



PEREKAYASAAN SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI REAKTOR NUKLIR

Djoko Hari Nugroho, Demon Handoyo, Khairul Handono

PRPN BATAN, Kawasan PUSPIITEK, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK.

PEREKAYASAAN SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI REAKTOR NUKLIR. Kegiatan ini merupakan perekayasaan multi years (2010 - 2014) dengan tujuan agar diperolehnya kemampuan sumber daya manusia dan infrastruktur dalam melakukan perekayasaan dan inovasi sistem instrumentasi kendali reaktor nuklir. Pada tahun anggaran 2012 dilakukan Perekayasaan Sistem Instrumentasi kendali Reaktor Nuklir pada tingkat supervisory control yang diterapkan pada model reaktor. Keluaran kegiatan adalah diperolehnya prototype sistem instrumentasi dan kendali serta Human Machine Interface reaktor nuklir tingkat supervisory control dan implementasinya pada model sistem reaktor. Metodologi yang dipergunakan adalah melakukan pemodelan sistem dan prototyping fasilitas. Perekayasaan sistem instrumentasi dan kendali pada reaktor nuklir direpresentasikan pada simulator elektronik berbasis NI PXI-1031 yang dilengkapi modul FPGA PXI 7811-R dan Devicenet NI PXI 8532 dengan menggunakan pemrograman LabVIEW dan PLC Siemen S7-300. Dalam konfigurasi ini komputer PC dan perangkat keras berbasis NI bertindak sebagai modul yang merepresentasikan model matematika reaktor nuklir sedangkan PLC Siemen bertindak sebagai kontroler. Sesuai target, maka pada pelaporan tahap ini telah dilakukan pemasangan perangkat keras dan perangkat lunak serta sebagian pengujian sistem. Ditargetkan pada akhir tahun anggaran 2012 telah dapat diperoleh prototipe sistem.

Kata Kunci : perekayasaan, instrumentasi dan kendali, reaktor nuklir, supervisory control, NI, PLC

ABSTRACT.

INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEMS ENGINEERING DESIGN ON THE NUCLEAR REACTOR. This activity is a multi year engineering activity from FY 2010 up to 2014. The aim of the activity is to improve the human resources and infrastructure capability in performing engineering design and innovation of the nuclear reactor instrumentation and control system. Nuclear reactor instrumentation and control system engineering at the supervisory control level has been conducted to the model of the reactor coolant system in FY 2012. Output of the activity is prototype of instrumentation and control system, Human Machine Interface for nuclear reactor supervisory control level, and the implementation to the model of reactor model system. Methodology used in this activity is to perform system modeling and prototyping. Instrumentation and control system engineering in a nuclear reactor is represented in the electronic simulator which consists of NI PXI-1031 completed with FPGA PXI 7811-R and Devicenet NI PXI 8532 utilizing LabVIEW programming and PLC Siemen S7-300. In the system configuration, mathematical model of the nuclear reactor is articulated to the Personal Computer and NI-based module, and Siemen S7-300 type PLC is utilized as controller. Hardware and software installation as well as some system testing on target has been carried out at this reporting stage. Hope that at the end of fiscal year 2012 a prototype system will be realized.

Keyword: engineering design, instrumentation and control, nuclear reactor, supervisory control, NI, PLC



1. PENDAHULUAN

Dalam rangka program energi BATAN yang bertujuan untuk mendukung program pembangunan PLTN di Indonesia, maka diperlukan penguasaan akan desain reaktor riset dan reaktor daya yang didukung oleh SDM yang berkualitas. Tujuan dasar pengoperasian pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) adalah memproduksi listrik pada kondisi ekonomik optimal dengan penekanan utama pada jaminan keselamatan terhadap publik, pekerja dan lingkungan.

Sesuai perkembangan teknologi, maka instrumentasi dan kendali digital telah dikembangkan untuk meningkatkan otomatisasi dan *fault tolerance* untuk meningkatkan ketersediaan (*availability*), mengurangi resiko kecelakaan, dan menurunkan ongkos operasi. Keunggulan ini direpresentasikan pada pengembangan instrumentasi, kontrol, manajemen informasi, dan sistem pengambilan keputusan yang menggunakan dan mengadaptasi kemajuan teknologi instrumentasi dan kontrol digital, komunikasi, dan teknologi antarmuka manusia-mesin termasuk peralatan analisis mikro dan “smart” sensor, validasi signal on-line, dan sistem pengawasan (*monitoring*).

Di pihak lain usia instrumentasi dan kendali reaktor milik BATAN yang sudah semakin tua dan dan mempertimbangkan pasokan pasar instrumentasi dan kendali nuklir yang semakin mahal, maka diperlukan kemampuan mandiri untuk melakukan pengelolaan, perawatan, inovasi dan perengkayaan terkait instrumentasi dan kendali nuklir di BATAN. Untuk mencapai penguasaan desain dan menghasilkan inovasi terkait instrumentasi dan kendali reaktor riset diperlukan SDM yang handal dan perangkat/fasilitas laboratorium pendukung, terutama fasilitas eksperimen instrumentasi dan digital untuk sistem reaktor nuklir. Agar diperoleh SDM yang handal maka diperlukan sertifikasi personil dan pemahaman akan standar nasional serta internasional.

Tujuan kegiatan adalah agar diperolehnya kemampuan sumber daya manusia dalam melakukan perengkayaan dan inovasi sistem instrumentasi kendali dengan konsep Computer Integrated System pada level supervisory untuk reaktor nuklir. Sasaran Akhir Kegiatan adalah diperolehnya paket teknologi sistem instrumentasi dan kendali serta Human Machine Interface reaktor nuklir tingkat Management Information System yang dapat mendukung litbangyasa BATAN dan memenuhi kebutuhan kalangan industri. Pada tahun kegiatan 2010 telah dapat diselesaikan perengkayaan system instrumentasi dan kendali yang diimplementasikan untuksimulator mekanik batang kendali. Sedangkan sasaran Kegiatan Tahun 2011 adalah meningkatkan penguasaan dan hasil pengembangan teknologi perengkayaan sistem instrumentasi dan kendali reaktor nuklir



pada tingkat *local controller* [1]. Sasaran pada tahun anggaran 2012 diharapkan akan dapat diperoleh teknologi perekayasa sistem instrumentasi dan kendali reaktor nuklir pada tingkat *supervisory control* [2].

2. TEORI

Instrumentasi merupakan pengetahuan dalam penerapan alat ukur dan sistem pengendalian pada suatu sistem dengan menggunakan harga numerik variabel besaran proses dan dengan tujuan agar parameter berada dalam batas daerah tertentu atau mencapai tujuan kinerja yang diinginkan.

