

## ANALISIS KUALITATIF PENGARUH PERUBAHAN TEKANAN TURBIN TERHADAP BEBERAPA PARAMETER REAKTOR DAYA JENIS BWR

Tjipta Suhaemi, Djoko Hari N, Suharyo Widagdo

Pusat Penelitian Teknologi Keselamatan Reaktor- Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK.

ANALISIS KUALITATIF PENGARUH PERUBAHAN TEKANAN TURBIN TERHADAP BEBERAPA PARAMETER REAKTOR DAYA JENIS BWR. Sistem pengendalian turbin merupakan salah satu sistem yang digunakan untuk mengendalikan reaktor daya. Dalam makalah ini dilakukan analisis pengaruh dari perubahan pengesetan tekanan turbin terhadap beberapa parameter reaktor untuk reaktor daya jenis BWR. Sebagai model diambil simulasi reaktor daya jenis BWR menggunakan komputer hibrida. Komputer hibrida adalah suatu sistem komputer yang terdiri dari komputer analog EAI-2000 dan komputer digital G-8050. Simulasi reaktor daya jenis BWR ini diperoleh dengan membagi model simulasi ke bagian analog dan digital. Sistem pengendalian reaktor, kinetika reaktor, perpindahan panas batang bahan bakar, dinamika void disimulasikan ke dalam bagian analog, sedangkan perhitungan termohidrolika dilakukan oleh bagian digital. Dari hasil analisis diperoleh bahwa pengurangan tekanan turbin 10% dan 20% mengakibatkan fluks neutron, suhu bahan bakar, jumlah panas yang diserap pendingin menurun dan kemudian naik sampai tingkat kestabilan. Sedangkan laju alir uap bejana dan laju alir uap turbin naik kemudian turun dan tekanan di dalam teras reaktor serta tekanan sungkup menurun. Laju pompa resirkulasi, aliran masuk teras dan ketinggian air reaktor tetap.

### ABSTRACT

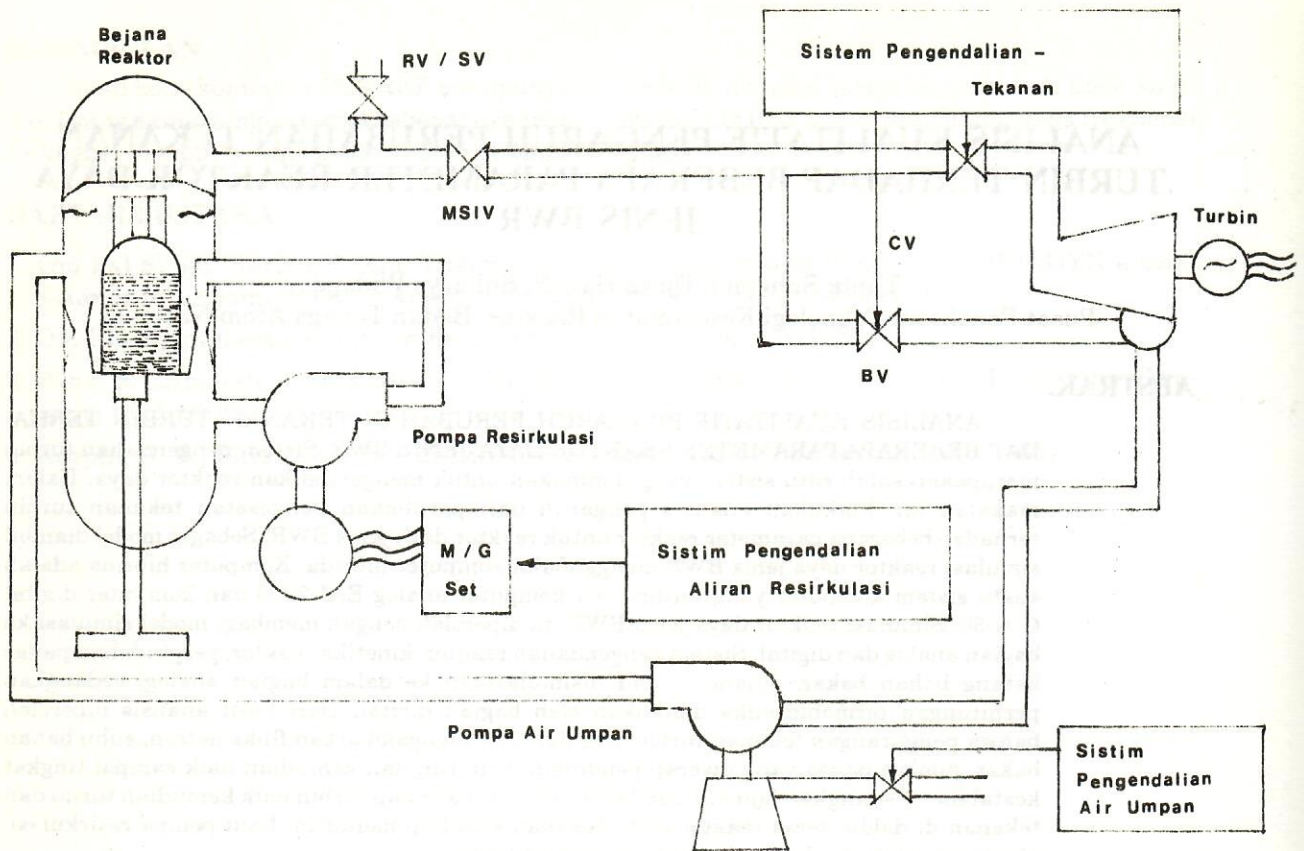
QUALITATIVE ANALYSIS OF THE INFLUENCE AT TURBINE PRESSURE CHANGE ON SOME PARAMETERS OF THE BOILING WATER REACTOR (BWR). Turbine pressure control system is one of the systems used to control a nuclear power plant. The influence of turbine pressure setting change on some reactor parameters for the BWR is analysed in this paper. A simulation of a BWR type nuclear power plant was used as a model using a hybrid computer. A hybrid computer is a computer system that consisted of a EAI-2000 analog computer and a G-8050 digital computer. This simulation of the BWR type nuclear power plant is obtained by dividing the simulation model to analog and digital parts. The reactor control system, reactor kinetics, fuel element heat transfer, void dynamics are simulated into analog part, while the thermohydraulic calculation is done by digital part. The result obtained shows that the pressure decrease of 10% and 20% caused the decrease of the neutron flux, fuel temperature, heat flux absorbed by cooling and then they increased to the stable level. While the vessel and turbine steam flow rate increased then decreased and the pressure in the reactor core and the cover decreased. The recirculation pump rate, reactor core flow and water level was constant.

