasi urutan inisiator logika SCRAM sekaligus meresponnya seketika, sedangkan aplikasinya berhasil mendemonstrasikan kesederhanaan sistem pengoperasian dan desainnya dengan tetap menjamin unjuk kerja terbaiknya.

Kata kunci: PLC trainer, sistem proteksi reaktor, pengendalian

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF MULTIPURPOSE PLC TRAINER FOR THE SIMULATOR OF REACTOR SAFETY SYSTEM. PLC becomes one of the essential components for the current type of reactor which based on digital instrumentation and control. Several studies have demonstrated the promising results including the implementation of PLCs for RSG-GAS research reactor. However, research for the safety and reliability analysis can not be carried out freely in the existing systems. Therefore, this research aims to develop a PLC trainer employing micro PLC OMRON CP1MA which can be useful for simulator of various topics in reactor safety. Two experimental tests were carried out to show the PLC's performances. The first experimental testing implementing reactor protection system of research reactor RSG-GAS shows the capacity of PLC system to identify the initiator of the SCRAM logic as well as giving a promptly response. Secondly, the application of PLC to controls the water level in dual reservoir system simulation, demonstrates the simplicity of the operation and design while maintaining the best performances.

Keywords: PLC trainer, reactor protection system, control

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, *Programmable Logic Controller* (PLC) 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. PLC berhasil digunakan untuk mengganti sistem pengontrolan analog dalam pengontrolan level air di *steam generator* pada sistem pegumpan air (*feedwater system*) di *Qinshan Nuclear Power Plant* tipe PWR^[1]. Penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan modul PLC PID *Texas Instrument* TI545, sistem pengontrolan lebih tahan terhadap *set point perturbation* dibanding dengan sistem sirkuit analog sebelumnya^[1]. *Korean Standard Nuclear Power Plant* (KNSP) mengaplikasikan PLC desain Korea dengan nama POSAFE-PLC untuk *Reactor Protection System* (RPS) PWR tipe APR 1400^[2] dan sistem air pengumpan di *Yongwang Unit 3*^[3].

Program BATAN untuk merevitalisasi Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS), sangat diperlukan seiring dengan penuaan umur reaktor. Beberapa penggantian sistem instrumentasi dan kendali reaktor telah dilakukan dengan mengimplementasikan PLC *Siemens Simatic S7*, penggantian sistem komputer proses untuk mengukur berbagai parameter di RSG-GAS dan memantau *alarm* meliputi 512 kanal analog dan 2176 kanal digital. Aplikasi PLC lainnya dengan memanfaatkan tipe PLC yang sama (S7 300) adalah *upgrading* sistem pengendalian fasilitas eksperimen *Power Ramp Test Facility* (PRTF)^[4]. PLC berfungsi untuk mengontrol maju mundurnya *trolley* pengujian pin elemen bahan bakar reaktor terhadap teras di fasilitas PRTF, mengontrol katup-katup pengaman, dan pompa pendingin primer yang dengan mempertimbangkan lepasan produk fisi ke dalam sistem pendingin dan ketersediaan sistem pendingin sekunder. Selain itu, PLC juga berhasil digunakan untuk memantau pergerakan 8 batang kendali di RSG-GAS^[5]. PLC *Siemens S7* yang dilengkapi dengan modul analog membaca arus 0-20 mA hasil konversi tahanan 0-5k Ω yang mewakili posisi batang kendali dari 0-615 mm. Selain itu PLC juga dilengkapi dengan modul digital *input* yang berfungsi membaca beberapa *microswitch* di penggerak batang kendali yang menunjukkan posisi batang kendali saat 100% *up*, *down*, *ter-couple* dan *armature drop* dan *overload insert*. Semua informasi pergerakan batang kendali ini ditampilkan secara visual dengan *software* grafis sebagai *back-up* dari indikator analog di panel ruang kendali utama (RKU).