Operasi di reaktor nuklir sangat bergantung pada pengukuran dan pengendalian besaran proses, misalnya aliran di dalam pipa, tekanan (pressure) di dalam sebuah vessel, temperatur di unit heat exchanger, serta tinggi permukaan (level) zat cair di sebuah tangki. Selain besaran proses tersebut, beberapa besaran proses lain yang cukup penting dan kadang-kadang perlu diukur dan dikendalikan oleh karena kebutuhan specific proses, diantaranya : *hydrogen ion concentration (pH), moisture content, conductivity, density or specific gravity, combustible content of flue gas, oxygen content of flue gas, chromatographic stream composition, nitrogen oxides emissions, calorimetry (BTU content)* dan sebagainya. Besaran-besaran ini ada yang perlu diukur secara online dan ada juga yang hanya diukur atau dianalisa di laboratorium.

Sistem pengendalian proses terdiri atas beberapa unit komponen antara lain ;

- sensor/transducer yang berfungsi menghasilkan informasi tentang besaran yang diukur,
- transmitter yang memproses informasi atau sinyal yang dihasilkan oleh sensor/transducer agar sinyal tersebut dapat ditransmisikan,
- kontroler yang berfungsi membandingkan sinyal pengukuran dengan nilai besaran yang diinginkan (set point) dan menghasilkan sinyal komando berdasarkan strategi control tertentu serta
- aktuator yang berfungsi mengubah masukan proses sesuai dengan sinyal

Pengukuran yang teliti dan sistem kontrol yang tepat akan menghasilkan nilai parameter sistem yang sesuai dengan harga perancangannya. Hal ini akan dapat menghemat biaya operasi serta perbaikan keluaran.

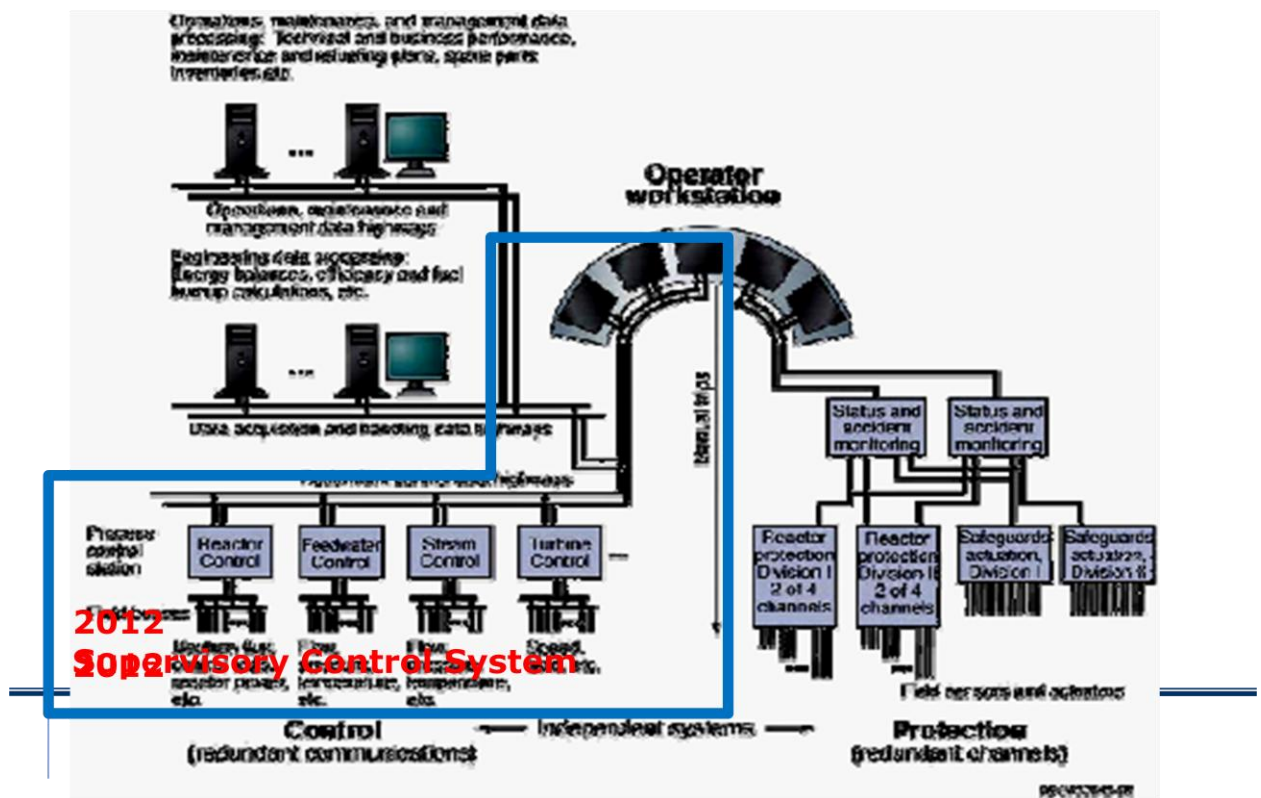
Pencegahan terhadap operasi abnormal dan kegagalan sistem dapat dilakukan dengan (a) menggunakan instrumentasi dan pengendalian yang terkait dengan



keselamatan atau sering disebut sebagai *safety related instrumentation and control (I&C)* dan (b) memastikan keandalan integritas struktur, komponen dan sistem dari pengaruh operasi reaktor. *Safety related I&C* merupakan bagian dari sistem keselamatan yang menggunakan sistem instrumentasi dan pengendalian pada saat terjadi *malfuction* atau kegagalan yang dapat mengakibatkan paparan radiasi pada personil instalasi ataupun masyarakat luas. *Safety related I&C* meliputi semua alokasi sensor sampai sistem mekanik perangkat penggeraknya, antarmuka operator, dan peralatan pendukungnya. Termasuk di dalam sistem ini adalah sistem pengendalian reaktor, I&C dalam ruang kendali utama, sistem untuk memonitor dan mengendalikan pendinginan reaktor, monitoring radiasi, perangkat komunikasi, serta perangkat pendukung lain. Fungsi penting instrumentasi dan pengendalian adalah untuk memastikan keselamatan dan efisiensi operasi suatu reaktor nuklir.

Terdapat berbagai jenis sistem monitoring dan pengendalian di dalam reaktor riset maupun pembangkit daya nuklir seperti PWR. Sistem tersebut memiliki fungsi utama untuk menunjukkan status instalasi dan informasi proses. Sinyal tersebut merupakan masukan untuk sistem kendali, anunsiasi status dan aktivasi sistem yang penting untuk keselamatan dan sistem yang lain.

