

PENGENDALIAN DAYA REAKTOR SECARA DIGITAL DENGAN MEMPERGUNAKAN KOMPUTER

Sudjatmi K.A., Dudung A.R.

Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGENDALIAN DAYA REAKTOR SECARA DIGITAL DENGAN MEMPERGUNAKAN KOMPUTER. Pada dasarnya komputer dapat dipakai sebagai alat pengendali digital. Dalam pengendalian secara analog maka pengendalian dilakukan dengan mengatur tahanan dan kondensator, sedangkan untuk pengaturan secara digital maka pengendali digabungkan dengan komputer. Dengan menganggap bahwa jumlah neutron yang ada pada suatu saat berbanding lurus dengan besarnya daya reaktor, sedangkan daya berbanding lurus dengan arus, maka jumlah neutron dapat dipakai sebagai masukan yang akan dibandingkan dengan nilai acuan. Selisih antara masukan dan nilai acuan ini digunakan sebagai masukan pada pengatur yang digabung dengan komputer untuk mengatur gerak batang pengendali.

ABSTRAK

REACTOR POWER DIGITALLY CONTROLLED BY COMPUTER. Basically a computer can be used as a digital controller. For an analog controller, the control is performed by adjusting its resistors and capacitors, where as for a digital controller the control is coupled with computer. Supposing that the neutron flux is proportional to the power, while the power is proportional to the current, so that the neutron flux can be used as an input which will be compared with the reference. The difference between the input and the reference is used as an input coupled with the computer to regulate the control rod motion.

PENDAHULUAN

Reaktor adalah suatu sistem, dimana reaksi pembelahan (fisi) berantai berlangsung secara terkendali. Reaksi pembelahan berantai ini berlangsung apabila bahan bakar yang terdapat dalam teras reaktor menangkap neutron termis. Adapun hasil reaksi fisi berantai ini adalah energi, fragmen fisi yang radioaktif dan neutron.

Pada dasarnya suatu sistem dapat dikendalikan oleh komputer (pengendali digital). Dalam pengendalian secara analog maka pengendalian dilakukan dengan mengatur tahanan dan kondensator, sedangkan untuk pengaturan secara digital maka pengendali digabungkan dengan komputer.

Dengan menganggap bahwa jumlah neutron yang ada pada suatu saat berbanding lurus dengan besarnya daya reaktor, sedangkan daya berbanding lurus dengan arus, maka jumlah neutron dapat dipakai sebagai masukan yang akan dibandingkan dengan nilai acuan. Selisih antara nilai masukan dan acuan ini digunakan sebagai masukan pada pengatur yang digabung dengan komputer untuk mengatur gerak batang pengendali.

Pada sistem pengaturan model konvensional dengan manusia (operator) sebagai elemen umpan balik, sering terdapat kesalahan karena keterbatasan-keterbatasan fisik sehingga nilai acuan yang diinginkan sulit diperoleh atau harus dilakukan berkali-kali disamping kurang teliti. Untuk menghindari hal tersebut di atas telah dicoba pengendalian reaktor Sur-100 dengan komputer pribadi sebagai pengatur PID yang diprogram dengan paket TUTSIM. Nilai acuan dihasilkan oleh potensiometer, sedang jumlah neutron yang ada diukur oleh ruang pengionisasi. Data-data yang masih dalam bentuk analog diubah menjadi digital oleh ADC yang selanjutnya diterima oleh komputer dan diproses. Dengan mengubah besarnya pengatur PID (PID Controller) maka dapat diketahui kombinasi pengatur yang diharapkan.

BAHAN DAN TATA KERJA

Reaktor

Setiap reaktor seperti halnya dengan setiap sistem pembangkit tenaga yang lain memerlukan suatu sistem yang dapat mengatur jalannya reaktor dengan lancar dan aman. Reaktor harus dapat dijalankan, dinaikkan dan diturunkan dayanya dan kalau perlu dimatikan. Dalam

keadaan darurat reaktor harus dapat pula dimatikan dengan cepat untuk menghindari bahaya atau kecelakaan yang mungkin terjadi.

