

OPTIMASI JARINGAN SYARAF TIRUAN UNTUK KENDALI DAYA REAKTOR RISET KARTINI DENGAN MODEL REFERENSI LINIER

Nazrul Effendy^{*)}, Balza Achmad^{**)} dan Singgih Hawibowo^{***)}

ABSTRACT

The control of the power of Kartini research reactor has been done either manually or automatically using conventional feedback controller (PID controller). In this research, an alternative control of Kartini reactor power using Artificial Neural Networks (ANN) was investigated. The research was done using two ANNs, acting as a reactor model and a controller. The ANN-reactor model was trained using a set of input-output reactor states. The ANN-controller was trained by comparing the response of the control system and the output of a linear reference model of the reactor. The trained ANN-controller was then tested by mean of simulations. The results of the simulations showed that the ANN-controller successfully reduced the overshoot and the settling time that might occur by using a PID controller.

PENGANTAR

Permasalahan

Pengendalian daya Reaktor Riset Kartini di PPNY BATAN telah dapat dilakukan baik secara manual maupun otomatis dengan pengendalian umpan balik konvensional (PID) dan Kendali Logika Samar (Fuzzy Logic Controller). Kendali manual mempunyai kelemahan karena unjuk kerjanya sangat tergantung pada kondisi fisik maupun mental-psikologis operator. Kendali PID menghasilkan *overshoot* dan *settling time* yang cukup lama, sedangkan Kendali Logika Samar tidak mudah untuk diterapkan ke dalam perangkat keras serta sulit untuk menentukan parameter kendali (himpunan samar dan basis aturan samar) yang optimal. Oleh karena itu perlu dicari alternatif lain untuk pengaturan daya Reaktor Riset Kartini, yang dalam penelitian ini dipilih kendali menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan yang relatif mudah untuk diterapkan ke perangkat keras. Permasalahannya adalah bagaimana mengoptimasi pengendalian daya dengan simulasi numeris yang hasilnya dapat dipergunakan sebagai

tebakan awal pada penerapannya di reaktor yang sebenarnya

Keaslian penelitian

Pada penelitian ini, pengoptimasian pengendalian daya Reaktor Riset Kartini dilakukan dengan membandingkannya dengan model referensi linier. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Achmad (1998) adalah mensimulasikan kendali Jaringan Syaraf Tiruan untuk kendali daya Reaktor Riset Kartini dengan menirukan kerja Kendali Logika Samar.

Faedah yang dapat diharapkan

Faedah yang diharapkan adalah untuk dapat lebih mengoptimalkan pengendalian daya Reaktor Riset Kartini sehingga lebih efisien dan lebih aman. Di samping itu hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan untuk kendali Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy yang digunakan untuk produksi radioisotop untuk medik sehingga bekerja lebih efisien yang pada gilirannya akan dapat menghemat

^{*)} Nazrul Effendy, S.T., Dosen Jurusan Teknik Nuklir FT-UGM, kandidat master pada Program Studi Teknik Elektro, Program Pasca Sarjana, UGM dan Staf Peneliti Pusat Studi Energi UGM

^{**)} Ir. Balza Achmad, dosen Jurusan Teknik Nuklir FT-UGM, MScE candidate at Mechanical Engineering Department, the University of New Brunswick, Canada dan Staf Peneliti Pusat Studi Energi UGM

^{***)} Dr-Ing. Singgih Hawibowo, Dosen Jurusan Teknik Nuklir FT-UGM, Kepala Laboratorium Komputasi Jurusan Teknik Nuklir FT-UGM dan Staf Peneliti Pusat Studi Energi UGM

devisa yang sangat banyak untuk pengadaan radioisotop.