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa sistem instrumentasi dan kendali pada reaktor nuklir mengelola input-output ke dan dari reaktor yang bertujuan untuk dapat menjamin proses dalam reaktor dapat memberikan kinerja seperti yang diinginkan dan memiliki tingkat keselamatan sesuai yang diharapkan. Untuk mendukung penguasaan teknologi instrumentasi dan kendali pada reaktor nuklir secara integratif, maka pada kegiatan perekayasa instrumentasi dan kendali pada reaktor riset dibangun jaringan sistem digital ke reaktor nuklir bertujuan untuk membuat sistem lebih efisien dengan performansi yang lebih tinggi.



Gambar 1. Lingkup Supervisory Control System pada Instrumentasi dan Kendali Reaktor Nuklir

3. METODOLOGI

Metodologi yang dipergunakan adalah melakukan perancangan sistem instrumentasi dan kendali reaktor riset dan daya dibagi dalam beberapa tahap yaitu melakukan (a) desain, (b) pembuatan, dan (c) pengujian untuk sistem instrumentasi dan kendali reaktor riset dan model sistem pendingin primer reaktor riset sebagai reference plant. Metodologi yang dipergunakan adalah melakukan rancang bangun fasilitas, pemahaman standar. Untuk rancang bangun akan dibagi dalam beberapa tahap yaitu melakukan (a) desain, (b) konstruksi, dan (c) pengujian untuk sistem instrumentasi dan kendali reaktor riset

Dalam kegiatan terkait reaktor riset akan dilakukan desain dan konstruksi fasilitas eksperimental terkait implementasi instrumentasi dan kontrol digital di sistem pendingin primer reaktor riset. Untuk implementasi sistem digital akan diintegrasikan smart I/O ke dalam remote terminal unit yang direpresentasikan ke dalam jaringan komputer DCS. Implementasi sistem digital dan jaringan ke reaktor nuklir bertujuan untuk membuat



sistem lebih efisien dengan performansi yang lebih tinggi. Untuk tahun-tahun mendatang, ke dalam sistem akan diintegrasikan sistem kontrol dan sistem proteksi serta management information system. Fasilitas ini merupakan tahap awal dari langkah penguasaan sistem instrumentasi dan kontrol pada reaktor riset.

Ruang lingkup kegiatan secara garis besar adalah melakukan beberapa tahap yaitu melakukan (a) desain, (b) konstruksi, dan (c) pengujian untuk sistem instrumentasi dan kendali reaktor riset Analisis sistem monitoring dan pengendalian secara digital pada reaktor nuklir dilakukan dengan cara menganalisis (a) jenis-jenis transduser, prinsip pengukuran dan metode yang dipergunakan, (b) transformasi pengkondisian sinyal dan transmisinya untuk memastikan tidak adanya kesalahan dalam antarmuka dengan unit lain. Modul/prototype yang sudah dibuat melalui perekayasaan dan inovasi kemudian diuji dalam laboratorium dan hasilnya dianalisis untuk memperbaiki performansi modul/prototipe tersebut.

Kegiatan dilakukan di Laboratorium yang terletak di PRPN-Serpong. Untuk meningkatkan kemampuan SDM akan dilakukan pelatihan, diseminasi serta mengikuti presentasi ilmiah

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain umum Level kedua tahun kegiatan 2012 adalah *Supervisory Control System* yang diaktualisasikan dalam [2] :

- a. penerapan *Advanced Process Control (MRAC dan Robust)*
- b. kontrol operasi unit process berbasis DCS, dimana output dari aplikasi ini akan diimplementasikan sebagai basic process control yang dijalankan di DCS dalam konfigurasi jaringan

4.1. ADVANCED PROCESS CONTROL

Untuk membangun simulasi dibangkitkan model reaktor nuklir yang berbasiskan pada Persamaan Difusi seperti tampak pada persamaan 1 dengan menggunakan persamaan titik seperti tampak pada persamaan 2 sebagai berikut :

Persamaan Difusi :



$$\frac{1}{v_g} \frac{\partial \phi_g(\vec{r}, t)}{\partial t} - \vec{\nabla} \cdot D_g(\vec{r}) \vec{\nabla} \phi_g(\vec{r}, t) + \Sigma_{fg}(\vec{r}) \phi_g(\vec{r}, t) = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{g'g}(\vec{r}) \phi_{g'}(\vec{r}, t) + \frac{\chi_g}{k_{eff}} \sum_{g'=1}^G v_{g'} \Sigma_{fg'}(\vec{r}) \phi_{g'}(\vec{r}, t) \quad (\text{persamaan 1})$$

Persamaan Kinetika Titik

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta_{eff}}{\Lambda} p(t) + \sum_i \lambda_i C_i(t) \quad (\text{persamaan 2})$$

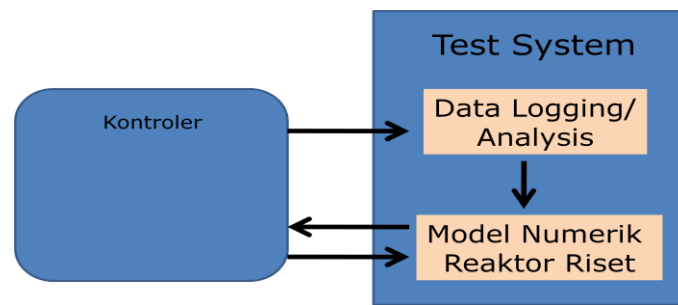
$$\frac{dC_i}{dt} = -\lambda_i C_i(t) + \frac{\beta_i}{\Lambda} p(t)$$

- λ_i = tetapan disintegrasi prekursor neutron tunda ke-i
- C_i = konsentrasi prekursor neutron tunda grup ke-i
- β_{eff} = fraksi neutron tunda efektif
- β_i = fraksi neutron tunda grup ke-i
- l = umur neutron rata-rata di dalam reaktor
- k_{eff} = faktor multiplikasi efektif
- Λ = waktu generasi neutron rata-rata
- $\rho(t)$ = reaktivitas nuklir
- ρ_{ex} = reaktivitas eksternal

Model Thermohidrolika Teras

$$q'''(\vec{r}) = E_f \Sigma_f \phi(\vec{r}) \quad (\text{persamaan 3})$$

Untuk dapat mensimulasikan proses yang dikendalikan oleh sistem instrumentasi dan kendali maka dibuat perangkat simulasi elektronik dengan blok diagram seperti tampak pada Gambar 2. Pada gambar tampak bahwa sistem direpresentasikan dalam model reaktor numerik yang akan menerima masukan dari luar dengan menggunakan data logging. Supervisory control dipergunakan untuk mengendalikan model reaktor nuklir agar mencapai kinerja seperti yang diinginkan. Pada Gambar 3 dapat dilihat perangkat keras berbasis NI-PXI yang akan menjadi model reaktor nuklir.