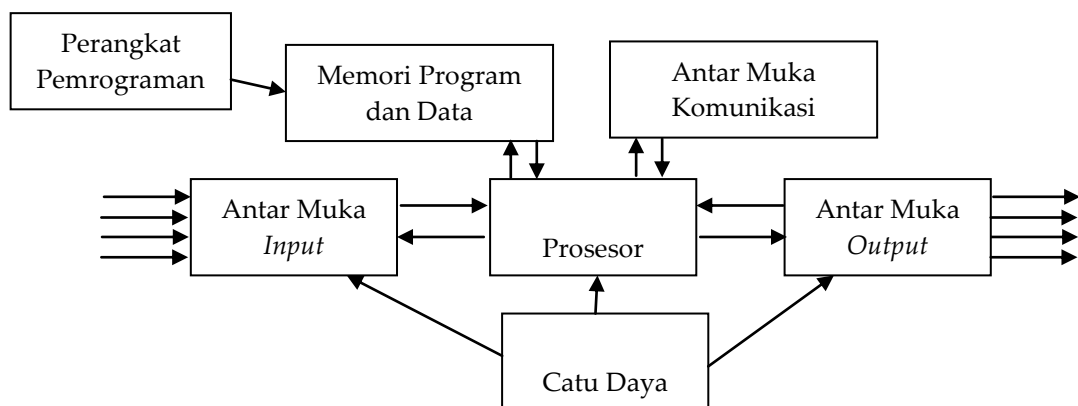
Dari sisi keselamatan nuklir, utilisasi PLC di reaktor riset khususnya di Indonesia perlu diteliti lebih lanjut. Beberapa penelitian menunjukkan pemanfaatan PLC di reaktor belum memberikan hasil pengujian yang komprehensif. Selain itu, validasi dan verifikasi keandalannya masih sangat sulit dilakukan. Beberapa sistem PLC sudah diimplementasikan secara luas, namun perangkat keselamatan yang terpasang, tidak secara leluasa dapat diteliti aspek keselamatan dan keandalannya lebih jauh. Realitas ini memberikan motivasi penulis untuk mengembangkan sebuah sistem PLC serba guna yang tidak hanya bermanfaat untuk edukasi, tetapi juga untuk menginvestigasi aspek keselamatan dan keandalan perangkat keras dan perangkat lunak PLC tanpa mengganggu fasilitas operasi reaktor. Penelitian ini bertujuan mengembangkan PLC *trainer* serbaguna yang dapat digunakan untuk berbagai investigasi fasilitas keselamatan dan keandalan fasilitas nuklir. Pengujian fungsi PLC *trainer* dilakukan pada dua contoh kasus. Kasus pertama adalah simulator gerbang logika sistem proteksi reaktor (*Reactor Protection System*, RPS) Reaktor Riset RSG-GAS dan yang kedua adalah sistem umpan balik pengendalian level air pada Perangkat Simulasi Sistem Dua Tangki yang terpasang di PTRKN BATAN. Makalah ini memberikan gambaran komprehensif desain PLC *trainer* sekaligus uji fungsinya pada dua kasus tersebut.

2. TEORI

2.1. Programmable Logic Controller (PLC)

PLC pada dasarnya adalah bentuk khusus perangkat kontroler digital berbasis mikroprosesor yang menggunakan memori *programmable* untuk menyimpan instruksi sekaligus digunakan untuk mengimplementasikan berbagai fungsi logika, aritmatika, *sequence, counting, timing*⁽⁶⁾. Berbeda dengan *personal computer* (PC), PLC tidak berjalan di atas sistem operasi yang rumit, serta difasilitasi bahasa pemrograman yang memudahkan *engineer* dengan pemahaman pemrograman terbatas untuk membuat program, seperti bahasa pemrograman logika *ladder, sequential function chart, structured text, instruction list* atau *function block diagram*.

Tipikal perangkat keras PLC terdiri dari *central processing unit* (CPU), unit catu daya, perangkat pemrograman, memori, perangkat antar muka *input/output*, dan antar muka komunikasi seperti terlihat pada Gambar 1 berikut:



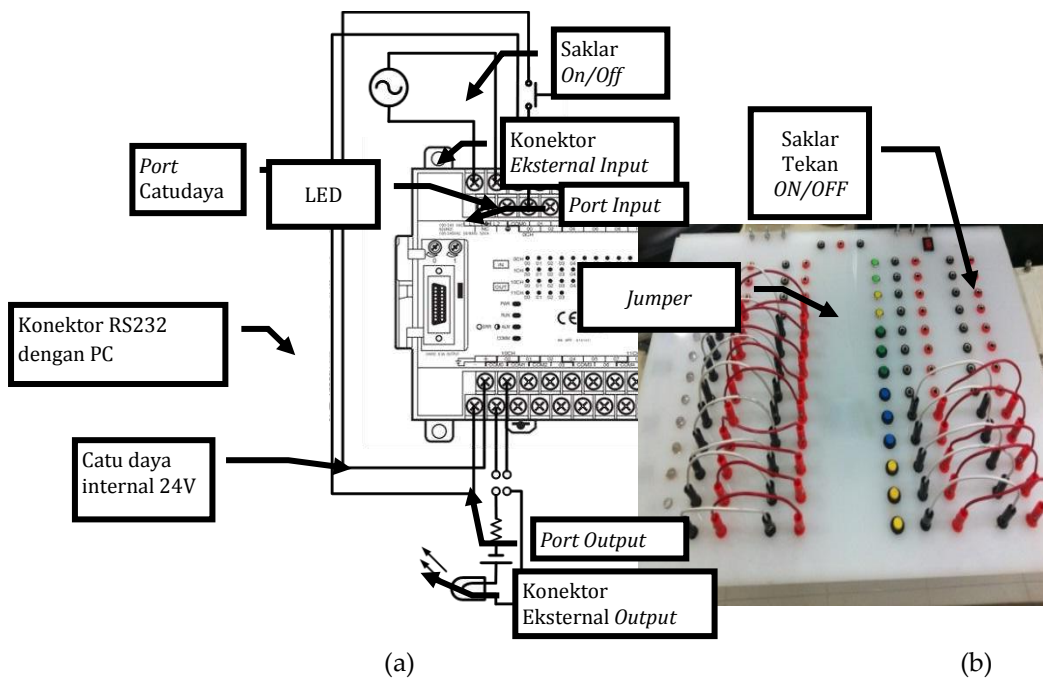
Gambar 1. Tipikal Sistem PLC⁽⁶⁾.