Sebagai suatu syarat bagi berlangsungnya reaksi pembelahan berantai, maka jumlah neutron yang dihasilkan tiap satuan volume persatuan waktu dalam reaktor harus sama dengan jumlah neutron yang hilang tiap satuan volume dan tiap satuan waktu yang sama. Hanya sebagian dari n_0 neutron termis yang diserap dalam bahan bakar, sedangkan lainnya diserap dalam bahan moderator, pendingin dan lain-lain. Neutron-neutron termis yang diserap dalam bahan bakar saja yang mempunyai kebolehan jadian untuk menghasilkan lagi reaksi pembelahan. Neutron-neutron yang dihasilkan dari reaksi pembelahan mempunyai tenaga kira-kira 2 MeV.

Karena daya reaktor sebanding dengan fluks neutron, maka pengaturan daya reaktor dapat tercapai dengan jalan mengatur faktor perlipatan efektif. Sedangkan faktor kelipatan efektif k_e dapat juga didefinisikan sebagai perbandingan jumlah neutron pada satu generasi terhadap jumlah neutron pada generasi sebelumnya ($k_e = (\text{jumlah neutron pada satu generasi}) / (\text{jumlah neutron pada generasi sebelumnya})$).

Kalau faktor kelipatan efektif dibuat lebih besar dari pada satu, maka reaktor akan super kritis dan daya reaktor akan naik. Kalau faktor kelipatan efektif diatur sama dengan satu, reaktor kritis dan daya reaktor tetap tidak berubah. Sedang kalau faktor kelipatan efektif dibuat lebih kecil dari satu, reaktor subkritis dan daya reaktor akan turun. Oleh karena itu agar reaktor dapat dinaikkan dayanya, dalam teras perlu tersedia sejumlah bahan bakar yang lebih dari masa kritisnya. Kemudian faktor perlipatan efektif atau reaktivitas diatur dengan jalan merubah keseimbangan antara kecepatan produksi dan kecepatan hilangnya neutron dalam reaktor. Disamping itu bahan bakar ekstra tersebut ternyata diperlukan untuk mengatasi gangguan-gangguan yang terjadi selama bekerjanya reaktor yang biasanya cenderung untuk mengurangi reaktivitas. Gangguan-gangguan semacam ini misalnya adalah berkurangnya bahan bakar karena reaksi pembelahan, penumpukan hasil belahan yang dapat menyerap neutron misalnya Xe, perubahan suhu dan sebagainya. Agar supaya reaktor dapat berjalan terus menerus selama jangka waktu tertentu, didalam reaktor perlu tersedia reaktivitas ekstra untuk mengatasi gangguan tersebut.

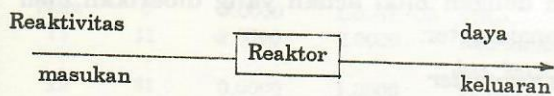
Adanya reaktivitas ekstra yang cukup besar sudah tentu merupakan pula potensi yang membahayakan karena fluks neutron dapat meningkat dengan cepat secara tak terkendali. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem pengendalian untuk mencegah kemungkinan timbulnya bahaya itu.

Beberapa cara yang biasa dipakai untuk mengatur reaktivitas reaktor adalah penambahan dan pemindahan bahan bakar, moderator dan reflektor atau bahan-bahan penyerap neutron. Cara yang terakhir yaitu penambahan atau pemindahan bahan penyerap neutron merupakan cara yang paling sederhana dan paling mudah dilaksanakan dan banyak dipakai untuk pengendalian reaktor termis. Untuk maksud ini, biasanya dipakai bahan boron atau kadmium yang mempunyai penampang serapan neutron termis yang sangat besar. Boron dan kadmium dipakai dalam bentuk batang atau lembaran-lembaran sebagai alat pengendali. Kerugian penggunaan bahan penyerap semacam ini adalah hilangnya neutron secara tidak produktif. Apabila dipergunakan bahan penyerap sebagai batang pengendali maka pada saat pertama kali reaktor mulai bekerja, batang pengendali dimasukkan kedalam reaktor, sehingga dengan demikian mengimbangi reaktivitas ekstra yang tersedia. makin lama reaktor beroperasi, maka reaktivitas akan makin berkurang dan hal ini diimbangi dengan sedikit demi sedikit menarik batang pengendali keluar dari reaktor. Selain dipergunakan untuk mengimbangi turunnya reaktivitas selama reaktor bekerja, batang pengendali diperlukan pula untuk menjalankan dan menghentikan reaktor. Oleh karena itu didalam reaktor diperlukan berbagai ukuran batang pengendali. Batang pengendali yang diperlukan untuk mengimbangi penurunan reaktivitas karena berkurangnya bahan bakar selama reaktor bekerja, harus mempunyai reaktivitas ekuivalen yang cukup besar, dan disebut batang kompensasi. Untuk mengimbangi perubahan reaktivitas yang kecil dan cepat, misalnya selama mempertahankan reaktor supaya bekerja pada daya tetap, diperlukan suatu batang pengendali dengan reaktivitas ekuivalen yang kecil, tetapi mampu digerakkan dengan cepat yang disebut batang pengatur. Sedang untuk menghentikan reaktor dengan cepat, misalnya dalam keadaan darurat, diperlukan batang pengendali dengan reaktivitas ekuivalen yang cukup besar dan dapat digerakkan dengan sangat cepat yang disebut batang pengamanan. Disamping alat pengendali