Gambar 2. Blok Diagram Konfigurasi Simulasi Sistem Instrumentasi dan Kendali Reaktor



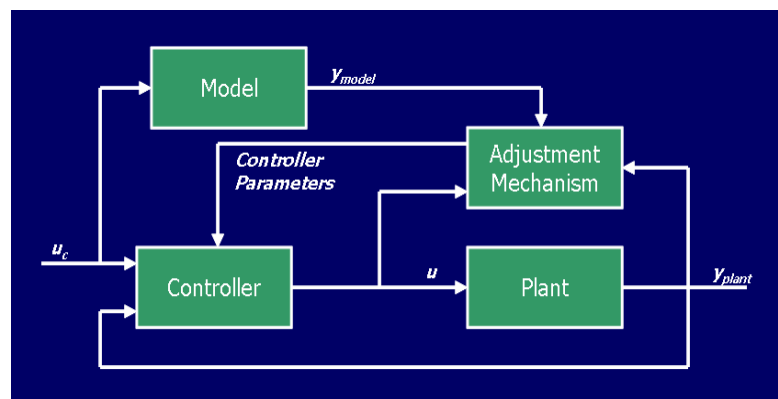
Gambar 3. Perangkat Keras Konfigurasi Simulasi Sistem Instrumentasi dan Kendali Reaktor berbasis NI-PXI [2]

Desain Perangkat Lunak

Desain perangkat lunak terkait dengan Perancangan Algoritma Advanced Control (MRAC, Robust Control System).

MRAC (Model Reference Adaptive Control System)

MRAC membangkitkan kontrol pada instalasi yang adaptif sesuai degradasi parameter plant, dimana tujuan melakukan desain controller adalah men-drive respons plant untuk mencapai respons ideal ($error = y_{plant} - y_{model} \Rightarrow 0$). Pada strategi kontroler ini dipergunakan pemrograman dalam engine Tool box MRAC MATLAB di atas NI Veristand. Blok diagram MRAC dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Blok Diagram MRAC

MIT Rule dinyatakan oleh :

$$\text{Tracking error: } e = y_{plant} - y_{model} \quad \text{(persamaan 4)}$$

$$\text{Dari cost function: } J(\theta) = \frac{1}{2} e^2(\theta) \quad \text{(persamaan 5)}$$

$$\text{Update rule: } \frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\delta J}{\delta \theta} = -\gamma e \frac{\delta e}{\delta \theta} \quad \text{(persamaan 6)}$$

dimana perubahan θ proportional dengan gradient negatif J

Dapat memilih cost functions yang berbeda

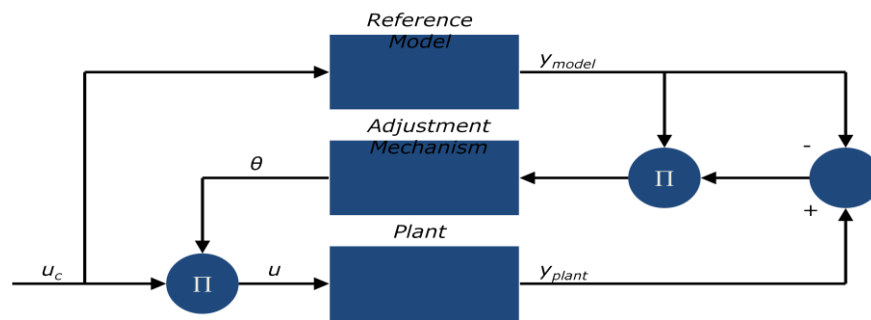
$$\text{Misal : } J(\theta) = |e(\theta)| \quad \text{(persamaan 7)}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta} \text{sign}(e)$$

$$\text{where } \text{sign}(e) = \begin{cases} 1, & e > 0 \\ 0, & e = 0 \\ -1, & e < 0 \end{cases}$$

Berdasarkan cost function dan MIT rule, maka hukum kontrol dapat dibuat

Misal : adaptasi dari feedforward gain seperti tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Blok Diagram Apaptasi dari Feed Forward

Untuk sistem $\frac{Y(s)}{U(s)} = kG(s)$ dimana k diketahui

Tujuan adalah membuat tercapainya $\frac{Y(s)}{U_c(s)} = k_o G(s)$ dengan menggunakan plant $G_m(s) = k_o G(s)$ dimana model plant skalar dikalikan dengan plant)

Pilih cost function: $J(\theta) = \frac{1}{2} e^2(\theta) \longrightarrow \frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{\delta e}{\delta \theta}$

Persamaan untuk error: $e = y - y_m = kGU - G_m U_c = kG\theta U_c - k_o G U_c$ (persamaan 8)

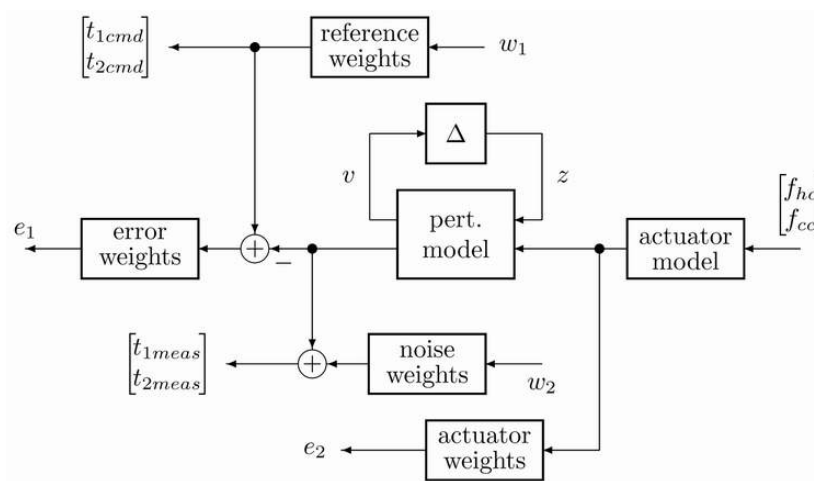
Hitung turunan sensitivitas : $\frac{\delta e}{\delta \theta} = kGU_c = \frac{k}{k_o} y_m$ (persamaan 9)