TINJAUAN PUSTAKA

Reaktor Riset Kartini di PPNY-BATAN Yogyakarta merupakan reaktor yang berdaya paling kecil di Indonesia yaitu 100 kW termal. Meskipun demikian, sebagaimana reaktor nuklir yang lainnya, Reaktor Riset Kartini memerlukan sistem kendali yang dapat mengatur jalannya operasi dengan aman dan efisien. Pengendalian daya Reaktor Riset Kartini saat ini dapat dilakukan baik secara manual maupun otomatis dengan pengendalian umpan balik PID (Setiawan, 1994) dan Kendali Logika Samar (Pambudi dkk., 1998).

Kendali manual mempunyai kelemahan karena kondisi fisik maupun mental sang operator sangat mempengaruhi unjuk kerjanya. Terjadinya *overshoot* yang cukup besar serta waktu penetapan yang relatif panjang merupakan kelemahan kendali umpan balik PID. Sedangkan Kendali Logika Samar tidak mudah untuk diterapkan ke dalam perangkat keras serta sulit untuk menentukan himpunan samar dan basis aturan samar yang paling optimal (Achmad, 1998). Walaupun demikian unjuk kerja Kendali Logika Samar lebih baik bila dibandingkan dengan kendali PID (Pambudi dkk., 1998). Oleh karena itu perlu dicari alternatif lain untuk pengaturan daya Reaktor Kartini.

Jaringan syaraf tiruan (JST) tersusun atas elemen-elemen sederhana yang beroperasi secara paralel. Elemen-elemen ini diilhami oleh sistem syaraf biologis sehingga dapat menirukan kerja otak manusia. JST yang telah dilatih dapat melakukan fungsi-fungsi kompleks di berbagai bidang, antara lain identifikasi, pengenalan pola, klasifikasi, restorasi citra, termasuk juga untuk sistem kendali (Demuth and Beale, 1994). Karena JST dapat juga dimanfaatkan untuk kendali, maka perlu dicoba pengendalian daya Reaktor Kartini menggunakan JST untuk melihat unjuk kerjanya.

Achmad (1998) telah melakukan simulasi Kendali Jaringan Syaraf Tiruan untuk kendali daya Reaktor Riset Kartini dengan menirukan kerja Kendali Logika Samar. Pada penelitian ini, pengoptimasian konfigurasi Jaringan Syaraf Tiruan untuk kendali daya Reaktor Riset Kartini dilakukan dengan memperbandingkannya dengan model referensi linier. Pengaturan parameter kendali dengan linierisasi umpan balik dapat menghilangkan ketidaklinieran yang ada pada sistem yang dikendalikan, dalam hal ini Reaktor Riset Kartini.

Dengan demikian respon yang dikehendaki dapat diatur dengan mudah (Demuth and Beale, 1994).

Sebelum dapat diterapkan ke Reaktor Kartini yang sesungguhnya, perlu dilakukan simulasi menggunakan perhitungan numeris untuk memperkirakan harga-harga yang optimal dari parameter kendali. Jika optimasi dilakukan langsung pada Reaktor Kartini yang sesungguhnya, maka dikhawatirkan temperatur yang terlalu tinggi akan menimbulkan thermal shock pada kelongsong bahan bakar (Setiawan, 1994). Di samping itu, ada kemungkinan Reaktor Kartini mengalami scram akibat parameter-parameter operasinya melewati batas yang diijinkan untuk keselamatan reaktor. Menurut pengalaman, untuk mengembalikan reaktor yang scram ke keadaan normal lagi dibutuhkan waktu yang cukup lama karena harus mengikuti prosedur yang ada, sehingga akan banyak waktu yang terbuang.

Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi pengendalian daya dengan menggunakan simulasi numeris yang hasilnya akan dipergunakan sebagai dasar pada penerapannya di Reaktor Kartini yang sebenarnya. Pada penelitian ini, pelatihan JST dilakukan menggunakan Matlab, sedangkan simulasi kendali Reaktor Kartini dilakukan menggunakan paket program Simulink yang merupakan ekstensi dari Matlab. Pada penelitian ini simulasi kendali hanya dilakukan untuk pengaturan daya di sekitar daya kerja 100 kW mengingat sifat reaktor nuklir yang sangat berbeda pada operasi start-up, operasi normal, dan operasi shut-down.

