

METODA PEMILIHAN BATANG KENDALI UNTUK SISTEM PENURUN DAYA CEPAT AP600

Tegas Sutondo

Puslitbang Teknologi Maju - BATAN

ABSTRAK

METODA PEMILIHAN BATANG KENDALI UNTUK SISTEM PENURUN DAYA CEPAT AP600. AP600 direncanakan memiliki Sistem Penurun Daya Cepat (SPDC) pada sistem kendali dayanya, sehingga dimungkinkan penurunan tingkat daya reaktor secara cepat dan otomatis ke tingkat dibawah 50 % tanpa trip, bila terjadi penolakan beban yang cukup besar (lebih dari 50 %). Penurunan tingkat daya tersebut dilakukan dengan cara melepaskan sekelompok batang kendali yang telah dipilih sebelumnya yang mampu secara efektif menurunkan tingkat daya sekitar 50 % dan memenuhi beberapa kriteria yang telah ditetapkan. Dalam makalah ini diuraikan tentang pemilihan batang kendali tersebut sebagai bagian dari studi awal untuk mencari beberapa kelompok batang kendali yang memiliki potensi untuk digunakan saat aktuasi SPDC. Sebagai dasar perhitungan digunakan teras dengan disain siklus operasi 24 bulan untuk siklus I dan siklus seimbang. Dari hasil perhitungan dapat diidentifikasi 9 kelompok batang kendali yang berpotensi untuk digunakan dalam aktuasi SPDC, dimana karakteristiknya bervariasi terhadap tingkat burn up dan siklus operasi. Dengan demikian untuk penerapannya diperlukan suatu sistem logic yang mampu menyeleksi batang kendali yang sesuai dengan kondisi tingkat burn up maupun siklus operasinya.

ABSTRACT

CONTROL ROD SELECTION METHOD FOR THE AP600's RAPID POWER REDUCTION SYSTEM. AP600 was planned to have a Rapid Power Reduction System (RPRS) in its power control system by which, the reactor power can be rapidly reduced to a level below 50 %, without causing reactor trip, in case of great load rejection (over 50 %). The power reduction is performed by means of releasing a pre-selected rod group, having the capability to effectively reduce the power level around 50 % and meeting other specified requirements. The result indicates that there are some 9 rod groups identified to be potential for RPRS actuation, in which their characteristics vary with both the burn up level and the operating cycles. Hence, a logical system might be required for the selection of the appropriate rod group based on both the burnup levels and the operating cycles.

PENDAHULUAN

AP600 (*Advance Passive 600 MWe*), adalah salah satu PLTN jenis PWR yang menggunakan sistem keselamatan pasif (*Passive Safety System*) yang dikembangkan oleh *Westinghouse Electric Company, USA*. Selain itu, AP600 didisain memiliki Sistem Penurun Daya Cepat (SPDC), atau *Rapid Power Reduction System (RPRS)* pada sistem pengendali dayanya, yang memungkinkan tingkat daya reaktor diturunkan ke tingkat daya dibawah 50 % RTP secara cepat tanpa menyebabkan reaktor trip dan terjadi pelepasan uap ke atmosfer, menyusul terjadinya penolakan beban yang cukup besar, (> 50 %) ⁽¹⁾. Sistem ini bekerja dengan cara menjatuhkan sekelompok batang kendali yang telah dipilih sebelumnya (*preselected rod*) yang mampu menurunkan tingkat daya sekitar 50 % RTP, yang selanjutnya reaktor beroperasi pada mode operasi daya rendah hingga batas minimum sebesar 15 %

RTP. ⁽¹⁾ Dengan digunakannya sistem penurun daya cepat tersebut, maka dapat diperoleh beberapa keuntungan antara lain : ⁽²⁾

1. Kapasitas *Steam Dump* dapat diperkecil menjadi 40 % dari *nominal steam flow (NSF)* yang dalam hal ini terjadi pengurangan kapasitas sebesar 57 % dibanding disain sebelumnya, yaitu sebesar 70 % NSF.
2. Memungkinkan reaktor beroperasi pada tingkat daya di bawah 50 % tanpa menyebabkan reaktor TRIP dan terjadi pelepasan uap ke atmosfer menyusul terjadinya penolakan beban yang cukup besar, (> 50 %).
3. Waktu yang dibutuhkan untuk kembali ketinggian daya penuh lebih cepat, jika dibanding reaktor harus *shutdown*, sehingga kehilangan jumlah KWH listrik yang harus disediakan dapat ditekan, yang berarti meningkatkan *plant availability*.