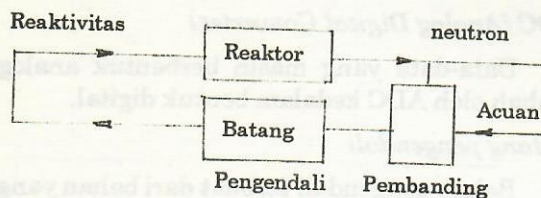
tersebut setiap reaktor biasanya masih mempunyai sistem pengaman cadangan yang akan diperlukan bila berhubung sesuatu hal alat pengendali itu tidak dapat bekerja, misalnya dengan jalan mengalirkan bahan-bahan penyerap dalam bentuk butir-butir maupun cairan ke dalam reaktor atau dengan mengeluarkan moderator keluar reaktor.

Dasar-dasar teknik pengaturan.

Teknik pengaturan dilaksanakan berdasarkan pada teknik umpan balik (feed back) dan analisis sistem secara linier dan dengan memadukan konsep-konsep teori jaringan (Network theory). Suatu sistem pengaturan adalah hubungan timbal balik antara komponen-komponen yang membentuk suatu konfigurasi sistem yang memberikan suatu hasil yang dikehendaki. Hasil ini dinamakan respon sistem. Dasar untuk menganalisis suatu sistem adalah landasan yang diberikan oleh teori sistem linier, yang menganggap adanya hubungan linier antara sebab dan akibat suatu sistem. Pada suatu sistem terbuka, seluruh kesalahan dan adanya perubahan nilai, akan mengakibatkan perubahan dan ketidak telitian pada keluarannya. Suatu sistem tertutup akan peka terhadap perubahan keluaran yang disebabkan perubahan pada prosesnya, dan mencoba untuk memperbaiki keluarannya.



Gambar 1. Rangkaian terbuka reaktor yang disederhanakan.



Gambar 2. Rangkaian tertutup reaktor yang disederhanakan.

Kemampuan untuk mengatur penampilan keadaan mantap dari respon adalah suatu keuntungan dari sistem pengaturan berumpan balik. Untuk menganalisis dan merancang suatu sistem pengaturan, maka penampilan sistem itu harus didefinisikan dan diukur. Maka berdasarkan penampilan sistem yang dikehendaki, parameter sistem dapat diatur agar dapat mem-

berikan penampilan yang dikehendaki. Karena setiap sistem pengaturan adalah juga suatu sistem dinamik, maka penampilan biasanya juga dicirikan baik oleh respon (tanggapan) waktu untuk suatu sinyal masukan tertentu, maupun oleh kesalahan keadaan mantap yang dihasilkannya. Untuk memperbaiki tanggapan (respon sistem) maka diperlukan pengatur PID.

Sifat-sifat pengendali PID adalah sbb:

- a. Pengendali P (Proporsi) :
 - Sebanding dengan kesalahan yang terjadi.
- b. Pengendali I Integrasi :
 - Menghindari timbulnya kesalahan tetap,
 - memperbesar overshoot,
 - memperlambat tanggap waktu sistem,
- c. Pengendali D Diferensiasi:
 - Mengurangi overshoot,
 - Mempercepat tanggap waktu,
 - memperbesar band width,
 - menjadi lebih peka terhadap derau.