Processor atau dikenal juga sebagai CPU berfungsi untuk menginterpretasi sinyal *input* dan melakukan aksi kontrol sesuai dengan logika program yang tersimpan dalam memori, untuk selanjutnya mengkomunikasikan keputusan yang diambilnya dengan antar muka *output*. Sedangkan perangkat pemrograman hanya digunakan untuk merancang program sebelum diunggah ke unit memori PLC. Perlu dicatat bahwa unit memori juga digunakan untuk menyimpan data dari antar muka *input* untuk diproses dan untuk antar muka *output*, sedangkan antar muka *input output* bisa merespon dan memberikan sinyal diskret (hanya sinyal *on/off*), sinyal digital (urutan pulsa) dan sinyal analog (sinyal yang besarnya berhubungan dengan besaran kuantitas yang diukur). Hal yang penting dalam implementasi sistem PLC adalah pemrosesan *input* dan *output* agar sinyal yang diperoleh sesuai level yang disyaratkan PLC tanpa merusak PLC itu sendiri dan disisi lain sinyal yang dikeluarkan sesuai yang diperlukan oleh peralatan penggerak (*actuator*).

3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan mendesain modul PLC *trainer* serbaguna dengan merevitalisasi PLC tipe OMRON CPM1A-40CDR-A-V1 yang mempunyai CPU dan modul antar muka *input output* terpadu dalam satu unit PLC (tipe mikro PLC). PLC yang digunakan berkemampuan menyerupai relay dengan total 40 *input* dan *output* dengan 24 *port input* dan 16 *port output*. Dengan kapabilitas I/O ini, PLC mampu menerima berbagai macam *output* sensor yang sudah dikonversi kedalam bentuk digital dengan minimum keadaan ON14.4 VDC dan maksimum OFF5 VDC. Selain itu, *output* juga bisa digunakan untuk menggerakkan relay baik DC maupun realy AC tegangan tinggi. Langkah selanjutnya

adalah menempatkan PLC di dalam kotak dan menempatkan konektor-konektor eksternal diluar kotak dengan pengawatan dan hasil akhir terlihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. PLC OMRON CPM1A-40CDR-A-V1 menunjukkan (A) Diagram (B) Hasil Akhir Trainer PLC.

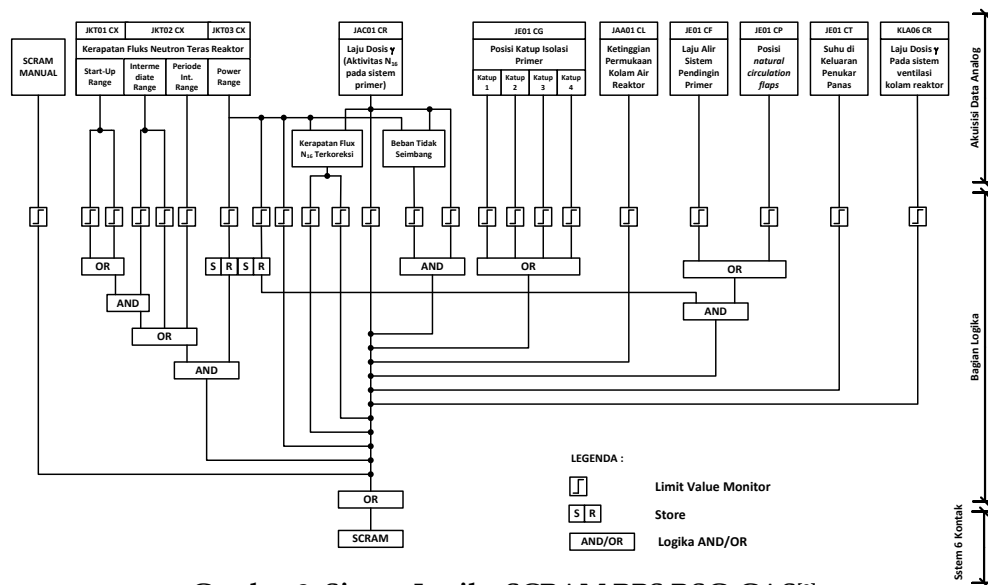
Gambar 2 menunjukkan PLC *trainer* yang dibuat untuk memudahkan implementasi berbagai aplikasi, mulai dari simulasi logika, pengontrolan hidrolik, *pneumatic*, ataupun otomasi sistem, dengan cara mengintegrasikan *Input-Output* OMRON CPM1A-40CDR-A-V, catu daya, dan pengawatan ke perangkat eksternal dalam satu kotak. Terlihat di Gambar 2 (a), skema pengawatan antar muka *input* dan *output* memberikan keleluasaan bagi pengguna untuk memanfaatkan masukan dan keluaran sekaligus menghubungkannya langsung dengan sensor atau aktuator eksternal yang dilengkapi catu daya eksternal pula. Beberapa fitur yang terdapat pada PLC *trainer* antara lain adalah LED yang dihubungkan dengan *output* memberikan fasilitas untuk mengecek benar tidaknya keluaran sebuah program dengan cepat (Gambar 2 (a) : LED yang terkoneksi dengan resistor 150 Ω). Selain itu saklar *ON/OFF* juga dapat digunakan untuk mensimulasikan masukan dari sensor. Untuk menyalakan LED dan mensimulasikan saklar *ON/OFF*, PLC *trainer* dilengkapi dengan catu daya internal seperti terlihat di skematik Gambar 2 (a). Hasil PLC *trainer* tampak luar dengan kabel *jumper* terhubung terlihat di Gambar 2 (b). Untuk mengevaluasi unjuk kerja PLC *trainer* dilakukan uji fungsi dengan mengambil contoh dua kasus, yaitu RPS Reaktor Riset RSG-GAS dan pengendalian level air pada Perangkat Simulasi Sistem DuaTangki.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