4. Dalam hal terjadi penolakan beban hingga 100 %, maka kebutuhan intern listrik masih dapat dipasok sendiri.

Mengingat penurunan tingkat daya pada SPDC dilakukan dengan cara melepaskan sekelompok batang kendali yang telah dipilih sebelumnya (*preselected rod group*) maka diperlukan studi awal, guna mengidentifikasi beberapa kelompok batang kendali yang berpotensi untuk digunakan pada aktuasi SPDC. Makalah ini menyajikan uraian, masalah pemilihan kelompok batang kendali tersebut, sebagai bagian dari studi awal terhadap rencana penerapan SPDC pada sistem pengendali daya AP600.

Sebagai dasar dalam pemilihan batang kendali tersebut, dilakukan perhitungan *Rod Drop* menggunakan program 3D-ANC (*Advanced Nodal Code*),⁽³⁾ yaitu program difusi 2 kelompok energi neutron, 3 dimensi ruang, yang bisa digunakan untuk beberapa kasus perhitungan baik statik maupun dinamik seperti: perhitungan kekritikan, k_{eff} , daya (*power search*), posisi batang kendali (*rod position search*), susutan (*depletion*), serta perhitungan parameter teras lainnya.

Dalam hal ini digunakan model disain teras AP600 dengan siklus pemuatan ulang bahan bakar (*refueling*) 24 bulan, dimana ditinjau untuk 2 siklus operasi yang dipandang telah dapat mewakili seluruh siklus yang direncanakan, yaitu siklus pertama (*first cycle*) dan siklus seimbang (*equilibrium cycle*). Selanjutnya, untuk ke 2 siklus tersebut, ditinjau karakteristik dari kelompok batang kendali yang diamati untuk 3 kondisi burn up, yaitu untuk tingkat burnup rendah (sekitar BOL), menengah (MOL) dan tinggi (sekitar EOL) yang diharapkan telah dapat mewakili seluruh tingkat burn up dalam suatu siklus.

Selain itu dalam pemilihan batang kendali tersebut digunakan beberapa kriteria seperti batasan reaktivitas batang kendali yang akan digunakan. Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, maka besarnya reaktivitas batang kendali untuk siklus 1 dan siklus seimbang seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Batasan reaktivitas batang kendali untuk SPDC.^(4,5)

Siklus	Batas Reaktivitas (PCM)	
	BOL	EOL
Pertama	350 - 1000	250 - 1200
Seimbang	250 - 800	250 - 1100

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya,⁽²⁾ bila reaktivitas batang kendali lebih kecil dari nilai tersebut, maka dapat menyebabkan reaktor *trip* yang disebabkan terjadinya kenaikan tekanan pada presurizer yang berlebihan (*over pressure*) dan sebaliknya, bila reaktivitasnya lebih besar dari nilai tersebut, maka akan menyebabkan reaktor *trip* akibat penurunan tekanan yang terlalu besar (*under pressure*). Kriteria lainnya dalam seleksi batang kendali tersebut, adalah efektivitas dalam penurunan tingkat daya, yang dalam hal ini diharapkan dapat menurunkan daya reaktor ke tingkat antara 30 hingga 60 % RTP. Selain itu besarnya faktor pemuncakan (*peaking factors*) seperti faktor pemuncakan daya (F_q) dan faktor kenaikan enthalpy (F_{dH}) sesaat setelah pelepasan batang kendali tersebut juga perlu diperhatikan. Untuk disain AP600 batasan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$F_q(P) = F_q(RTP) / P; \text{ Untuk } P > 0,5. \quad (1)$$

$$F_q(P) = F_q(RTP) / 0,5; \text{ Untuk } P \leq 0,5 \quad (2)$$

$$F_{dH}(P) = F_{dH}(RTP) [1 + 0,3 (1 - P)] \quad (3)$$

dengan

$$F_q(RTP) = 2,6 = \text{batas pada rated power}$$

$$F_{dH}(RTP) = 1,65 = \text{batas pada rated power}$$

Nilai F_q dan F_{dH} tersebut adalah nilai terkoreksi, yang telah ditambah masing-masing dengan 14 % dan 8 %.⁽⁵⁾

AP600 memiliki sejumlah 61 buah batang kendali/*rod cluster* yang dibedakan menjadi beberapa kelompok berdasarkan fungsinya maupun jenis materialnya, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