Pergunakan MIT rule: $\frac{d\theta}{dt} = -\gamma' \frac{k}{k_o} y_m e = -\gamma y_m e$ (persamaan 10)

MIT rule tidak menjamin konvergensi error atau stabilitas, maka biasanya nilai dijaga kecil dan tuning γ berpengaruh penting terhadap laju adaptasi dan stabilitas

Robust Control System

Robust control system diimplementasikan pada plant yang memiliki disturbansi plant besar dimana biasanya kontroler tradisional tidak mampu untuk mengendalikannya. Untuk pemrograman dipergunakan engine Tool box Robust MATLAB di atas NI Veristand



Gambar 6. Blok Diagram Sistem Kontrol Robust

Parametric Uncertainty

Variasi parametric uncertainty sebagai berikut :

$$n_{r0} = n_{ij} + W_{nr} \delta_{nr}$$

$$R_{vg} = R_{ij} + W_{rvg} \delta_{rvg}$$

Pemodelan uncertainty dapat direpresentasikan sebagai input multiplicative uncertainty (uncertainty terkait dengan input aktuator ke reaktor) sebagai berikut :

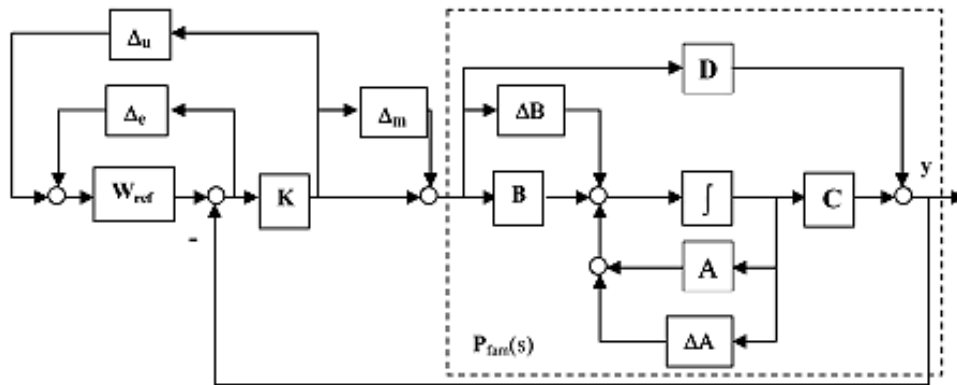
$$P_m(s) = P_o(s)(1 + \Delta_m(s))$$

$$\Delta_m(s) = W_m(s) \delta_m(s)$$

(persamaan 11)

Uncertainty Performance

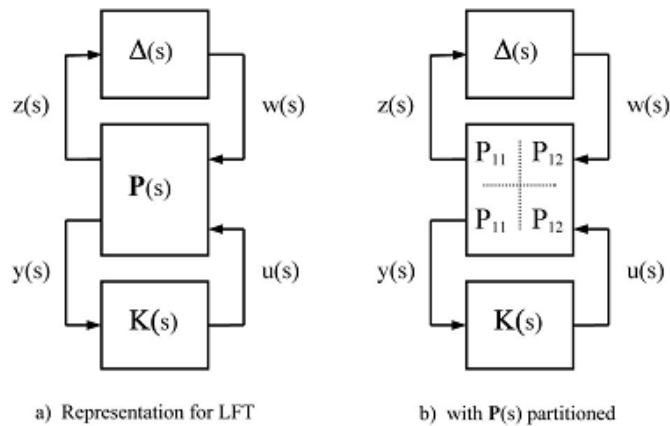
Kinerja ketidak pastian (*uncertainty performance*) ditunjukkan pada Gambar 7 dimana plant direpresentasikan dalam model ruang keadaan dan system dilengkapi dengan berbagai ketidakpastian yang mungkin terjadi dalam system.



Gambar 7. Uncertainty Performance

Representasi LFT (Linear Fractional Trasformation)

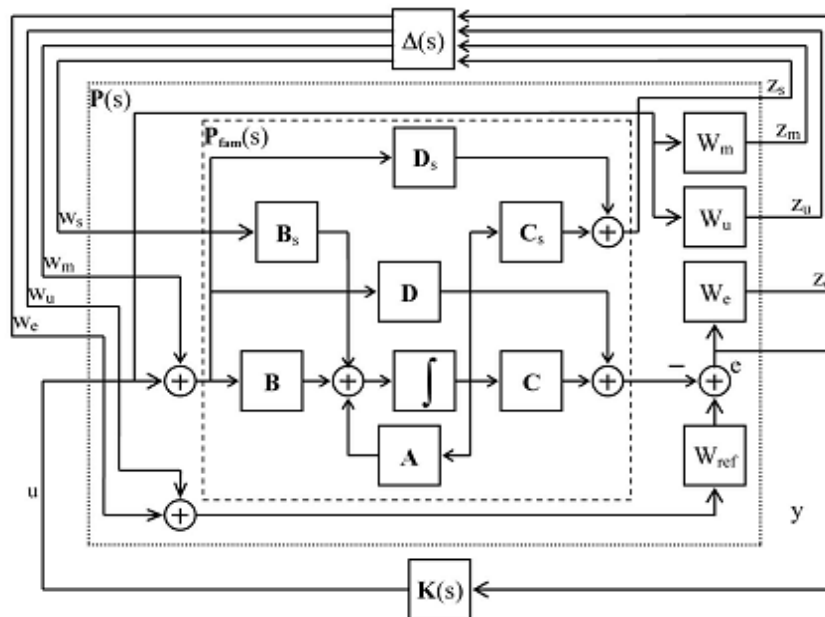
Transformasi ketidakpastrian terhadap hukum control K dinyatakan dalam P yang dapat diwujudkan dalam matriks partisi seperti tampak pada Gambar 8.