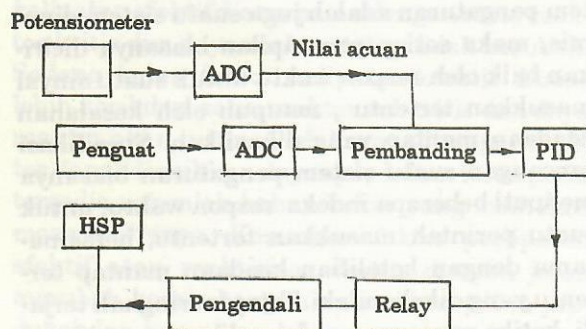
Kemampuan untuk mengatur penampilan keadaan mantap dari respon kilasan adalah keuntungan yang jelas dari sistem pengaturan yang berumpan balik. Untuk menganalisis dan merancang suatu sistem pengaturan kita harus mendefinisikan dan mengukur penampilan sistem yang bersangkutan. Maka berdasarkan penampilan sistem yang dikehendaki, parameter sistem dapat distel untuk dapat memberikan penampilan yang diinginkan. Karena setiap sistem pengaturan adalah juga suatu sistem dinamis, maka setiap penampilan biasanya dicirikan baik oleh respon waktu untuk suatu sinyal masukan tertentu, maupun oleh kesalahan keadaan mantap yang dihasilkan. Spesifikasi rancangan suatu sistem pengaturan biasanya meliputi beberapa indeks respon waktu, untuk suatu perintah masukan tertentu, bersama-sama dengan ketelitian keadaan mantap tertentu yang dikehendaki. Tetapi seringkali terjadi, ketika rancangan sedang dibuat, spesifikasi itu ditinjau kembali supaya tercapai suatu kompromi. Karena itu spesifikasi tersebut jarang sekali yang berbentuk suatu perangkat yang kaku dengan banyak persyaratan, tapi umumnya lebih mirip suatu daftar percobaan untuk penampilan yang diinginkan. Spesifikasi yang dinyatakan dengan ukuran penampilan menunjukkan kepada siperancang mutu sistem. Dengan perkataan lain, suatu penampilan akan merupakan suatu ukuran terhadap pertanyaan: Seberapa baik suatu sistem harus bekerja dalam menjalankan tugas yang dirancang diperuntukkan baginya sesuai dengan rancangan.

Percobaan.

Dalam percobaan ini reaktor yang dipergunakan adalah reaktor SUR- 100 (Siemens-Unterrichts-Reaktor). Reaktor SUR-100 adalah reaktor termis dengan inti yang homogen dan padat dan dapat menghasilkan daya sebesar 100 mW.

Data-data reaktor SUR-100 adalah sebagai berikut :

Tipe reaktor	: Termis dengan inti homogen dan padat.
Bahan bakar	: U_3O_8 , pengkayaan 20% U-235.
Moderator	: Polietilen (homogen dengan U_3O_8).
Inti reaktor	: Silinder (dia. 24 cm, tinggi 26 cm).
Batang kendali	: Kadmium 2 buah.
Sumber neutron	: 10 mc-Ra-Be.
Daya	: 100 mW
Kerapatan fluks neutron termis maks.	: 6.10^6 n/cm ² detik
Reaktivitas batang kendali	: 0,6 \$/buah
Koeff. temperatur	: - 0,034 \ °C
Umur prompt. neutron	: 4.10^{-5} detik



Gambar 3 : Rangkaian peralatan

Diagram diatas menunjukkan bagaimana suatu komputer digital menerima dan mengubah sinyal dalam bentuk digital (numerik) dan bukan sinyal kontinue. Hasil pengukuran data dijemakan dari bentuk analog kebentuk digital dengan suatu penjelma (Converter). Setelah komputer digital itu mengolah masukkan, sistem itu menghasilkan keluaran dalam bentuk digital. Keluaran ini kemudian dijemakan kem-

bali dalam bentuk analog, dengan suatu penjelma yang merubah bentuk digital keanalog.

Alat ukur neutron

Pada percobaan ini sebagai alat pengukur neutron dipergunakan kamar pengionisasi. Dalam bentuknya yang paling sederhana, kamar pengionisasi terdiri dari ruang ionisasi yang berisi gas dan sepasang elektroda yang diberi beda potensial listrik. Sebuah zarah bermuatan yang meliwati gas pengisi akan melepaskan elektron-elektron dari molekul-molekul gas sehingga terbentuk ion yang bermuatan positif.