### PENDAHULUAN

Reaktor daya jenis BWR atau reaktor air mendidih merupakan suatu reaktor termal yang memakai air sebagai pendingin dan moderator. Pada reaktor BWR, panas yang dihasilkan oleh reaksi pembelahan inti di dalam teras reaktor digunakan untuk mendidihkan air. Uap yang terjadi setelah dipisahkan dari butir-butir air oleh separator dan pengering keluar dari bejana reaktor menuju turbin. Turbin ini memutar generator listrik untuk menghasilkan listrik. Sebagian besar uap dari turbin mengalir ke kondensor dan uap ini akan berkondensasi menjadi air lagi. Diagram reaktor daya BWR

dapat dilihat pada Gambar 1 (lihat halaman berikutnya).

Sebagai model diambil simulasi reaktor daya jenis BWR menggunakan komputer hibrida. Sistem komputer hibrida merupakan suatu sistem komputer yang terdiri dari dua komputer utama yaitu komputer analog dan komputer digital yang dilengkapi dengan antar muka dan isyarat sedemikian sehingga mereka dapat beroperasi secara simultan dalam mengolah dan/atau memecahkan permasalahan atau bagian-bagian dari permasalahan.



Gambar 1. Diagram reaktor daya jenis BWR

Model simulasi reaktor BWR dibagi ke dalam bagian analog dan bagian digital. Model dengan *time-constant* yang pendek dikerjakan pada bagian analog, sedangkan model dengan pengoperasian aritmatika non-linear dan pengoperasian logika ditangani oleh bagian digital.

Sistem pengendalian reaktor, kinetika reaktor, perpindahan panas batang bahan bakar, dinamika void disimulasikan ke dalam bagian analog, sedangkan perhitungan termohidrolika untuk saluran pendinginan teras dan perhitungan resirkulasi dilakukan oleh bagian digital.

Di dalam simulasi reaktor BWR ini digunakan 3 jenis sistem pengendalian yaitu: sistem pengendalian turbin, sistem pengendalian aliran resirkulasi dan sistem pengendalian air umpam. Sistem pengendalian tekanan turbin merupakan salah satu sistem yang digunakan untuk mengendalikan reaktor daya jenis BWR. Dalam makalah ini dibahas analisis dari sistem pengendalian tekanan turbin.

Sistem pengendalian tekanan turbin mencakup perhitungan tekanan turbin dan aliran turbin.

Persamaan tekanan turbin ( $P_t$ ):

$$dP_t / dt = (\dot{m}_s - \dot{m}_t) / [V_{msl} (\rho / P) g] \quad (1)$$

$\dot{m}_t$  = laju alir uap di turbin

$\dot{m}_s$  = laju alir uap utama

$V_{msl}$  = volume pada jalur uap utama

Untuk aliran turbin digunakan persamaan:

$$\dot{m}_t = m_t^* f(X_{cv}) \quad (2)$$

$m_t^*$  = laju alir uap di turbin yang diharapkan

$f(X_{cv})$  = karakteristik fungsi pengendalian

Pada bagian digital dilakukan perhitungan untuk kesetimbangan massa dan energi di dalam teras, kesetimbangan massa dan energi di dalam kubah bejana, perhitungan aliran pendingin dan air umpam.

Di dalam bejana reaktor berlaku persamaan kesetimbangan energi dan massa sebagai berikut:

$$d / dt (M_{gD}) = \dot{m}_{f-g} - X_{sep} m_{sep} \quad (3)$$

$$d / dt (M_{fD}) = \dot{m}_c - \dot{m}_{f-g} - (1 - X_{sep}) m_{sep} \quad (4)$$

$$d / dt (v_g M_{gD} + v_f M_{fD}) = 0 \quad (5)$$

$$d/dt (h_g M_{gD} + h_f M_{fD}) - (V_D/J) d/dt (P_c) = Q_{fc} + h_c \dot{m}_c$$

$$[X_{sep} h_g - (1 - X_{sep}) h_f] \dot{m}_{sep} \quad (6)$$

- $M_{gD}$  = massa uap di dalam bejana reaktor
- $M_{fD}$  = massa cairan di dalam bejana reaktor
- $M_{gc}$  = massa uap di dalam teras
- $M_{fc}$  = massa cairan di dalam teras
- $v_g$  = volume jenis uap
- $v_f$  = volume jenis cairan  $h_g$  = entalpi uap
- $h_f$  = entalpi cairan
- $h_c$  = entalpi pada masukan teras
- $\dot{m}_{f-g}$  = laju alir evaporasi
- $\dot{m}_c$  = laju alir ke teras reaktor
- $\dot{m}_{sep}$  = laju alir melalui separator
- $X_{sep}$  = kualitas keluaran plenum
- $Q_{fc}$  = panas di dalam teras

Dari eliminasi keempat persamaan di atas diperoleh persamaan untuk perubahan tekanan teras reaktor yaitu:

$$dP_c/dt = (Q_{fc} - h \dot{m}_c - cA) / B \quad (7)$$

dengan:

- $A = X_{sep} v_{fg} \dot{m}_{sep} + v_f (\dot{m}_{sep} - \dot{m}_c)$
- $B = M_{gD} [(\partial h / \partial P)_g - (\partial v / \partial P)_g] + M_{fD} [(\partial h / \partial P)_f - (\partial v / \partial P)_f] - V_D/J$
- $c = h_{f-g} / V_{f-g}$
- $v_{fg}$  = perubahan volume jenis
- Massa total:

$$dM_{cp} / dt = \dot{m}_c - \dot{m}_{sep} \quad (8)$$

$M_{cp}$  = massa total di dalam teras dan plenum  
Untuk kesetimbangan massa di dalam kubah uap digunakan persamaan berikut:

Laju alir separator ( $\dot{m}_{sep}$ )

$$\dot{m}_{sep} = \sqrt{(P_c - P_d) / k_{sep}} \quad (9)$$

$k_{sep}$  = koefisien rugi friksi separator  
Tekanan di dalam kubah ( $P_d$ )

$$dP_d/dt = (X_{sep} \dot{m}_{sep} - \dot{m}_s) / [V_d (\partial / \partial P)_g] \quad (10)$$

Laju alir uap utama ( $\dot{m}_s$ )

$$\dot{m}_s = (P_d - P_t) / k_{msl} \quad (11)$$

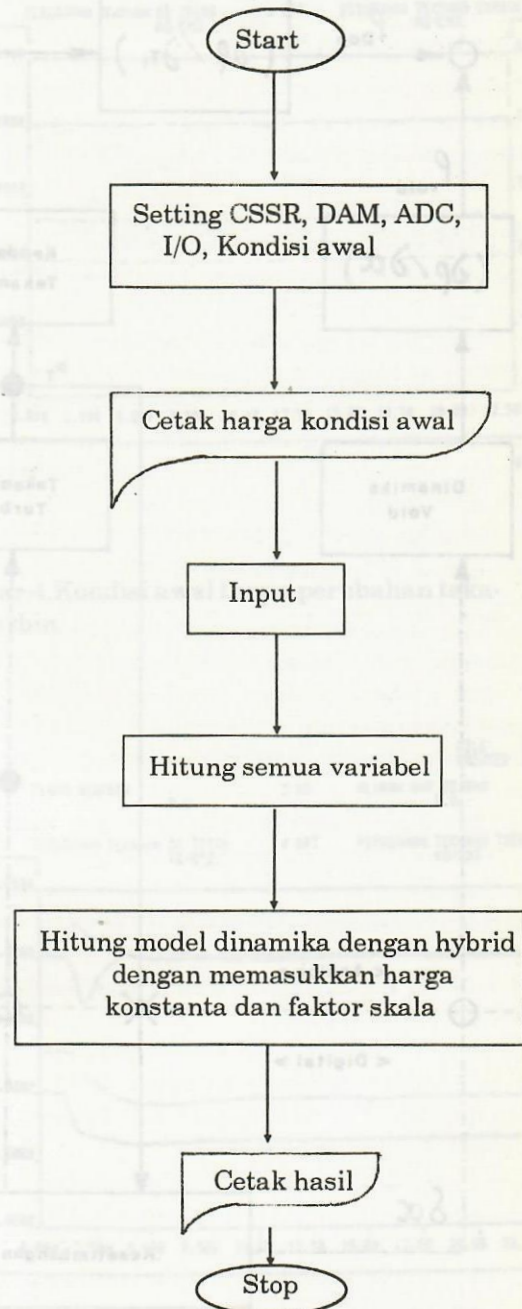
- $V_D$  = volume teras dalam plenum
- $P_c$  = tekanan teras
- $P_d$  = tekanan dalam bejana/sungkup reaktor
- $k_{msl}$  = koefisien rugi friksi saluran uap utama