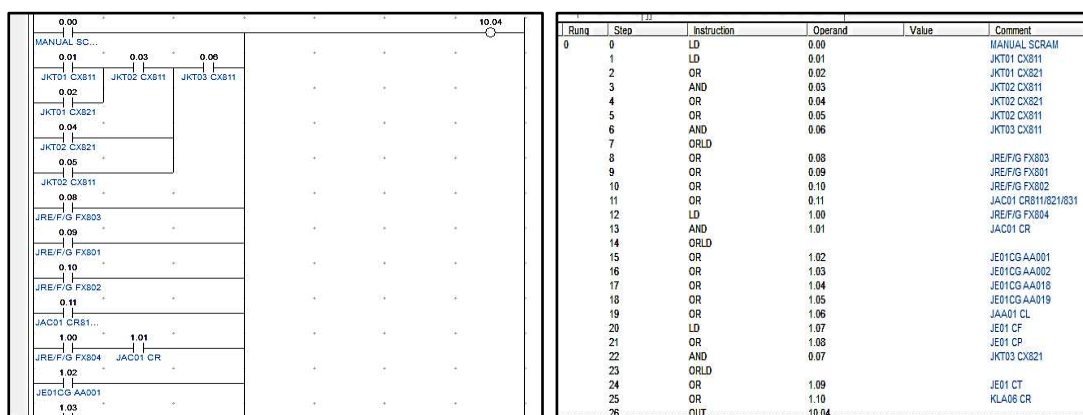
4.1. Uji Fungsi dan Analisis Pada Kasus Simulator RPS RSG GAS

Reactor Protection System (RPS) RSG-GAS yang merupakan fitur keselamatan inheren adalah salah satu bagian penting untuk menjamin keselamatan pengoperasian reaktor. Sistem RPS RSG-GAS meliputi tiga sistem tindakan protektif, seperti "*reactor start-up interlocking*", *trip* reaktor (SCRAM) dan ragam keselamatan teknik. Pada dasarnya sistem RPS yang terdiri dari sistem data akuisisi, sistem analog, sistem logika, dan sistem 6 kontak seperti terlihat pada Gambar 3^[7]. Sistem data akuisisi beberapa parameter RSG GAS dimana

tiap parameter ini menggunakan redundansi tiga yang ditunjukkan pada Gambar 3, antara lain kerapatan fluks neutron, laju dosis- γ (aktivitas N-16) pada sistem pendingin primer, laju dosis- γ pada sistem ventilasi kolam reaktor, laju alir/debit sistem pendingin primer, ketinggian permukaan air kolam reaktor, posisi katup isolasi sistem primer, posisi *natural circulation flap*, dan suhu keluaran pada penukar panas. Bagian selanjutnya adalah pengolahan data analog yang mengubah arus 0-20 mA menjadi tegangan 0-10V sekaligus melakukan perhitungan beberapa variabel keselamatan dan mengirimkan datanya melalui beberapa rangkaian ke ruang kendali utama, darurat dan sistem penampil/perekam lainnya. Sebagai catatan, sistem pengolah data analog ini juga terdiri dari redundansi tiga. Sinyal-sinyal analog ini selanjutnya diubah menjadi sinyal biner dan digunakan untuk memicu tindakan protektif keselamatan reactor melalui sistem logika RPS. Mengingat keterbatasan *port input* PLC dan fasilitas penunjang lainnya, dalam pengujian ini hanya akan disimulasikan sistem logika SCRAM dari RPS RSG-GAS (Gambar 3) setelah keluaran harga batas tanpa mempertimbangkan redundansi.



Gambar 3. Sistem Logika SCRAM RPS RSG-GAS^[8].

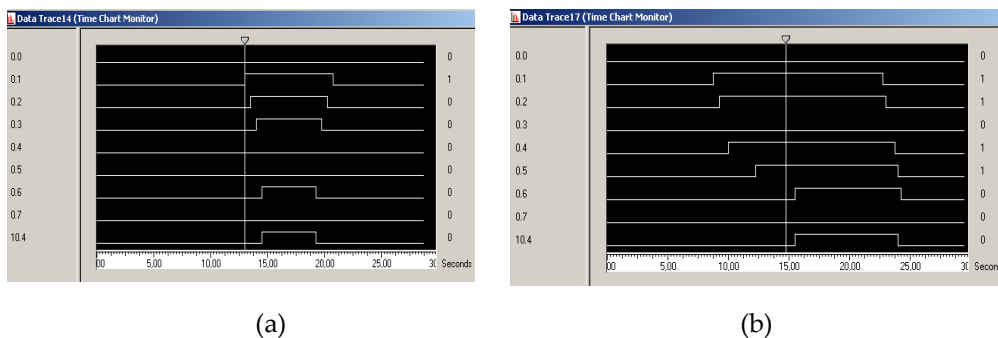


Gambar 4. (a) Penggalan Program Ladder, (B) Mnemonic Logika SCRAM RPS RSG-GAS.