Gambar 8. Representasi LFT dan P(s) yang telah dipartisi

LFT pada Kontrol Reaktor Nuklir

LFT pada sistem kontrol reaktor nuklir dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. LFT pada reaktor nuklir

Model Ruang keadaan reaktor nuklir:

Persamaan keadaan model reaktor nuklir sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \delta \dot{n}_1 \\ \delta \dot{c}_{r1} \\ \delta \dot{c}_{r2} \\ \delta \dot{c}_{r3} \\ \delta \dot{c}_{r4} \\ \delta \dot{c}_{r5} \\ \delta \dot{c}_{r6} \\ \delta \dot{T}_1 \\ \delta \dot{T}_2 \\ \delta \dot{R}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \beta_4 & \beta_5 & \beta_6 & \alpha_1 n_0 & \alpha_2 n_0 & \alpha_3 n_0 \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ \lambda_1 & -\lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_2 & 0 & -\lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_3 & 0 & 0 & -\lambda_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_4 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_6 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{f_1 P_o}{\mu_f} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{\Omega}{\mu_f} & \frac{\Omega}{\mu_f} & 0 \\ \frac{(1-f_1)P_o}{\mu_c} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\Omega}{\mu_c} & -\frac{(M+\Omega)}{\mu_c} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta n_1 \\ \delta c_{r1} \\ \delta c_{r2} \\ \delta c_{r3} \\ \delta c_{r4} \\ \delta c_{r5} \\ \delta c_{r6} \\ \delta T_1 \\ \delta T_2 \\ \delta R_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ R_{z2} \end{bmatrix} \quad \text{(persamaan 12)}$$

Persamaan keluaran :



$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta n_1 \\ \delta c_{r1} \\ \delta c_{r2} \\ \delta c_{r3} \\ \delta c_{r4} \\ \delta c_{r5} \\ \delta c_{r6} \\ \delta T_f \\ \delta T_l \\ \delta R_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \delta R_{vd} \quad \text{(persamaan 13)}$$

Model linier persamaan keadaan dan persamaan keluaran di atas diubah ke dalam orde-4 sebagai berikut :

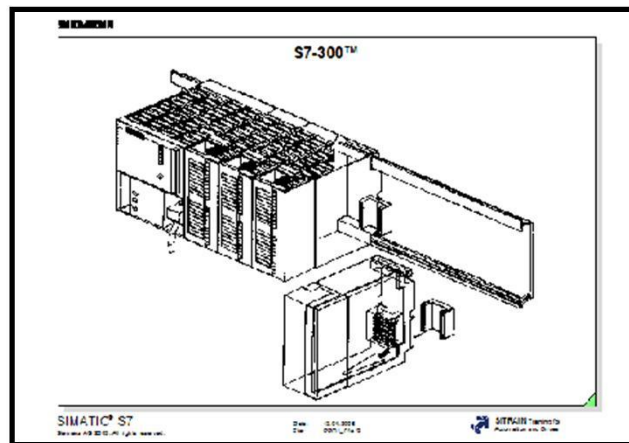
$$\begin{bmatrix} \delta \dot{c}_r \\ \delta \dot{T}_f \\ \delta \dot{T}_l \\ \delta \dot{R}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\alpha_r \lambda n_{t0}}{\beta} & \frac{\alpha_c \lambda n_{t0}}{\beta} & \frac{\alpha_r \lambda n_{t0}}{\beta} \\ \frac{f_f P_0}{\mu_f} & \frac{\alpha_f f_f P_0 n_{t0}}{\mu_f \beta} - \frac{\Omega}{\mu_f} & \frac{\alpha_c f_f P_0 n_{t0}}{\mu_f \beta} + \frac{\Omega}{\mu_f} & \frac{\alpha_r f_f P_0 n_{t0}}{\mu_f \beta} \\ \frac{(1-f_f) P_0}{\mu_c} & \frac{\alpha_f (1-f_f) P_0 n_{t0}}{\mu_c \beta} + \frac{\Omega}{\mu_c} & \frac{\alpha_c (1-f_f) P_0 n_{t0}}{\mu_c \beta} - \frac{(M+\Omega)}{\mu_c} & \frac{\alpha_r (1-f_f) P_0 n_{t0}}{\mu_c \beta} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta c_r \\ \delta T_f \\ \delta T_l \\ \delta R_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ R_{vg} \end{bmatrix} \delta R_{vd} \quad \text{(persamaan 14)}$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\alpha_f n_{t0}}{\beta} & \frac{\alpha_c n_{t0}}{\beta} & \frac{\alpha_r n_{t0}}{\beta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta c_r \\ \delta T_f \\ \delta T_l \\ \delta R_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \delta R_{vd} \quad \text{(persamaan 15)}$$

Konstruksi Perangkat Keras PLC Siemen S7-300

Spesifikasi PLC Siemen S7-300 adalah sebagai berikut :

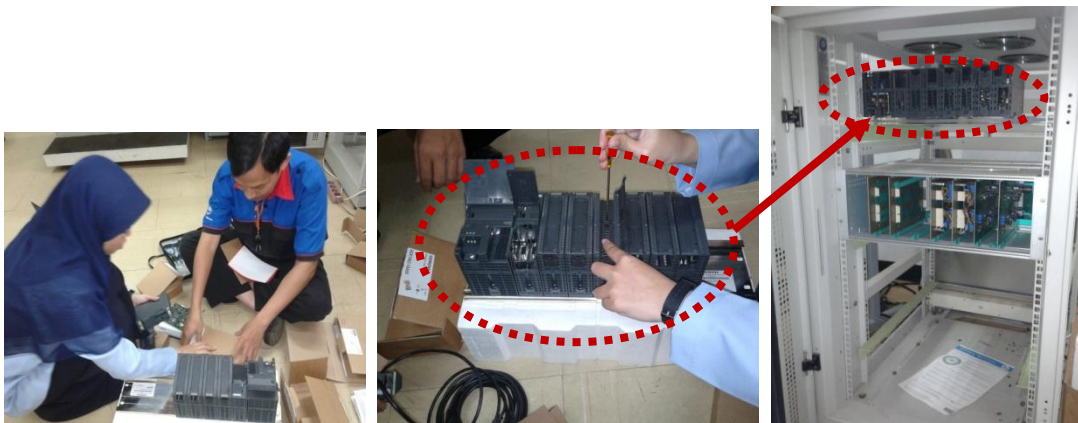
- Memory, memiliki memori utama 1400KB (CPU319), Micro Memory Card 8MB, dan backup data dan program dapat dilakukan melalui MMC.
- Dapat ditingkatkan sampai 32 modul
- Memiliki area address I/O hingga 8192 bytes
- Memiliki sistem komunikasi



Gambar 10. Perangkat keras PLC Siemen S7-300

Konstruksi PLC

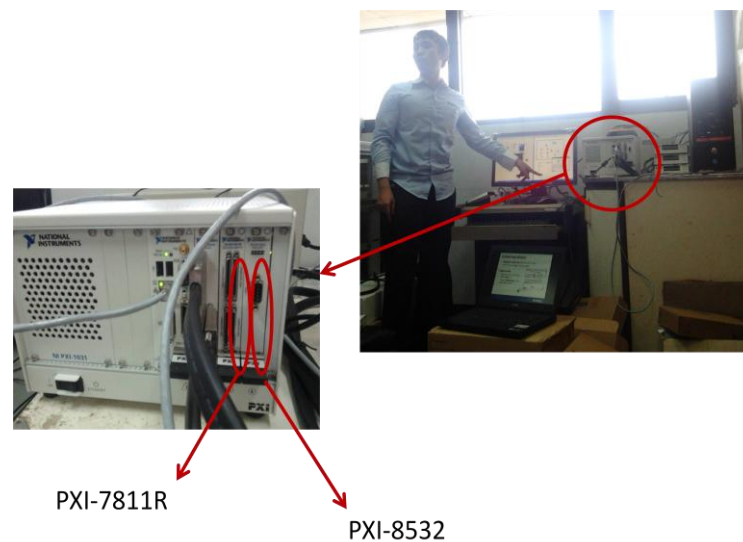
PLC yang sudah diperoleh dari pengadaan dikonstruksi seperti tampak pada Gambar 11.