## BAHAN DAN METODA

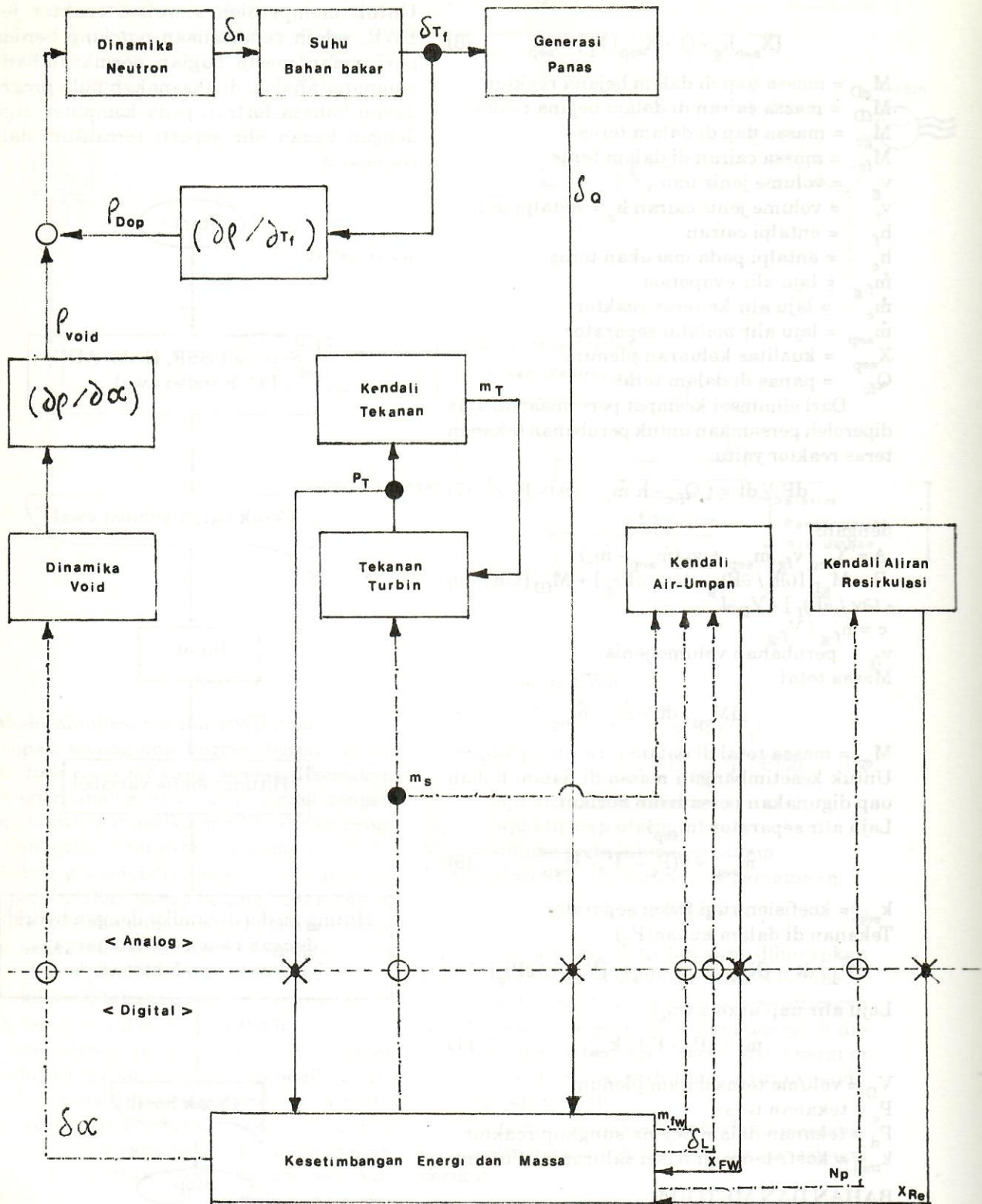
### Peralatan

Sistem komputer hibrida terdiri dari sistem komputer analog EAI- 2000 dan sistem komputer digital TOSBAC G-8050. Diagram

model simulasi reaktor daya jenis BWR dapat dilihat pada Gambar 2 (lihat halamn berikut). Untuk memperoleh simulasi reaktor jenis BWR, selain pelaksanaan *patching* berdasar persamaan mesin bagian permasalahan di komputer analog, dilaksanakan pula program dalam bahasa fortran pada komputer digital dengan bagan alir seperti tercantum dalam Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir program komputer digital



Gambar 2. Diagram model simulasi reaktor BWR

**Tata kerja**

1. Dibuat *patching* rangkaian analog dari persamaan dinamika neutron dan sistem pengendalian. Rangkaian analog dapat dilihat dari daftar pustaka [5].
2. Dibuat program dalam bahasa fortran untuk bagian yang harus diselesaikan dengan komputer digital.
3. Dilakukan *linkage* antara komputer digital dan komputer analog
4. Dibuat grafik kondisi awal fluks neutron, tekanan di teras dan laju alir uap untuk kondisi sebelum diadakan perubahan tekanan turbin.
5. Dilakukan perubahan pengesetan tekanan turbin sebesar -10% dan dibuat grafik sebagai efek perubahan tekanan turbin terhadap perubahan fluks neutron, tekanan di dalam teras, tekanan sungkup, suhu bahan bakar, jumlah panas yang diserap, aliran uap melalui bejana reaktor, laju alir uap, ketinggian air reaktor, laju pompa resirkulasi, aliran masuk teras.
6. Dilakukan perubahan pengesetan tekanan turbin sebesar -20% dan +10% dan ditinjau efeknya terhadap perubahan fluks neutron, tekanan di dalam teras dan laju alir uap.
7. Dilakukan analisis secara kualitatif pengaruh perubahan tekanan turbin tersebut.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

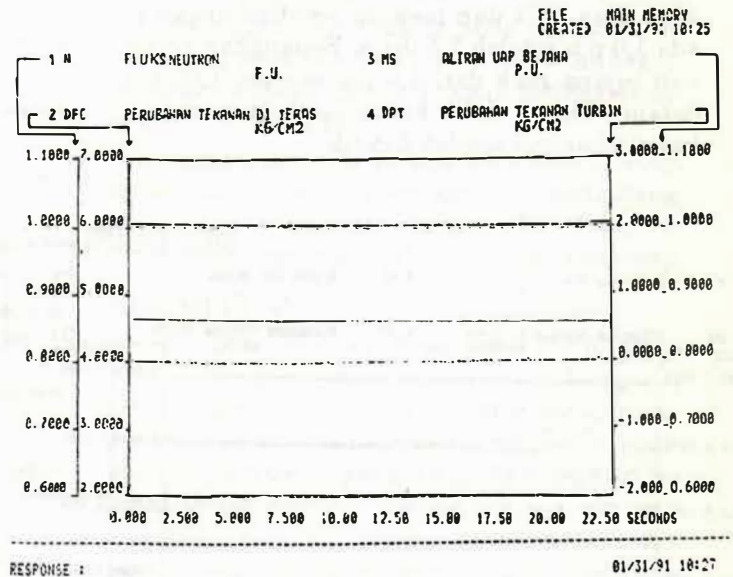
Pelaksanaan simulasi reaktor daya jenis BWR dilaksanakan dengan membagi model simulasi menjadi 2 bagian yaitu bagian analog dan bagian digital.

Untuk bagian analog terdiri dari: diagram dinamika neutron, diagram pengendalian aliran resirkulasi, diagram pengendalian air umpan dan diagram pengendalian tekanan turbin. Diagram tersebut dapat dilihat pada daftar pustaka 5.