Gambar 3 menunjukkan 23 buah pemantauan *limit value* masing-masing parameter yang berfungsi membandingkan nilai yang diperoleh dari bagian data akuisisi analog redundan dengan harga-harga batas tertentu sesuai dengan aspek keselamatan. Di reaktor, rangkaian logika ini masih tersusun dari beberapa system modul kartu (*card module system*) *Extended Dynamic Magnetic* (EDM) buatan Siemens, seperti modul *input* (modul *limit switch*), modul logika (modul gerbang dan modul 2003), modul keluaran dan modul transmisi sinyal (modul *dynamic signal input*, *dynamic signal output*, modul *signal transfer*, dan modul *decoupler*). Dengan PLC, maka modul-modul pada sistem logika ini dapat disederhanakan tanpa mengurangi unjuk kerja dan keandalannya. Walaupun dalam penelitian ini, PLC tidak diimplementasikan persis seperti bagian logika RPS berikut redudansinya, namun prinsip kerja bagian logika RPS dapat didemonstrasikan seperti terlihat pada diagram *ladder* berikut ini (Gambar 4).

Gambar 4 menunjukkan penggalan program diagram *ladder* berikut *mnemonic* untuk mensimulasikan logika RPS reaktor riset RSG-GAS di Gambar 3. Terlihat di Gambar 4 (a) setiap hasil keluaran dari nilai batas (*limit value*) Gambar 3 diwakili oleh sebuah *switch contact normally open*. Sedangkan *output* koil mewakili *relay* pemutus catu daya magnet pada sistem 6 kontak pemegang batang kendali JDA 10/11 yang menginisiasi kejadian SCRAM. Gambar 4 (b) menunjukkan seluruh program simulator logika SCRAM RPS dalam format *mnemonic*. Seluruh alamat *port input* 0000-0011 dan 0100-0110 dan alamat *port output* 1004 (untuk *relay* pemutus catu daya batang kendali) digunakan sebagai *operand*, seperti terlihat pada kolom 3 dan seluruh detail instruksi logika bisa terlihat di kolom 2. Dalam simulasi ini tidak dibutuhkan pengaturan *timing* atau *delay* tertentu dengan asumsi bahwa setiap terjadi perubahan signifikan lewat batas harga parameter tertentu, maka kejadian ini haruslah segera memicu sebuah aksi SCRAM.

Hasil pengujian terhadap logika SCRAM terlihat seperti di Gambar 5 saat JKT 01, JKT 02 dan JKT 03 melewati harga batas. Gambar 5 (b) menunjukkan bahwa logika ini sukses mengaktifkan sinyal SCRAM ditandai dengan menyalnya LED merah. Hal ini dikonfirmasi dalam *modemonitoring* di pemrograman CX-One™ di *ladder program* dimana *switch* kontak dan *output* koil juga dapat dikonfirmasi (menyala).



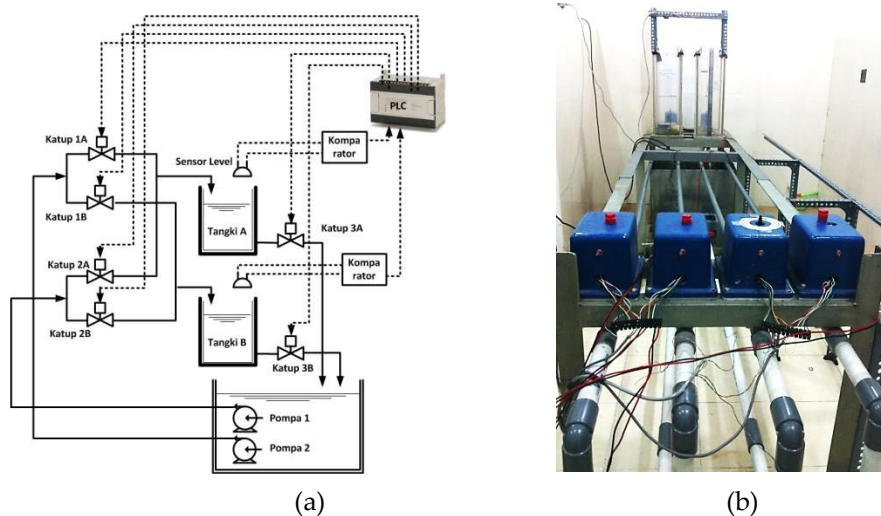
Gambar 5. (a) Analisis Data Dalam Domain Waktu Urutan Inisiator SCRAM, Dan (b) Contoh Lain Kasus Skenario SCRAM.