LANDASAN TEORI

Pada penelitian ini, Reaktor Kartini dimodelkan sebagai reaktor titik, di mana rapat neutron n dan konsentrasi 6 kelompok prekursor c_i ditentukan dari persamaan diferensial simultan (Lamarsh, 1974)

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta}{\Lambda} n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i c_i(t) + q \quad (1)$$

dan

$$\frac{dc_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} n(t) - \lambda_i c_i(t) \quad \text{untuk } i = 1, 2, \dots, 6 \quad (2)$$

Reaktivitas total teras ρ saat operasi pada daya kerja tersusun atas beberapa komponen,

$$\rho(t) = \rho_i(t) + \rho_{fb}(t) + \rho_c(t) \quad (3)$$

di mana ρ_i adalah reaktivitas sisipan, dan ρ_{fb} adalah reaktivitas umpan balik yang merupakan

fungsi dari temperatur bahan bakar dan pendingin yang dinyatakan sebagai

$$\rho f b(t) = \alpha T F (T_f(t) - T_f(0)) + \alpha T C (T_c(t) - T_c(0)) \quad (4)$$

sedangkan ρ_c adalah reaktivitas sistem kendali yang akan ditentukan oleh kendali jaringan syaraf tiruan yang diteliti.

Daya reaktor ditentukan oleh massa material fisil serta rapat neutron rerata dalam teras. Untuk Reaktor Kartini, hubungan daya reaktor dengan rapat neutron rerata adalah

$$P(t) = 2,61712235 \cdot 10^{-2} n(t) \quad (5)$$

sedangkan laju pembangkitan panas persatuan panjang dinyatakan sebagai fungsi daya

$$q'(t) = P(t) / LN \quad (6)$$

Untuk menentukan temperatur bahan bakar dan pendingin, yang berhubungan dengan reaktivitas umpan balik di atas, digunakan persamaan yang diturunkan oleh Lewis (1977),

$$\frac{d\bar{T}_f(t)}{dt} = \frac{q'(t)}{M_f' C_f} - \frac{1}{\tau_1} [\bar{T}_f(t) - \bar{T}_{cl}(t)] \quad (7)$$

dan

$$\frac{d\bar{T}_{cl}(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_2} [\bar{T}_f(t) - \bar{T}_{cl}(t)] - \frac{1}{\tau_2} [\bar{T}_{cl}(t) - \bar{T}_c(t)] \quad (8)$$

di mana τ adalah tetapan waktu yang didefinisikan $\tau_1 = M_f' C_f R_g'$, $\tau_2 = M_{cl}' C_{cl} R_g'$, dan $\tau_3 = M_{cl}' C_{cl} R_c'$. R_g' dan R_c' adalah hambatan panas persatuan panjang masing-masing pada gap antara bahan bakar dengan kelongsong dan pada pendingin. M_f' dan M_{cl}' adalah massa bahan bakar dan kelongsong persatuan panjang. T_f dan T_{cl} adalah temperatur rerata bahan bakar dan kelongsong.

Temperatur pendingin primer T_c dihitung dengan

$$\frac{d\bar{T}_c(t)}{dt} = \frac{1}{M_c C_p R} [\bar{T}_{fe}(t) - \bar{T}_c(t)] - \frac{2W}{M_c} [\bar{T}_c(t) - \bar{T}_i(t)] \quad (9)$$

dengan T_i adalah temperatur rerata pendingin memasuki teras reaktor, dan T_{fe} temperatur rerata elemen bahan bakar yang dinyatakan sebagai

$$\bar{T}_{fe} = \frac{M_f' C_f T_f(t) + M_c' C_{cl} T_{cl}(t)}{M_f' C_f + M_c' C_{cl}} \quad (10)$$