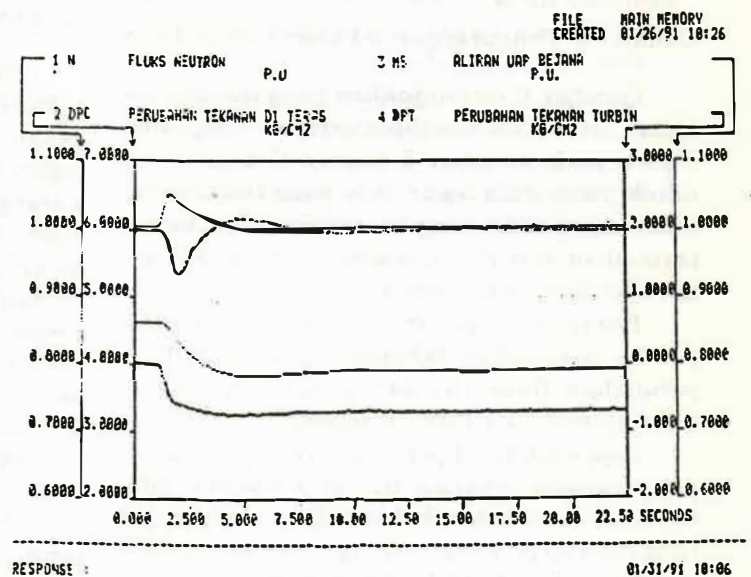
Simulasi diperoleh dengan melakukan *linkage* antara komputer digital TOSBAC G-8050 dengan komputer analog EAI-2000 melalui CSI (Control and set-up interface) dan SPI (Standard parallel interface).

Dari percobaan diperoleh Gambar 4 yang menunjukkan kondisi fluks neutron, tekanan di teras dan aliran uap bejana untuk kondisi sebelum adanya perubahan tekanan turbin (DPT), sedangkan hasil dari perubahan pengurangan tekanan turbin 10%, 20% dan kenaikan tekanan turbin 10% yang dilakukan masing-masing setelah 1 detik ditunjukkan oleh Gambar 5, 6 dan 7.

Terlihat dari Gambar 4 bahwa sebelum adanya perubahan tekanan turbin, besaran fluks neutron (N), tekanan di teras(DPC) dan aliran uap bejana (MS) berada dalam keadaan stabil masing-masing dengan besar 1 p.u (satuan per unit), 4,6 kg/cm<sup>2</sup> dan 1,0 p.u.



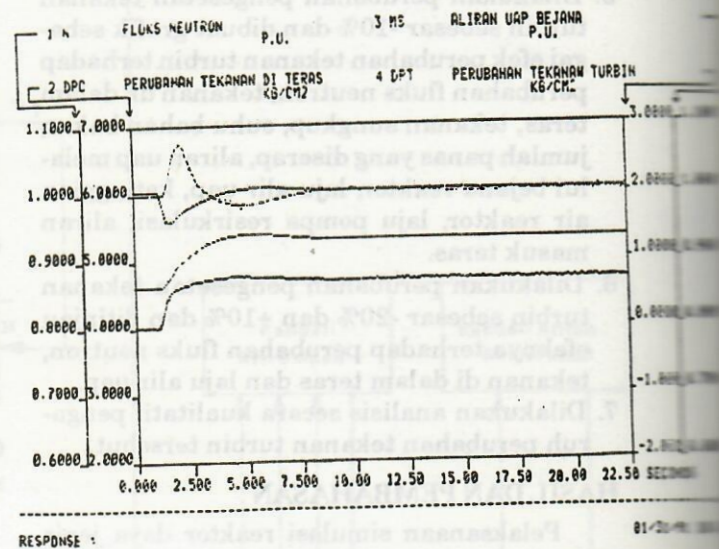
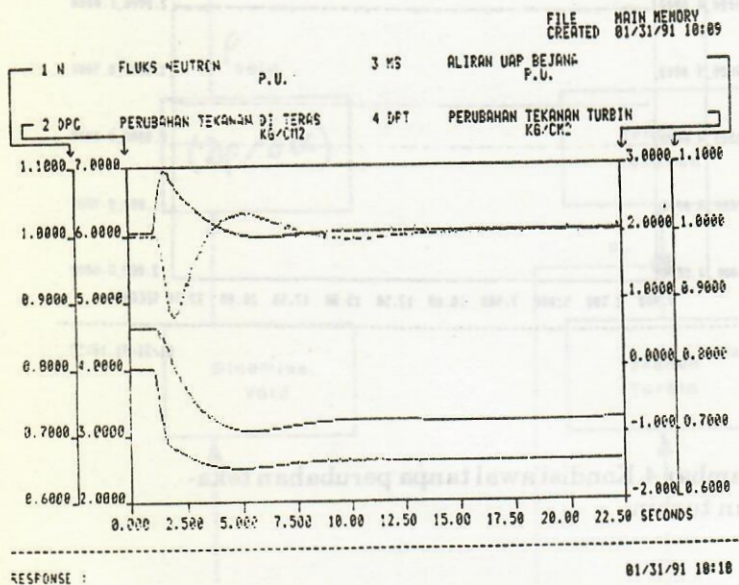
Gambar 4. Kondisi awal tanpa perubahan tekanan turbin



Gambar 5 .Pengurangan tekanan turbin 10 %

Gambar 5 menunjukkan pengurangan tekanan turbin 10% yang ditandai dengan turunnya tekanan turbin dari 0 menjadi -0,7 kg/cm<sup>2</sup>, tekanan di teras reaktor menurun dan setelah 5 detik menuju stabil dengan besar tekanan 3,90 kg/cm<sup>2</sup>. Fluks neutron menunjukkan penurunan sampai 0,94 p.u dalam waktu 1 detik dan kemudian naik dan menuju kesetimbangan pada 1,0 p.u setelah 7,5 detik. Sedangkan aliran uap bejana naik dari 1,0 p.u sampai 1,05 p.u dalam waktu 1 detik kemudian turun menuju kesetimbangan setelah 5 detik.