Pasangan elektron-ion positif tersebut akan tertarik kearah yang berlawanan didalam medan listrik diantara kedua elektroda, elektron kearah elektroda positif (anoda) dan ion positifnya kearah elektroda negatif (katoda). Pemisahan muatan akan menimbulkan aliran muatan yang serupa pada elektroda, dan arus listrik yang ditimbulkan akan sebanding dengan banyaknya pasangan ion yang terbentuk dalam ruang ionisasi yang sudah tentu akan sebanding dengan intensitas radiasi yang melewati ruang ionisasi.

Pembandingan

Pembandingan mempunyai kemampuan, bahwa sinyal keluarannya merupakan selisih antara besarnya keluaran dari pendekteksi neutron dengan nilai acuan yang diberikan oleh potensiometer.

Potensiometer

Nilai acuan diatur oleh Potensiometer yang dapat diubah-ubah besarnya sesuai dengan yang dikehendaki.

ADC (Analog Digital Converter)

Data-data yang masih berbentuk analog diubah oleh ADC kedalam bentuk digital.

Batang pengendali

Bahan pengendali terbuat dari bahan yang mempunyai daya serap neutron yang sangat besar dan berfungsi untuk mengendalikan jumlah populasi neutron yang terdapat didalam reaktor, jadi juga mengendalikan jumlah reaksi fisi yang terjadi.

Program dengan perangkat lunak TUTSIM

Program dengan perangkat lunak TUTSIM dapat dilihat pada lampiran 1.

HASIL DAN DISKUSI

Dari gambar sistem secara keseluruhan terlihat bahwa komputer merupakan subsistem yang bertindak sebagai pengatur (Controller) agar dicapai keadaan keluaran (output) yang menyamai acuan.

Dari beberapa percobaan dapat dilihat bahwa makin besar K_p , tanggapan makin cepat menuju ke keadaan mantap.

Untuk K_p yang sama, dengan K_i yang makin besar tanggapannya pun makin cepat menuju ke keadaan mantap.

Tanggapan kilasan dapat diperbaiki dengan menyeting parameter-parameter pengatur PID sedemikian sehingga diperoleh tanggapan yang memenuhi spesifikasi-spesifikasi tanggapan kilasan yang baik.

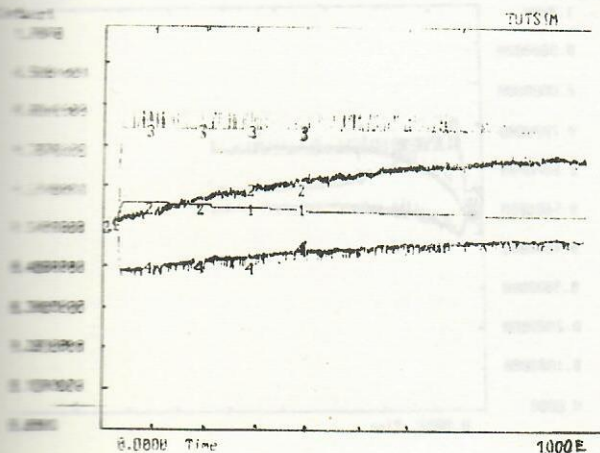
Adanya relay dalam diagram sistem diatas hanya berfungsi sebagai saklar (on-off), apabila keluaran (daya reaktor) telah mencapai keadaan tunak, yaitu apabila daya reaktor telah sama dengan acuannya maka saklar akan terputuskan (off).