Guna memberikan pemahaman yang lebih mendalam, dilakukan analisis pewaktuan PLC dengan menggunakan fasilitas *data trace monitoring* Cx-One™ dan hasilnya terlihat pada Gambar 5 (a) dan (b). Teknik ini akan menjadi salah satu solusi untuk menganalisis urutan inisiator atau menentukan penyebab utama SCRAM, seperti yang sering menjadi kendala pada RSG-GAS. Selain itu akurasi pewaktuan logika SCRAM ataupun jenis pengontrolan lainnya dapat ditentukan agar diperoleh desain yang lebih baik. Gambar 5 (a) dan (b) menunjukkan rangkaian alamat *input* yang dimonitor (0000-0007) dan *output* alamat sinyal

SCRAM (1004) dari waktu ke waktu (dalam detik). Gambar 5 (a) mendemonstrasikan skenario saat JKT01 CX811 (alamat 0001) HIGH, kemudian disusul oleh JKT01 CX821 (alamat 0002) HIGH, dan diikuti oleh JKT02 CX811 (alamat 0003) HIGH. Tiga kejadian ini tidak mengakibatkan SCRAM, mengkonfirmasi logika RPS yang ditampilkan di Gambar 4 (a). Sesaat kemudian, terjadi sinyal JKT03 CX811 (alamat 0006) HIGH yang mengakibatkan terpenuhinya logika SCRAM dan seketika mengaktifkan kontaktor SCRAM (alamat 1004). Skenario lain yang lebih kompleks ditampilkan di Gambar 5 (b) yang sekaligus juga mengkonfirmasi *applicability* implementasi teknik ini sekaligus akurasi PLC dalam memberikan berbagai keputusan logika-logika SCRAM RPS dengan seketika. Meskipun pengujian fungsi ini berhasil, namun untuk implementasi sistem nyata yang menyangkut keselamatan membutuhkan langkah verifikasi dan validasi lebih lanjut, seperti menggunakan metode analisis formal dengan *time petri net* atau *fiarci*.

4.2. Uji Fungsi dan Analisis pada Kasus Pengendalian Level Air Perangkat Simulasi Sistem Dua Tangki

PLC trainer juga diujifungsikan pada sistem riil dengan memanfaatkan fasilitas eksperimen Perangkat Simulasi Sistem Dua Tangki (Gambar 6) terpasang di Laboratorium Simulasi Instrumentasi dan Kendali Sistem Keselamatan PTRKN. Sistem kendali *Proportional Integral* (PI) dan *Projected Desired Trajectories* (PDT) telah diimplementasikan terhadap sistem pengaturan dua tangki thermohidrolika ini^[9,10]. Selain itu, penelitian lain juga mensimulasikan desain sistem proteksi terhadap sistem pengaturan dua tangki dengan *Electronic Workbench*^[11].



Gambar 6. Sistem Pengendalian Fasilitas Ekperimen Perangkat Simulasi Sistem Dua Tangki dengan Menggunakan PLC (a) Diagram dan (B) Foto.

Keterangan:

- 1A = Katup *input* dari pompa 1 ke tabung A
- 1B = Katup *input* dari pompa 1 ke tabung B
- 2A = Katup *input* dari pompa 2 ke tabung A
- 2B = Katup *input* dari pompa 2 ke tabung B
- 3A = Katup *output* dari tabung A
- 3B = Katup *output* dari tabung B

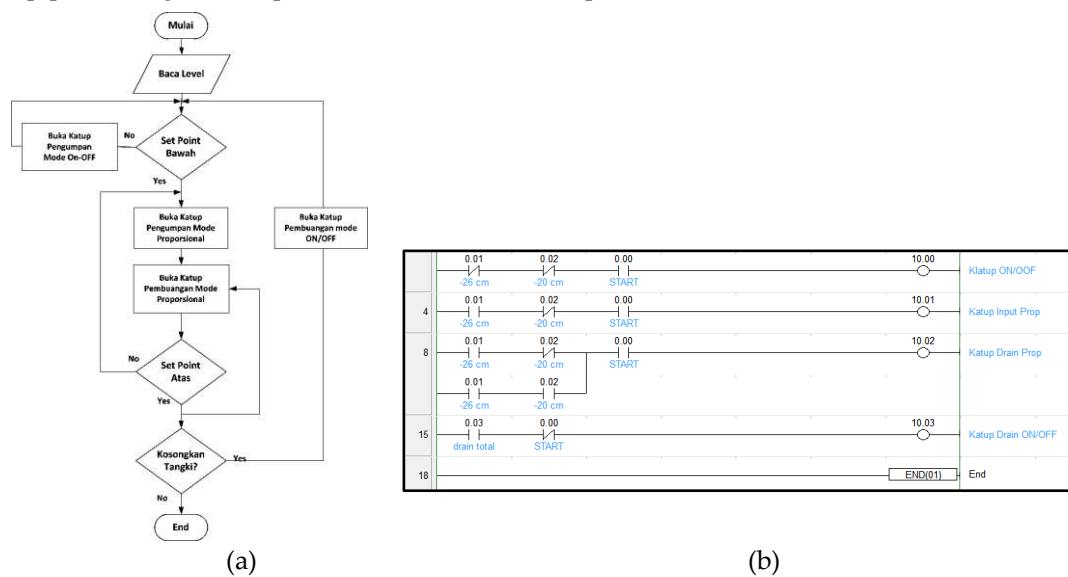
Gambar 6 menunjukkan diagram Perangkat Simulasi Sistem Dua Tangki. Perangkat ini diadopsi dari konsep simulator mekanis *Dual Reservoir System Simulation* (DURESS) yang

dikembangkan oleh Kim J. Vicente^[10]. Perangkat ini terdiri dari dua untai umpan air saling silang dengan memanfaatkan dua katup pengatur aliran di tiap untai aliran dari sebuah *submersible pump*. Katup ini dibuka secara penuh dan ditutup secara penuh dengan perintah ON/OFF dari PLC. Sedangkan sensor jarak, yang digunakan sebagai sensor level, akan mengukur jarak antara sensor dan permukaan air yang direpresentasikan sebagai ketinggian air dalam tangki. Pada ketinggian tertentu, sinyal keluaran sensor berupa tegangan akan mengaktifkan input PLC setelah dilewatkan pada komparator yang mengubahnya menjadi sinyal digital. Sinyal informasi ketinggian air ini akan digunakan untuk menutup dan membuka katup tertentu.