Perubahan tekanan turbin (%)	Besar nilai / harga			
	DPT (kg/cm <sup>2</sup> )	DPC (kg/cm <sup>2</sup> )	N (p.u)	MS (p.u)
0	0,00	4,60	1,00	1,00
-10	- 0,70	3,90	0,94	1,05
-20	- 1,40	3,20	0,88	1,10
+10	0,70	5,80	1,06	0,95



Gambar 6. Pengurangan tekanan turbin 20 %

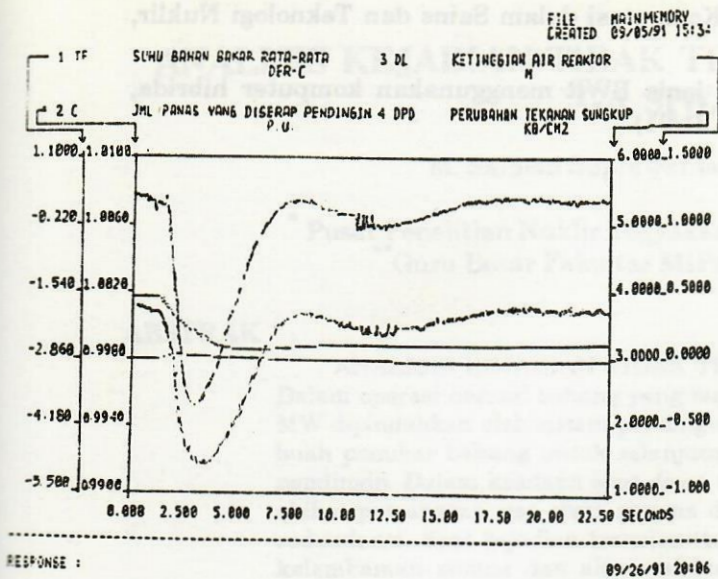
Gambar 6 menunjukkan pengurangan tekanan turbin 20% dan diperoleh pola yang sama seperti pada Gambar 5 namun dengan magnitude yang lebih besar. Pola yang terbalik dengan magnitude yang sama diperoleh untuk perubahan kenaikan tekanan turbin 10% seperti terlihat pada Gambar 7.

Besar nilai perubahan tekanan turbin (DPT), perubahan tekanan di teras (DPC), perubahan fluks (N) dan aliran uap bejana dapat dilihat dari Tabel di sebelah.

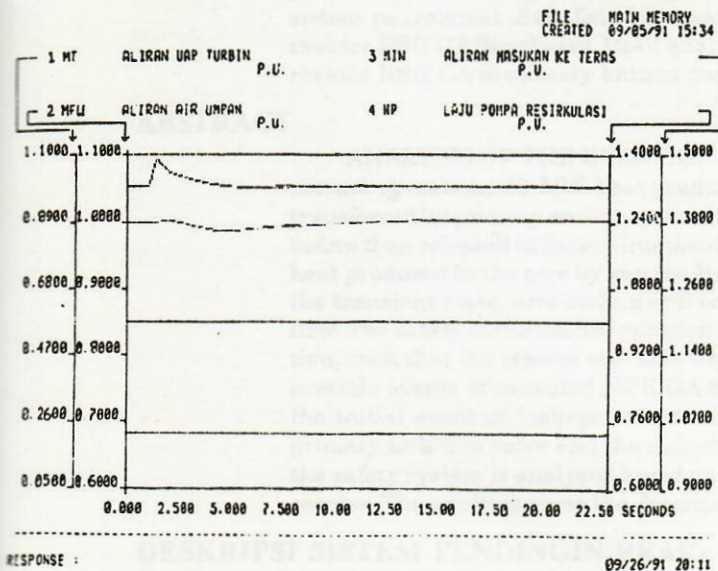
Diperoleh hasil percobaan dari perubahan pengurangan tekanan turbin sebanyak 10% terhadap suhu bahan bakar (TF), jumlah panas yang diserap pendingin (Q), perubahan tekanan sungkup reaktor (DPD, ketinggian air reaktor (DL), laju pompa resirkulasi (NP), aliran masuk teras (MIN), aliran uap turbin (MT) dan aliran air umpan (MFW) dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.

Gambar 7. Kenaikan tekanan turbin 10 %

Dapat dijelaskan bahwa pengurangan tekanan turbin akan mengakibatkan berkurangnya tekanan pada teras reaktor (DPC) dan juga tekanan pada sungkup reaktor (DPD). Berkurangnya tekanan teras reaktor akan membuat void bertambah banyak dan produksi uap meningkat. Jumlah void yang meningkat akan mengakibatkan berkurangnya kebolehdian terjadinya reaksi fisi, pada kondisi tersebut laju reaksi fisi per detik menurun sehingga fluks neutron menurun. Turunnya fluks neutron akan mengurangi fraksi void dalam teras dan produksi uap bejana reaktor turun sehingga aliran uap pun menurun. Berkurangnya fraksi void akan meningkatkan kembali laju reaksi fisi sehingga fluks neutron naik kembali. Demikian seterusnya hingga tercapai kesetimbangan fluks neutron dan kesetimbangan produksi uap bejana akibat umpan balik reaktivitas karena void negatif.



Gambar 8. Efek pengurangan tekanan turbin 10 % terhadap TP, Q, DL dan DPT



Gambar 9. Efek pengurangan tekanan turbin 10 % terhadap MP, MFW, MTN dan NP

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Archie W. Culp., Principles of Energy Conversion, McGraw Hill (1979).
2. Toshiba, Advance Boiling Water Reactor.
3. IAEA Bulletin, vol 31 No.3 (1989).
4. HYB-101, Hybrid Computer System Programming Manual, Toshiba Corp, Tokyo (1980).