Gambar 11. Konstruksi PLC Siemen S7-300 ke Rak

Konstruksi NI card

Untuk dapat mensimulasikan reaktor nuklir, maka modul NI PXI-1031 dilengkapi dengan NI FPGA PXI-7811R dan Devicenet PXI-8532 dengan konfigurasi seperti tampak pada Gambar 11.



Gambar 11. Konfigurasi NI PXI-1031 dilengkapi PXI-7811R dan PXI-8532

Spesifikasi PXI-7811R sebagai berikut :

- 160 DIO Lines
- User Programmable FPGA
- Virtex-II 1M gate FPGA
- 40 MHz Clock (default)

Untuk dapat diintegrasikan ke dalam pemrograman, maka perangkat keras perlu dilengkapi dengan NI FPGA *Deployment Option* yang memiliki spesifikasi :

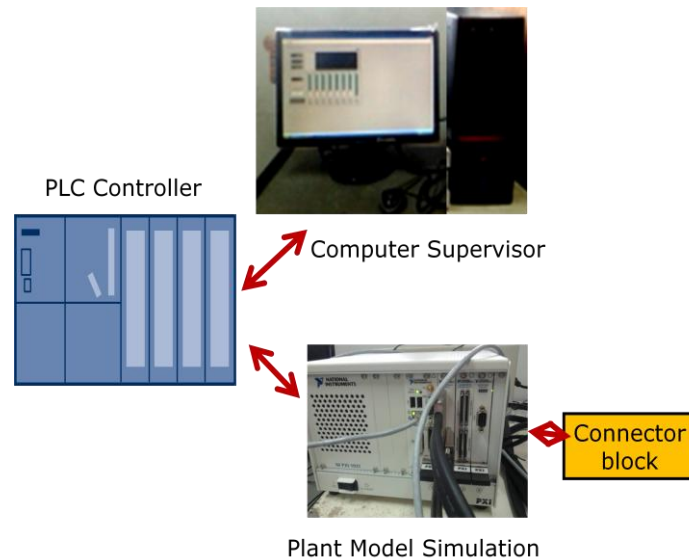
- Mengeksekusi banyak task secara simultan dan deterministik
- Melaksanakan algoritma kontrol dengan *loop rates* lebih dari 40 MHz
- Membuat perangkat keras I/O tanpa pengkodean VHDL atau desain perangkat
- Mengkonfigurasi FPGA secara grafis pada target perangkat keras NI yang dapat direkonfigurasi

Konfigurasi *Supervisory Control Level*

Konfigurasi *supervisory control* dapat dilihat pada Gambar 12. Pada gambar tampak bahwa model simulasi dibangun pada modul NI-PXI, dimana dimungkinkan untuk memasuk sinyal I/O melalui connector block. PLC Siemens bertindak sebagai kontroler yang akan mengendalikan proses di dalam model reaktor nuklir. Sedangkan dari komputer supervisor akan dapat diberikan perintah ke kontroler atau perubahan algoritma



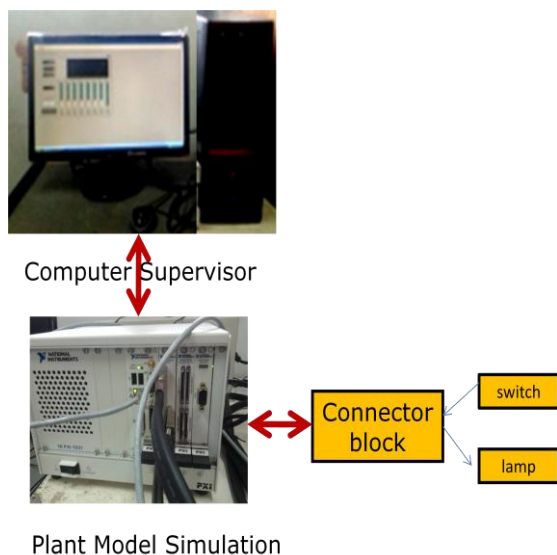
kontroler. Dari komputer supervisor akan dapat pula dilihat ekskursi parameter proses yang terjadi dalam model reactor.



Gambar 12. Konfigurasi Supervisory Control

Pengujian Digital I/O

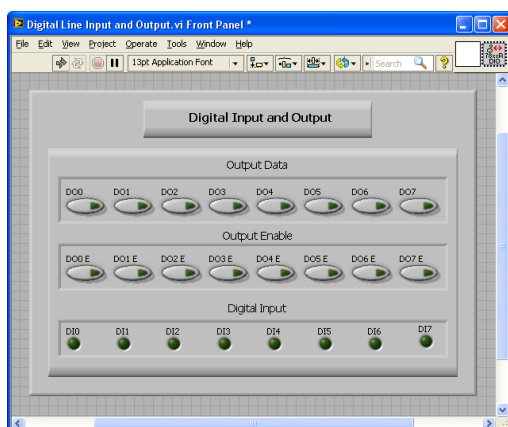
Pengujian pada tahap kegiatan ini dilakukan dengan cara menguji digital I/O seperti tampak pada Gambar 13 dan 14. Pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa prinsip pengujian adalah dengan memberikan sinyal input dari switch dan memantau sinyal output menggunakan lampu melalui connector block. Pada Gambar 14 dapat dilihat konfigurasi pengujian. Sedangkan pemrograman untuk digital I/O dapat dilihat pada Gambar 15 (a) dan (b).