4.3. Hasil Uji Fungsi

Mengingat fungsi utama PLC CPM1A-40CDR-A-V1 sebagai *relay*, maka penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan skenario berbasis pengendalian tipe ON/OFF. Pada dasarnya skenario dibuat dengan mengkombinasikan buka tutup katup dengan mendeteksi tinggi permukaan air pada set point batas bawah (-23cm dari sensor) dan saat *set point* batas atas (-20 cm dari sensor) dengan satu pompa yang ditunjukkan pada Gambar 7.

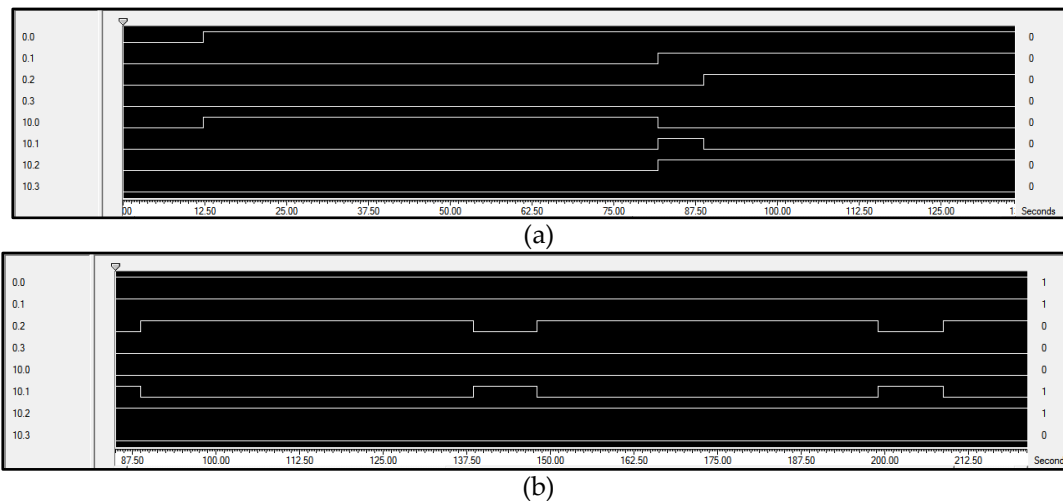
Gambar 7 (a) adalah ilustrasi diagram alir pengendalian dua katup masukan dan satu katup pengurasan dengan satu pompa (yaitu pompa 2). Sebagai contoh untuk kasus pengisian Tangki A. Katup 1A akan membuka penuh jika level air lebih rendah dari batas bawah *set point* (menggunakan mode ON/OFF). Selanjutnya jika batas bawah *set point* terlampaui, maka katup 1A akan tetap membuka namun dengan mode proporsional, sementara katup pembuangan (katup 3A) akan terbuka penuh (mode proporsional). Namun jika *set point* batas atas terlampaui, maka katup 1 mode proporsional akan tertutup namun katup pembuangan (katup 3A) masih akan terbuka penuh.



Gambar 7. (a) Diagram Alir Skenario Uji Katup dan Sensor Terhadap Untai Pengaturan pada Satu Tangki dan (b) Implementasi Diagram Laddernya.

Pada dasarnya pengisian akan beresilasi antara batas bawah *set point* dan batas atas *set point* untuk menjaga kestabilan tinggi permukaan. Gambar 7 (b) adalah implementasi dari *flow chart* dimana sistem dilengkapi dengan tombol *start* (untuk menyalakan sistem) di alamat 0000 dan tombol *safety* pengosongan total jika tombol *start* di matikan (alamat 0003) apapun kondisi operasi saat itu. Sebagai catatan bukaan proporsional adalah seperempat bukaan penuh yang digerakkan oleh port *output* dari PLC dengan tegangan 2 V ke katup

proporsional. Dengan skenario sederhana ini, program *ladder*-nya ditunjukkan pada Gambar 7 (b), dimana alamat sensor yang dipakai 0001 dan 0002, serta alamat 1000 untuk katup mode *ON/OFF*, alamat 1001 untuk katup masukan mode proporsional, dan alamat 1002 untuk katup pembuangan mode proporsional, dan 1003 untuk pembuangan mode *ON/OFF*. Gambar 8 menunjukkan grafik pengujian yang menyeluruh mulai dari pengisian tangki dari kosong sampai hingga mengendalikan level di antara dua batas *set points* (antara batas atas dan bawah).



Gambar 8. Hasil Pengujian Sistem Pengaturan Ketinggian.