Suhu bahan bakar dalam teras berkurang dengan turunnya fluks neutron dan akan naik dengan bertambahnya fluks neutron. Begitu pula panas yang diserap oleh pendingin akan mengikuti pola fluks neutron. Dari grafik ini dapat juga dilihat bahwa laju alir air dan laju alir air umpan tidak berubah.

Ketinggian air reaktor pada peristiwa ini akan tetap karena aliran air umpan tetap bekerja untuk menjaga kesetimbangan ketinggian air dalam bejana reaktor.

Sedangkan laju pompa resirkulasi tetap, aliran air umpan dalam keadaan setimbang, aliran masuk ke teras reaktor akan tetap sehingga ketinggian air dalam bejana akan tetap.

#### KESIMPULAN

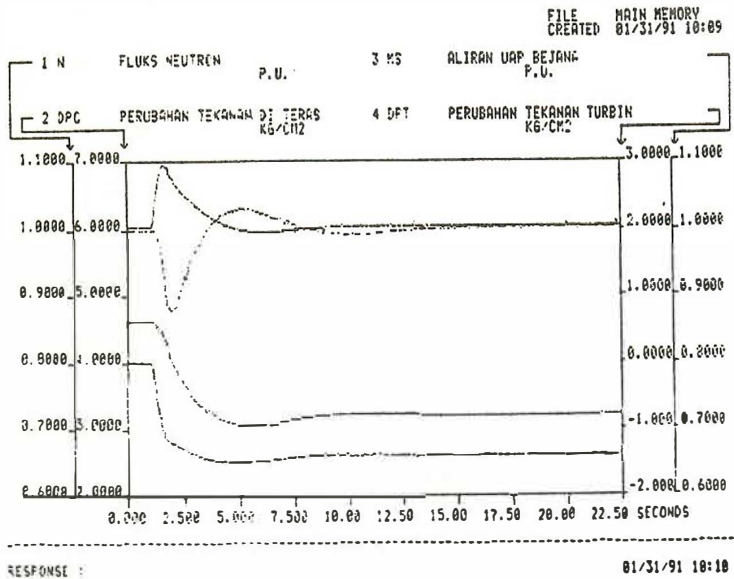
Simulasi reaktor daya jenis BWR dapat disusun dengan menggunakan sistem komputer hibrida. Dengan simulasi reaktor daya menggunakan komputer hibrida ini respon dari perubahan parameter yang diinginkan dapat diketahui secara cepat.

Dari perubahan pengesetan tekanan turbin dengan pengurangan 10% diperoleh fluks neutron yang menurun kemudian naik sampai tingkat kestabilan. Begitu pula suhu bahan bakar rata-rata, jumlah panas yang diserap pendingin mula-mula menurun kemudian naik dan akhirnya menuju kesetimbangan. Sedangkan laju alir uap bejana reaktor dan laju alir uap turbin mula-mula naik kemudian turun dan tekanan di dalam teras dan sungkup menurun. Laju pompa resirkulasi, aliran masuk teras, aliran air umpan dan ketinggian air reaktor dalam keadaan setimbang.

Untuk pengurangan tekanan turbin yang lebih besar (20%) diperoleh pola yang sama namun dengan magnitudo yang lebih besar. Untuk perubahan kenaikan tekanan turbin diperoleh pola dan hal yang terbalik.

Gambar 5 menunjukkan pengurangan tekanan turbin 10% yang ditandai dengan turunnya tekanan turbin dari 0 menjadi -0,7 kg/cm<sup>2</sup>, tekanan di teras reaktor menurun dan setelah 5 detik menuju stabil dengan besar tekanan 3,90 kg/cm<sup>2</sup>. Fluks neutron menunjukkan penurunan sampai 0,94 p.u dalam waktu 1 detik dan kemudian naik dan menuju kesetimbangan pada 1,0 p.u setelah 7,5 detik. Sedangkan aliran uap bejana naik dari 1,0 p.u sampai 1,05 p.u dalam waktu 1 detik kemudian turun menuju kesetimbangan setelah 5 detik.

Perubahan tekanan turbin (%)	Besarnya nilai / harga			
	DPT (kg/cm <sup>2</sup> )	DPC (kg/cm <sup>2</sup> )	N (p.u)	MS (p.u)
0	0,00	4,60	1,00	1,00
-10	- 0,70	3,90	0,94	1,05
-20	- 1,40	3,20	0,88	1,10
+10	0,70	5,30	1,06	0,95

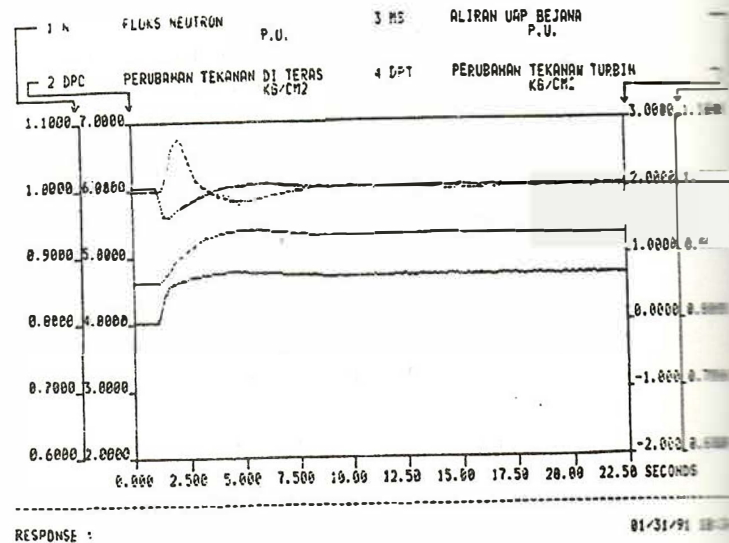


Gambar 6. Pengurangan tekanan turbin 20 %

Gambar 6 menunjukkan pengurangan tekanan turbin 20% dan diperoleh pola yang sama seperti pada Gambar 5 namun dengan magnitude yang lebih besar. Pola yang terbalik dengan magnitude yang sama diperoleh untuk perubahan kenaikan tekanan turbin 10% seperti terlihat pada Gambar 7.