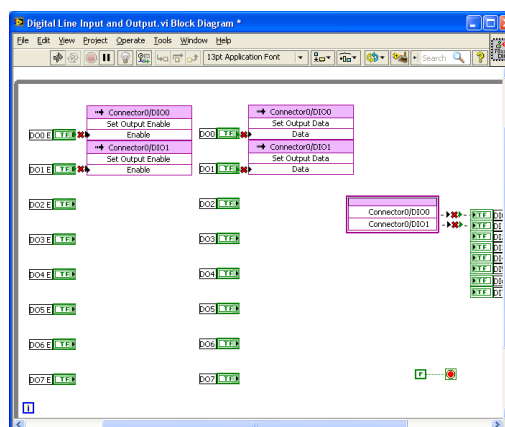
Gambar 13. Prinsip Pengujian Digital I/O



Gambar 14. Konfigurasi Pengujian



(a)

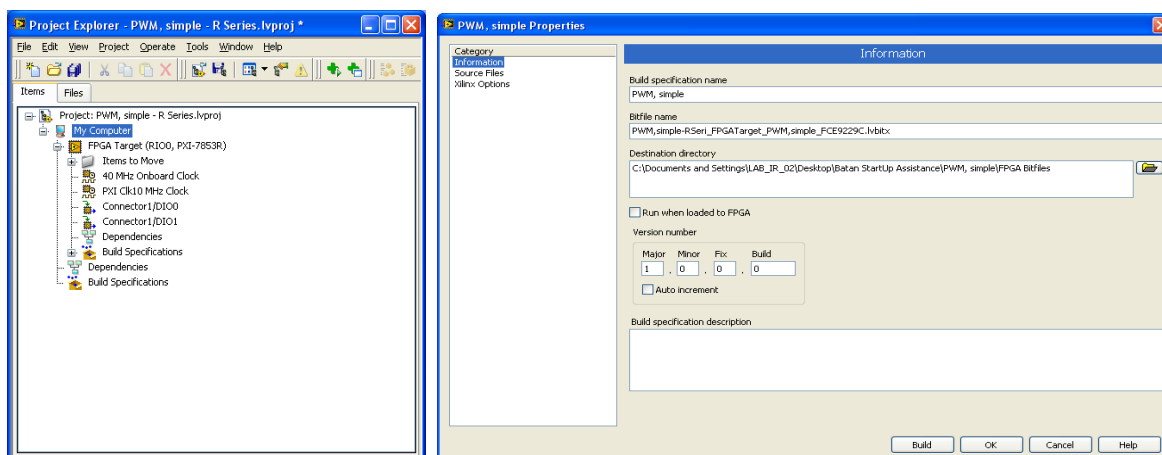


(b)

Gambar 16. Pemrograman pada Pengujian Digital I/O

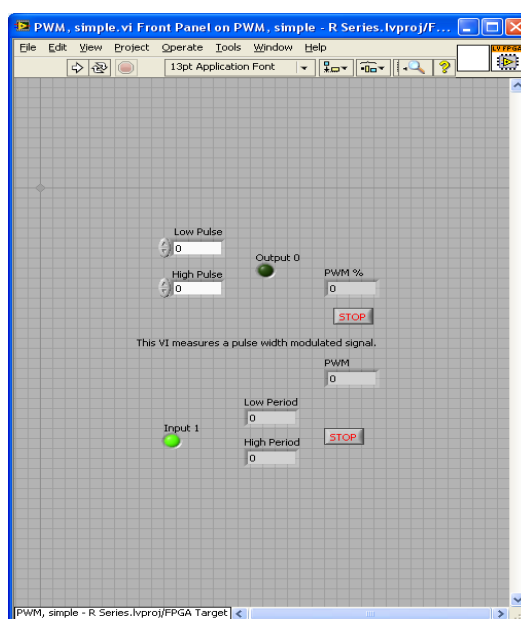
Pengujian FPGA

Pengujian NI-PXI FPGA 7811R dilakukan dengan membuat proyek pemrograman PWM seperti tampak pada Gambar 17 (a), (b) dan (c). Berdasarkan Gambar 17 dapat dilihat bahwa pemrograman NI-PXI FPGA 7811R telah dapat dilakukan pada komputer



(a)

(b)



(c)

Gambar 17. Pengujian NI-PXI 7811-R

5. KESIMPULAN

Dalam kegiatan ini Perekayasa sistem instrumentasi dan kendali pada reaktor nuklir direpresentasikan pada simulator elektronik berbasis NI PXI-1031 yang dilengkapi modul FPGA PXI 7811-R dan Devicenet NI PXI 8532 dengan menggunakan pemrograman LabVIEW dan PLC Siemen S7-300. Dalam konfigurasi ini komputer PC dan perangkat keras berbasis NI bertindak sebagai modul yang merepresentasikan model matematika reaktor nuklir sedangkan PLC Siemen bertindak sebagai kontroler. Sesuai target, maka pada pelaporan tahap ini telah dilakukan pemasangan perangkat



keras dan perangkat lunak serta sebagian pengujian sistem. Ditargetkan pada akhir tahun anggaran 2012 telah dapat diperoleh prototipe sistem. Kegiatan ini masih terus berlanjut.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Kegiatan penelitian ini dapat dilaksanakan dengan pendanaan dari DIPA PRPN tahun anggaran 2012. Oleh karena itu diucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dorongan.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. NUGROHO, D.H., HANDOYO, D. HANDONO, K. Perekayasaan Instrumentasi dan Kendali Reaktor Riset dan Daya. Laporan Kegiatan. Pusat Perekayasaan Perangkat Nuklir. 2011
2. NUGROHO, D.H., HANDOYO, D. HANDONO, K. Perekayasaan Instrumentasi dan Kendali Reaktor Riset dan Daya. Laporan Kegiatan Triwulan III. Pusat Perekayasaan Perangkat Nuklir. 2012

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Bentuk akhir dokumen akhir seperti apa sebelum dikonstruksi? (SUTOMO)
2. Apakah kegiatan ini merupakan lanjutan dari kegiatan instrumentasi dan kendali reaktor kegiatan Pak Widi? (MARGONO)

Jawaban

1. Dokumen untuk konstruksi ditunjukkan oleh
 - a. Arsitektur konfigurasi. Sistem terdiri dari modul NI PXI, PLC dan komputer supervisor yang dihubungkan oleh jaringan
 - b. Spesifikasi teknis modul yang menunjukkan komponen-komponen dari konfigurasi sistem diatas yang dilengkapi dokumen teknis
2. Program kegiatan ini bertujuan untuk mempersiapkan SDM instrumentasi dan kendali agar siap menangani pembuatan, modifikasi dan perbaikan instrumentasi dan kendali reaktor berbasis simulasi, *robust control* dan *MRAC* dikaji penerapannya di reaktor nuklir untuk mengetahui informasi secara simulasi dibandingkan dengan yang sudah ada.