Perlakuan batang pengendali

Faktor proportional = 1

Plot Blocks and Scales:

Format	Block No	Plot-Minimum	Plot-Maximum	Comment
Horz	0	0.0000	1.000E+03	Time
Y1	11	-2.0000	2.0000	Kedudukan bat. kendali
Y2	31	0.0000	1.0000	keluaran
Y3	34	0.0000	1.0000	Acuan
Y4	35	-1.0000	1.0000	Penyimp. acuan

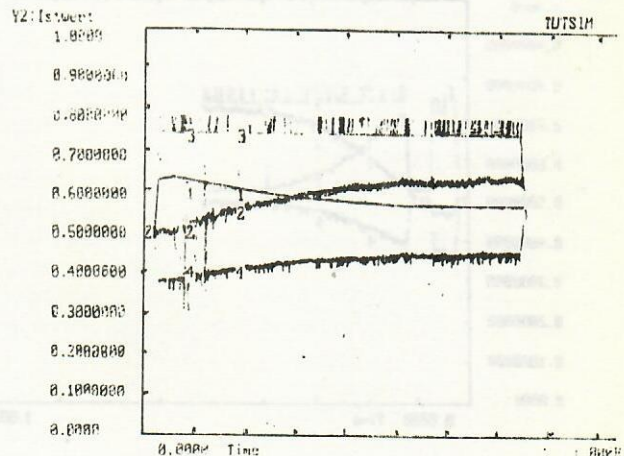


Perlakuan batang pengendali

Faktor proportional = 2

Plot Blocks and Scales:

Format	Block No	Plot-Minimum	Plot-Maximum	Comment
Horz	0	0.0000	1.000E+03	Time
Y1	11	-2.0000	2.0000	Kedudukan bat. kendali
Y2	31	0.0000	1.0000	keluaran
Y3	34	0.0000	1.0000	Acuan
Y4	35	-1.0000	1.0000	Penyimp. acuan

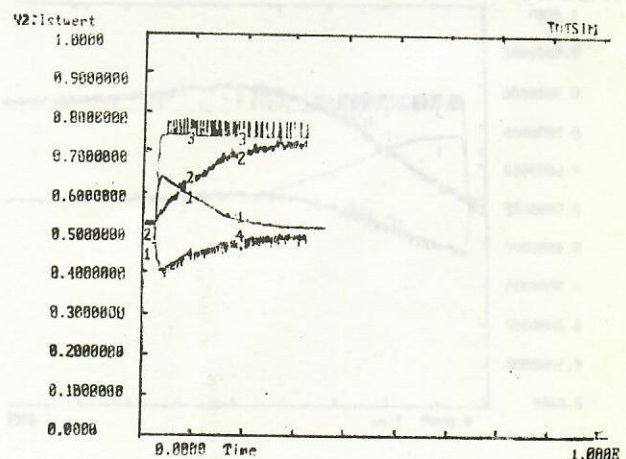


Perlakuan batang pengendali

Faktor proportional = 3

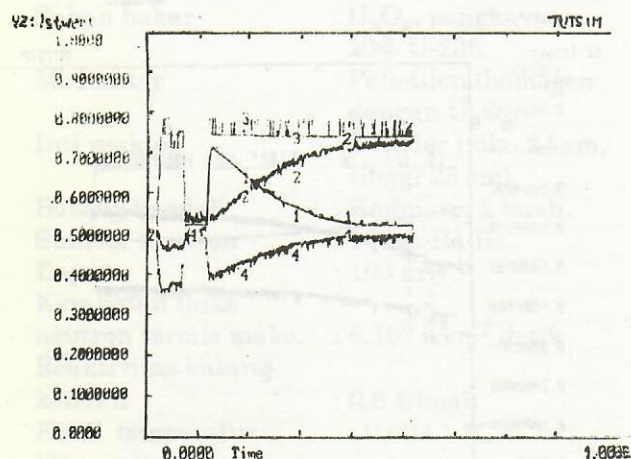
Plot Blocks and Scales:

Format	Block No	Plot-Minimum	Plot-Maximum	Comment
Horz	0	0.0000	1.000E+03	Time
Y1	11	-2.0000	2.0000	Kedudukan bat. kendali
Y2	31	0.0000	1.0000	keluaran
Y3	34	0.0000	1.0000	Acuan
Y4	35	-1.0000	1.0000	Penyimp. acuan