Temperatur keluaran teras dinyatakan sebagai

$$T_o(t) = 2 T_c(t) - T_i(t) \quad (11)$$

Kesetimbangan energi pada kalang antara keluaran teras dan masukan penukar panas dan kalang antara keluaran penukar panas dan masukan teras dapat dinyatakan

$$M_1 C_p \frac{d\bar{T}_{hi}(t)}{dt} = W C_p [\bar{T}_o(t) - \bar{T}_{hi}(t)] \quad (12)$$

dan

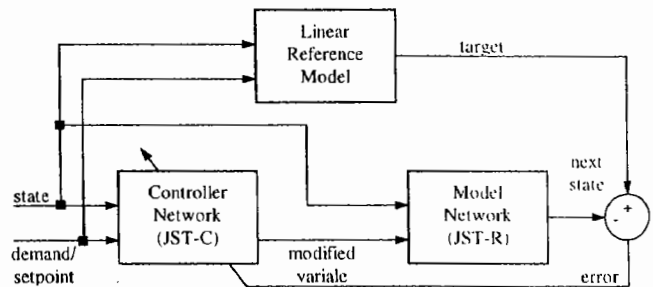
$$M_2 C_p \frac{d\bar{T}_i(t)}{dt} = W C_p [\bar{T}_{ho}(t) - \bar{T}_i(t)] \quad (13)$$

di mana M_1 dan M_2 adalah massa pendingin pada kedua kalang di atas, dan W laju aliran massa pendingin. T_{hi} dan T_{ho} adalah temperatur masukan dan keluaran penukar panas yang selisihnya dianggap tetap selama operasi normal yaitu 10°C.

Harga parameter-parameter Reaktor Kartini yang diperoleh dari pengukuran dan data desain langsung dimasukkan ke dalam rumus sehingga diperoleh persamaan yang lebih sederhana.

Sistem kendali pada Reaktor Kartini dimaksudkan untuk menghasilkan daya sesuai dengan yang diinginkan (*demand*) dalam keadaan ajeg, sehingga yang menjadi sasaran kendali adalah diperoleh *error* daya ($P - P_{Setpoint}$) nol dan invers periode ($1/T$) nol. Efek peracunan dan burn-up diabaikan karena hanya berpengaruh untuk waktu yang relatif lama, sedangkan efek temperatur secara neutronik diikutsertakan karena berpengaruh dalam waktu yang relatif singkat.

Pengendalian dengan Jaringan Syaraf Tiruan dengan memanfaatkan model referensi linier dapat digambarkan seperti Gambar 1 (Demuth and Beale, 1994). Model Network (JST-R) adalah model dari sistem Reaktor Riset Kartini yang digunakan pada waktu pelatihan JST-C, pada saat simulasi kendali model ini digantikan kembali dengan sistem yang sebenarnya. Variabel state yang dipakai adalah daya reaktor serta invers periode dengan variabel termodifikasi laju reaktivitas batang kendali.



Gambar 1. Skema Kendali Jaringan Syaraf Tiruan

HIPOTESIS

Jaringan Syaraf Tiruan dapat melakukan kendali daya Reaktor Riset Kartini dengan baik sesuai model referensi linier yang ditetapkan.

CARA PENELITIAN

Bahan Atau Material Penelitian

1. Data-data teknis dan operasi Reaktor Riset Kartini
2. Tinta printer
3. Kertas HVS
4. Disket 3,5".

Alat

1. Komputer Pentium minimal 200 MHz dengan sistem operasi Microsoft Windows 95,
2. Perangkat lunak Matlab dan Simulink
3. Memori 64 Mb
4. Harddisk 2,1 Gb
5. SVGA Card 2 Mb PCI

Prosedur Pelaksanaan

1. Melakukan studi pustaka mengenai kendali daya reaktor dan Jaringan Syaraf Tiruan.
2. Menyediakan dan menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan.
3. Mengambil data-data teknis dan operasi Reaktor Riset Kartini.
4. Membuat program simulasi sistem Reaktor Riset Kartini dan mengujinya dengan data yang ada.
5. Membuat program Jaringan Syaraf Tiruan pertama (JST-R) untuk memodelkan sistem Reaktor Kartini.