Terlihat bahwa dengan menggunakan pompa pendorong ke 1 untuk mengisi tangki A, katup pengisian dengan mode membuka penuh akan aktif (alamat 1000HIGH) setelah tombol *start* (alamat 0000) ditekan pada 12,5 detik. Tangki A terdeteksi di batas bawah *set point* pada detik ke 81,75 (lihat di alamat 0001), dan membuat katup masukan *ON/OFF* tertutup penuh, katup masukan proporsional aktif (alamat 1001HIGH) dan katup pengeluaran proporsional aktif pula (alamat 1002 HIGH). Namun setelah 7 detik (lihat detik ke 88,75), ketinggian air menyentuh batas atas yang akan mematikan katup masukan proporsional (alamat 1001 LOW) tetapi tetap membiarkan katup pengeluaran proporsional terbuka selama 49,75 detik (lihat detik ke 138,5) sampai batas bawah tercapai. Teknik sederhana menjaga ketinggian dengan cara mengulang buka tutup katup proporsional masukan saat proporsional keluaran dijaga tetap terbuka, akan terus berulang seperti terlihat di Gambar 8 (b) (lihat aksi input pada alamat 0,02 dan katup di alamat 1001). Pengujian dengan analisis pewaktuan ini membuktikan berhasilnya pengujian sekaligus menggambarkan unjuk kerja PLC *trainer* untuk perangkat simulasi pengendalian dua tangki. Selain itu, PLC analisis pewaktuan dapat menjelaskan laju alir sekaligus karakteristik sistem dua tangki dengan lebih detail secara sederhana, dan skenario yang lebih kompleks. Oleh karena itu, untuk kondisi kendali yang lebih riil, implementasi sensor analog yang mampu memantau kedalaman secara kontinu dan fungsi penuh katup proporsional sangat diperlukan.

5. KESIMPULAN

PLC *trainer* serbaguna berhasil dibuat dengan memanfaatkan CPM1A Omron untuk investigasi keselamatan dan keandalan di reaktor nuklir. Dua kasus uji fungsi membuktikan keberhasilan implementasi PLC *trainer*, diantaranya simulasi sistem proteksi reaktor (RPS) RSG-GAS dan simulasi pengendalian level dua tangki.

Analisis pewaktuan simulator logika SCRAM sistem proteksi reaktor RSG-GAS menggunakan PLC membuktikan kemudahan penentuan urutan atau inisiator kejadian SCRAM dalam orde milidetik yang akan sangat bermanfaat untuk implementasi dalam sistem yang sebenarnya. Pengujian kedua untuk pengendalian level air pada sistem simulasi dua tangki juga menunjukkan kesederhanaan pengoperasian PLC *trainer* untuk mempertahankan level diantara batas atas dan batas bawah *set point* dibanding menggunakan *relay logic analog*. Kesederhanaan ini juga berarti lebih terjaminnya kehandalan perangkat dan peningkatan keselamatan sistem operasi kendali secara umum. Penelitian yang akan datang, sangat berpotensi untuk implementasi kendali dan skenario yang lebih kompleks, implementasi metode *sensorless*, selain juga analisis kehandalan perangkat lunak PLC dalam sebuah sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ZHAO F, DU W, XU Y, HU Z., "Programmable logic controller applied in steam generators water levels". Industry Applications Conference, 1996 Thirty-First IAS Annual Meeting, IAS '96, Conference Record of the 1996 IEEE; 1996 6-10 Oct 1996.
- [2]. JOO HYUN P, DONG YONG L, CHANG-HWOI K., "Development and EQ test of the KNICS RPS Prototype". Nuclear Science Symposium Conference Record, 2005 IEEE; 2005 23-29 Oct. 2005.
- [3]. SUH YS, PARK JY, KANG HT, KIM HS., "An overview of instrumentation and control systems of a Korea standard nuclear power plant: A signal interface standpoint". Nuclear Engineering and Design. 2008;238(12):3508-21.
- [4]. SUJARWONO, GUSMAN R., "Penggantian Kendali PRTF (*Power Ramp Test Facility*) pada Reaktor RSG-GAS dengan PLC SIMATIC TIPE S7 300". Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, 27 Juli 2011; 2011; Yogyakarta: BATAN.
- [5]. SUJARWONO. "Visualisasi Pergerakan Batang Kendali Reaktor RSG-GAS", Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, STTN-BATAN & Fak Saintek UIN SUKA , 18 November 2010; 2010; Yogyakarta: BATAN.
- [6]. BOLTON W., "Programmable Logic Controllers. Burlington", USA: Newnes; 5 edition; 2009.
- [7]. YULIANTO YE. "Sistem Instrumentasi dan Kendali RSG-GAS", Bahan Kursus Perawatan. Serpong 2002.
- [8]. _____, "Safety Analysis Report (SAR)", BATAN, MPR-30, Rev.7 , Vol.2. Serpong.1989.
- [9]. PAMBUDI, YDS., "Penerapan Pemodelan dan Metode Kurva Reaksi Proses Untuk Mengidentifikasi Sistem DURESS". Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, 19 Juli 2011; 2011; Yogyakarta: PTAPB - BATAN.
- [10]. PAMBUDI, YDS., "Penerapan Pengendali PI dan Prediktif Metode *Projected Desired Trajectories* Untuk Pengendali Level Terkondisi Pada Sistem *Dual Reservoir*". Jakarta: Universitas Indonesia; 2010.
- [11]. SUDARNO. "Analisis Desain Sistem Instrumentasi Untuk Aktuasi Sistem Proteksi DURESS", Prosiding Seminar Nasional ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, 17 Oktober 2009; 2009; Surakarta: Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nulir, BATAN. 2009