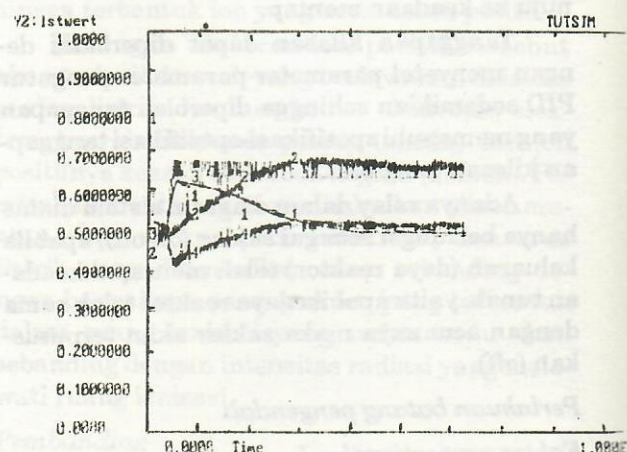
Perlakuan batang pengendali
Faktor proportional = 4
Plot Blocks and Scales

Format	Block No	Plot-Minimum	Plot-Maximum	Comment
Horz	0	0.0000	1.000E+03	Time
Y1	11	-2.0000	2.0000	Kedudukan bat. kendali
Y2	31	0.0000	1.0000	keluaran
Y3	34	0.0000	1.0000	Acuan
Y4	35	-1.0000	1.0000	Penyimp. acuan



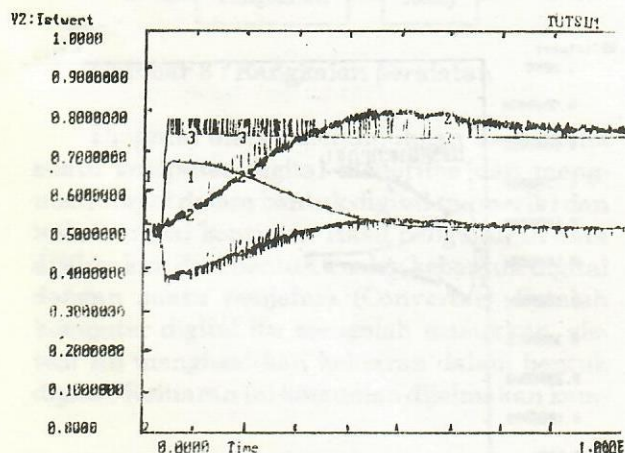
Perlakuan batang pengendali
Faktor proportional = 3; Faktor integral = 0,02
Plot Blocks and Scales

Format	Block No	Plot-Minimum	Plot-Maximum	Comment
Horz	0	0.0000	1.000E+03	Time
Y1	11	-2.0000	2.0000	Kedudukan bat. kendali
Y2	31	0.0000	1.0000	keluaran
Y3	34	0.0000	1.0000	Acuan
Y4	35	-1.0000	1.0000	Penyimp. acuan



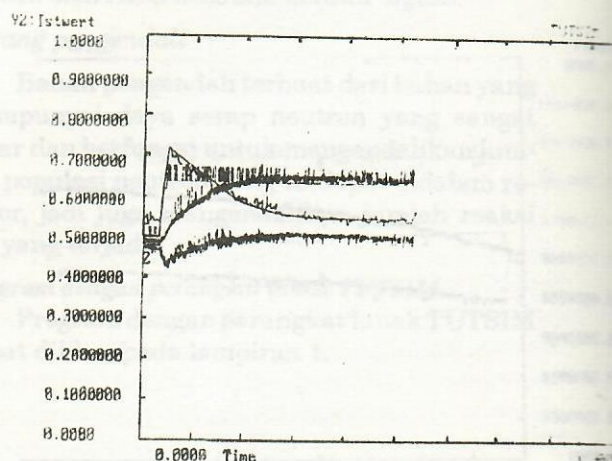
Perlakuan batang pengendali
Faktor proportional = 3 ; Faktor integral = 0,01
Plot Blocks and Scales

Format	Block No	Plot-Minimum	Plot-Maximum	Comment
Horz	0	0.0000	1.000E+03	Time
Y1	11	-2.0000	2.0000	Kedudukan bat. kendali
Y2	31	0.0000	1.0000	keluaran
Y3	34	0.0000	1.0000	Acuan
Y4	35	-1.0000	1.0000	Penyimp. acuan



Perlakuan batang pengendali
Faktor integral = 0,03
Plot Blocks and Scales

Format	Block No	Plot-Minimum	Plot-Maximum	Comment
Horz	0	0.0000	1.000E+03	Time
Y1	11	-2.0000	2.0000	Kedudukan bat. kendali
Y2	31	0.0000	1.0000	keluaran
Y3	34	0.0000	1.0000	Acuan
Y4	35	-1.0000	1.0000	Penyimp. acuan