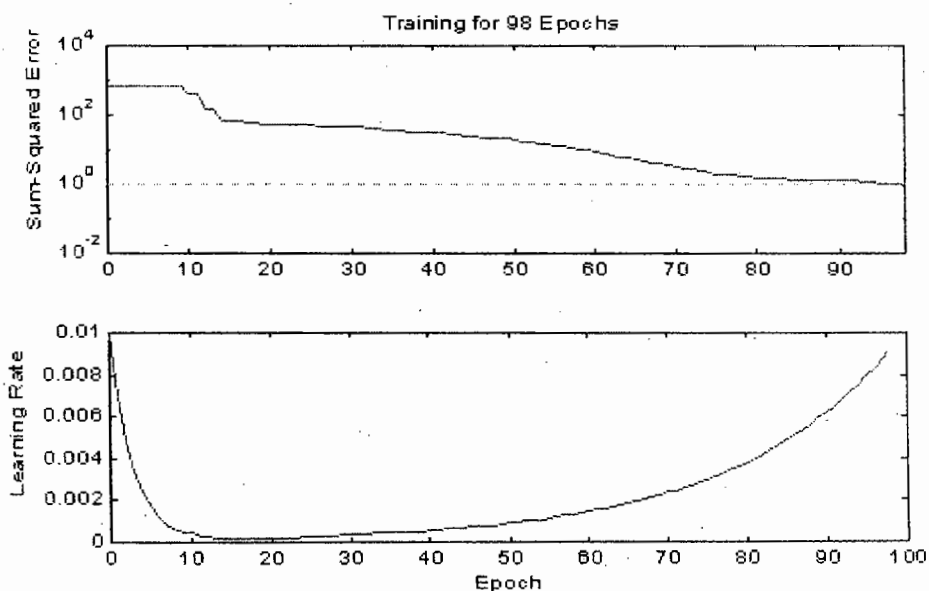
6. Menentukan konfigurasi Jaringan Syaraf Tiruan JST-R yang akan dipakai.
7. Melatih Jaringan Syaraf Tiruan JST-R dengan data pelatihan yang ada.
8. Menguji Jaringan Syaraf Tiruan yang telah dilatih tersebut dengan membandingkannya dengan program simulasi yang telah dibuat.
9. Membuat program Jaringan Syaraf Tiruan kedua (JST-C) untuk kendali daya.
10. Menentukan konfigurasi Jaringan Syaraf Tiruan JST-C yang akan dipakai.
11. Melatih Jaringan Syaraf Tiruan JST-C dengan membandingkan responnya terhadap keluaran model referensi linier yang dikehendaki.
12. Integrasi Jaringan Syaraf Tiruan kendali JST-C dengan simulasi Reaktor Riset Kartini dan mengujinya.
13. Analisis hasil dan pembuatan laporan penelitian.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kendali JST yang diterapkan mempunyai 2 buah masukan, yaitu *error* daya dan invers perioda reaktor. *Error* daya yang dipakai pada saat pelatihan adalah selisih log daya reaktor $P(t)$ dengan log daya keluaran model referensi $P_m(t)$:

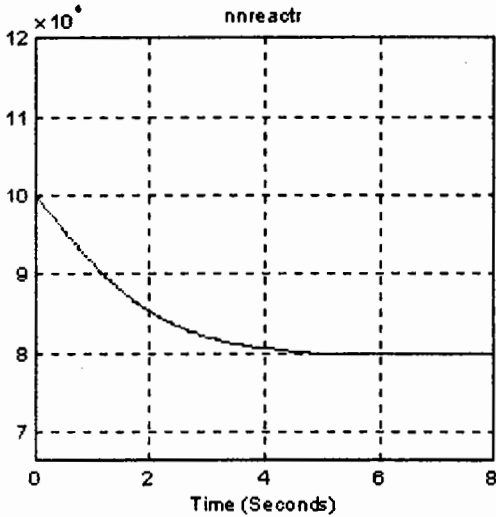
$$E(t) = \log(P(t)) - \log(P_m(t)) = \log(P(t)/P_m(t))$$

Gambar berikut menunjukkan salah satu contoh jumlah kuadrat *error* dan parameter *learning-rate* selama proses pelatihan JST-kendali:



Gambar 2. Jumlah kuadrat *error* dan parameter *learning-rate* pada pelatihan JST-kendali

Simulasi penerapan JST-kendali dilakukan pada beberapa perubahan daya disekitar daya operasi 100 kW. Gambar 2 menunjukkan respon sistem pengendalian pada kenaikan daya dari 100 ke 125 kW. Berdasarkan hasil simulasi ini, daya yang dikehendaki akan dapat dicapai dalam waktu 4 detik. Gambar 3 menunjukkan respon sistem pengendalian pada penurunan daya dari 100 ke 80 kW. Keadaan tunak pada daya 80 kW dicapai dalam waktu 4,3 detik.

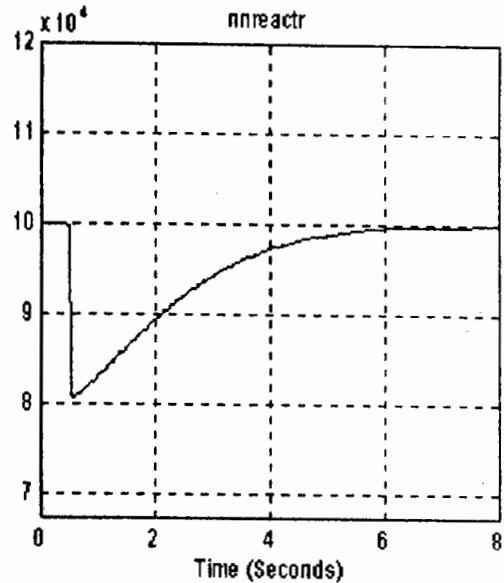


Gambar 3. Perubahan daya dari 100 kW ke 125 kW

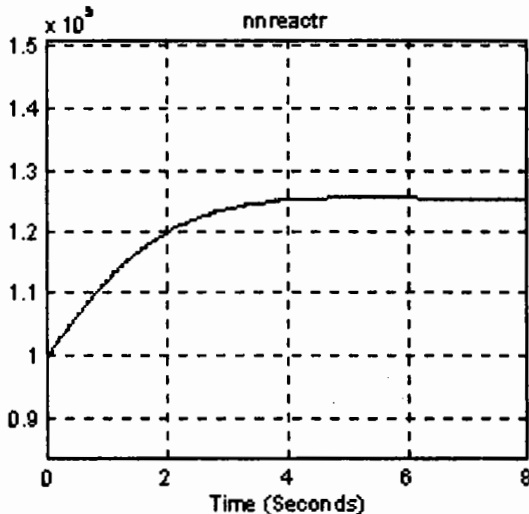
merupakan keunggulan dibandingkan dengan kendali PID yang mempunyai overshoot tinggi dan settling time yang lama (lihat Setiawan, 1994).

Pengujian lain dilakukan dengan gangguan akibat adanya perubahan reaktivitas baik berharga positif maupun negatif dari keadaan setimbang pada daya kerja. Pada penelitian ini dicobakan gangguan reaktivitas ρ_1 sebesar 0.25 dan -0.3.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kendali JST mampu mengembalikan daya reaktor ke tingkat daya semula.