Besarnya nilai perubahan tekanan turbin (DPT), perubahan tekanan di teras (DPC), perubahan fluks (N) dan aliran uap bejana dapat dilihat dari Tabel di sebelah.

Diperoleh hasil percobaan dari perubahan pengurangan tekanan turbin sebanyak 10% terhadap suhu bahan bakar (TF), jumlah panas yang diserap pendingin (Q), perubahan tekanan sungkup reaktor (DPD), ketinggian air reaktor (DL), laju pompa resirkulasi (NP), aliran masuk teras (MIN), aliran uap turbin (MT) dan aliran air umpan (MFW) dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.

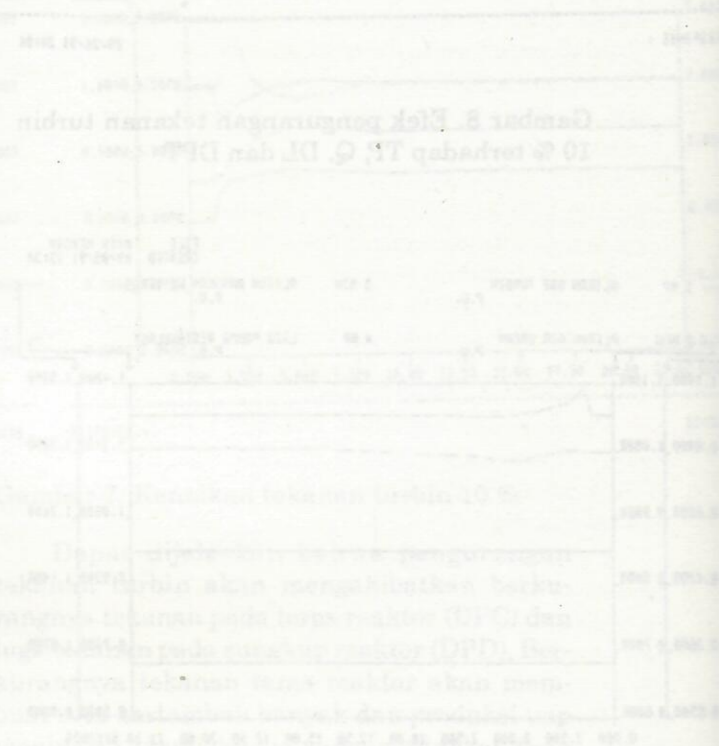
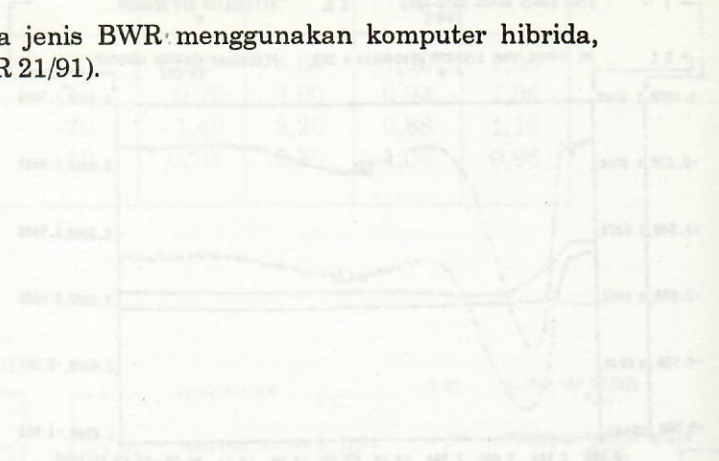


Gambar 7. Kenaikan tekanan turbin 10 %

Dapat dijelaskan bahwa pengurangan tekanan turbin akan mengakibatkan berkurangnya tekanan pada teras reaktor (DPC) dan juga tekanan pada sungkup reaktor (DPD). Berkurangnya tekanan teras reaktor akan membuat void bertambah banyak dan produksi uap meningkat. Jumlah void yang meningkat akan mengakibatkan berkurangnya kebolehan terjadinya reaksi fisi, pada kondisi tersebut laju reaksi fisi per detik menurun sehingga fluks neutron menurun. Turunnya fluks neutron akan mengurangi fraksi void dalam teras dan produksi uap bejana reaktor turun sehingga aliran uap pun menurun. Berkurangnya fraksi void akan meningkatkan kembali laju reaksi fisi sehingga fluks neutron naik kembali. Demikian seterusnya hingga tercapai kesetimbangan fluks neutron dan kesetimbangan produksi uap bejana akibat umpan balik reaktivitas karena void negatif.



5. Tjipta Suhaemi dkk., Studi awal perencanaan simulasi reaktor daya jenis BWR menggunakan komputer hibrida, Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir, Jakarta (19-20 Februari 1991).
6. Tjipta Suhaemi dkk, Simulasi reaktor daya jenis BWR menggunakan komputer hibrida, Laporan tahunan PPTKR 10990/1991 (PPTKR 21/91).



Gambar 5. Efek gangguan tekanan turbin  
10% terhadap T<sub>1</sub> Q DL dan DTP

Gambar 6. Efek gangguan tekanan turbin  
10% terhadap MP, MW, NTR dan N<sub>1</sub>