Perlakuan batang pengendali

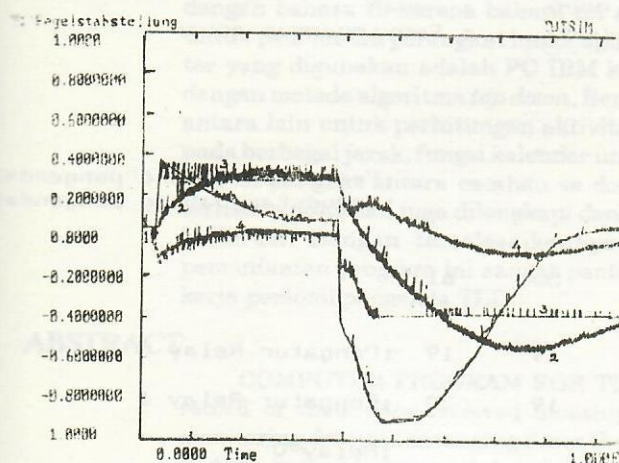
Faktor proportional = 3 ; Faktor integral = 0,04

Plot Blocks and Scales

Format	Block No	Plot-Minimum	Plot-Maximum	Comment
Horz	0	0.0000	1.000E+03	Time
Y1	34	0.0000	1.0000	Kedudukan bat. kendali
Y2	31	0.0000	1.0000	keluaran
Y3	50	-1.0000	1.0000	Acuan
Y4	35	-1.0000	1.0000	Penyimp. acuan

KESIMPULAN

Dengan menggunakan komputer sebagai pengendali daya reaktor, maka dapat dipilih dengan mudah kecepatan dan karakteristik pengendali daya untuk mencapai keadaan stationer. Disamping itu, daya reaktor yang diinginkan dapat diprogram dengan mempergunakan komputer dan keselamatan dapat lebih diandalkan karena faktor kesalahan manusia dapat diabaikan.



DAFTAR PUSTAKA

1. Geoffrey Gordon : "Systemsimulation", R.Oldenbourg Verlag Muenchen & Wien 1972.
2. M.A.Schultz : " Control of Nuclear Reactors and Power Plans", Mc. Graw-Hill Book Company Inc. 1961.
3. Werner Jentsch : "Digitale Simulation kontinuierlicher Systeme", R.Oldenbourg Verlag Muenchen & Wien 1969.

Lampiran 1.

Program dengan perangkat lunak TUTSIM

PlotBlocks and Scales:

Format:

	BlockNo,	Plot-MINimum,	Plot-MAXimum;	Comment
Horz:	0	0.0000	1.000E+03	; Time
Y1:	11	-2.0000	2.0000	; Kedudukan batang pengendali
Y2:	31	0.0000	1.0000	; Keluaran
Y3:	34	0.0000	1.0000	; Acuan
Y4:	35	-1.0000	1.0000	; Penyimpangan acuan

MODEL:

	1	TIM			
	10	SUM	16	-17	
190.000E-06	11	BAI	10		; Kedudukan batang pengendali
1.0000	16	IN			; Kedudukan batang pengendali
1.0000					
22.500E+03	17	CON			
	18	SUM	11	50	61
0.0000	19	CON			
1.0000	20	CON			
0.0100000	21	REL	20	19	19 ;Pengatur Relay 0
			18		
-0.0100000	22	REL	19	19	20 ;Pengatur Relay 1
			18		
0.0000	23	OUT	21		;Relay 0
1.0000					
0.0000	24	OUT	22		;Relay 1
3.0000					
32.768E+03	27	CON			;konstante A/D
3.0000	28	IN			;ADC 3
1.0000					
	29	DIV	28	27	;A/D 3
1.8000	31	BAI	29		;Keluaran
4.0000	32	IN			;ADC 4
1.0000					
	33	DIV	32	27	;A/D 4
1.0000	34	BAI	33		;Acuan
	35	SUM	31	-34	;Penyimpangan acuan
3.0000	50	BAI	35		;Kp
0.0100000	60	BAI	35		;Ki
0.0000	61	EUL	60		
	100	SYC			;sinkronisasi