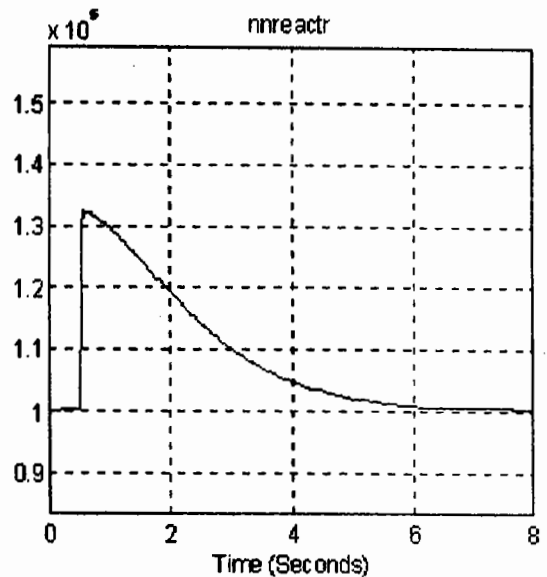


(a)



Gambar 4. Perubahan daya dari 100 kW ke 80 kW

Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa pencapaian keadaan tunak pada sistem kendali JST lebih cepat dibandingkan menggunakan kendali logika samar yang membutuhkan waktu 6 detik (lihat Achmad, 1998). Simulasi juga menunjukkan bahwa JST-kendali memberikan respon tanpa overshoot. Ini



(b)

Gambar 5. Perubahan daya akibat penyisipan reaktivitas sebesar (a) 0.25 (b) -0.3

KESIMPULAN

Hasil simulasi pengendalian daya Reaktor Kartini menunjukkan bahwa sistem kendali dengan jaringan syaraf tiruan (JST) mampu memberikan respon yang lebih cepat dibandingkan dengan kendali logika samar. JST-kendali mampu mengkompensasi gangguan reaktivitas positif maupun negatif. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa penggunaan JST-kendali dapat menekan besarnya *overshoot* dan *settling time* yang terjadi pada penggunaan kendali PID.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, B., 1998, *Simulasi Kendali Daya Reaktor Kartini Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan yang Menirukan Kerja Kendali Logika Samar*.
- Achmad, B., 1998, *Simulasi Kendali Logika Samar untuk Pengaturan Daya Reaktor Kartini di Sekitar Tingkat Daya Kerja*, dalam Prosiding Lokakarya Komputasi Dalam Sains dan Teknologi Nuklir VIII, BATAN, Jakarta.
- Achmad, B., 1997, *Jaringan Syaraf Tiruan untuk Pengenalan Spektrum Tenaga Gamma Isotop Tunggal*, dalam Prosiding Lokakarya Komputasi Dalam Sains dan Teknologi Nuklir VII, BATAN, Jakarta.
- Demuth, H., and Beale, M., 1994, *Neural Network Toolbox, for Use with MATLAB*, The MathWorks, Inc., Massachusetts.
- Lamarsh, J.R., 1972, *Introduction to Nuclear Reactor Theory*, Addison-Wisley Publishing Company Inc., Massachusetts.
- Lewis, E.E., 1977, *Nuclear Power Reactor Safety*, John Wiley & Sons, New York.
- Pambudi, YDS., Achmad, B., Setiawan, W., 1998, *Implementasi Kendali Logika Samar pada Start-up dan Kendali Daya Otomatik Reaktor Kartini Yogyakarta*, pada Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY BATAN, Yogyakarta.
- Parwoto, P. 1994, *Perilaku Termohidrolik Teras Reaktor Kartini pada Kondisi Transien*, Skripsi, Jurusan Teknik Nuklir FT UGM, Yogyakarta.
- Setiawan, H.S., 1994, *Sistem Start-up dan Kendali Daya Otomatis Berbasis Mikrokomputer*, Skripsi, Jurusan Teknik Nuklir FT UGM, Yogyakarta.