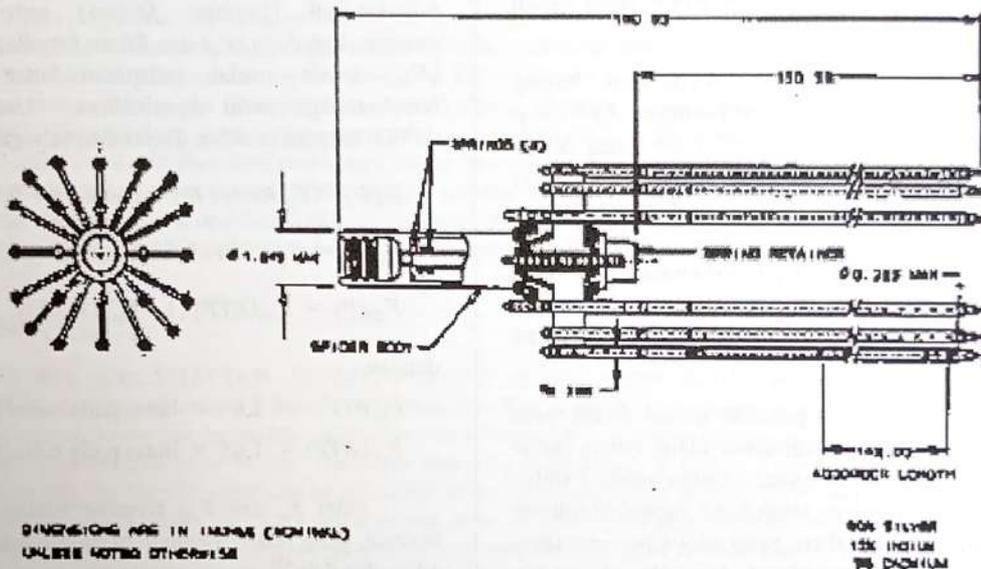
Tabel 2. Kelompok batang kendali reaktor AP600.

Kelompok	Jumlah Cluster	Keterangan
SD1	8	Shutdown (Standard rod)
SD2	8	
SD3	8	
M0	8	M-shim (Gray rod)
M1	8	M-shim (Gray rod)
M2	4	M-shim (Standard rod)
M3	8	
AO	9	Axial Offset (Standard rod)
TOTAL	61	Total clusters

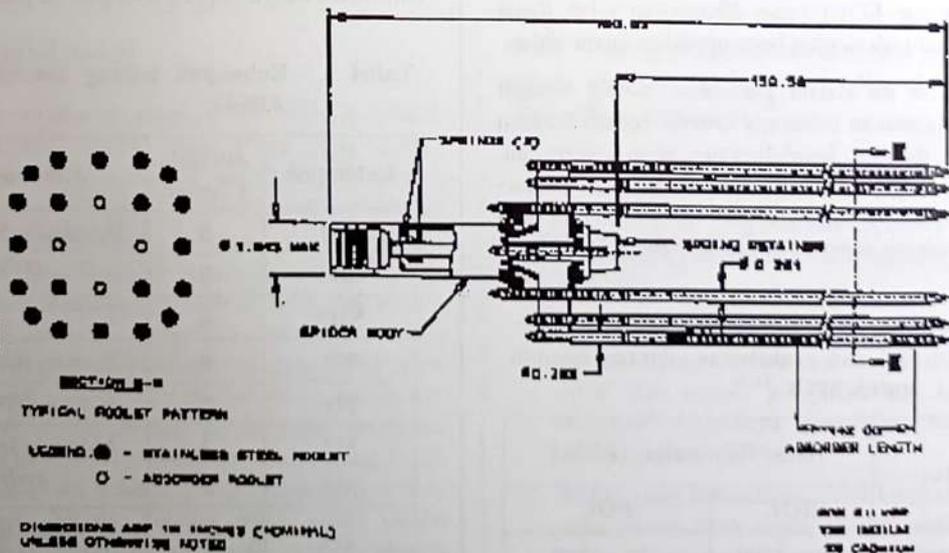
Dari segi fungsinya, kelompok *shutdown* (*SD*) berfungsi untuk melakukan pemadaman, dan selalu berada diluar teras, selama reaktor beroperasi. Kelompok *M-shim* (*M*) berfungsi untuk pengendalian reaktivitas atau tingkat daya sedang kelompok *axial offset* (*AO*) berfungsi untuk pengendalian distribusi daya aksial agar selalu dalam batas operasi yang ditetapkan. Adapun dari segi material penyerap yang digunakan, maka batang kendali AP600 terdiri dari 2 jenis, yaitu, jenis standar/hitam (*black*) dan

kelabu (*gray*). Jenis standar menggunakan material penyerap Ag-In-Cd sejumlah 24 batang pada setiap *cluster*, sedang untuk jenis *gray*, terdiri dari 20 batang SS dan 4 batang Ag-In-Cd. (6, 7) Gambar 1 dan 2 memperlihatkan deskripsi ke 2 jenis batang kendali AP600.

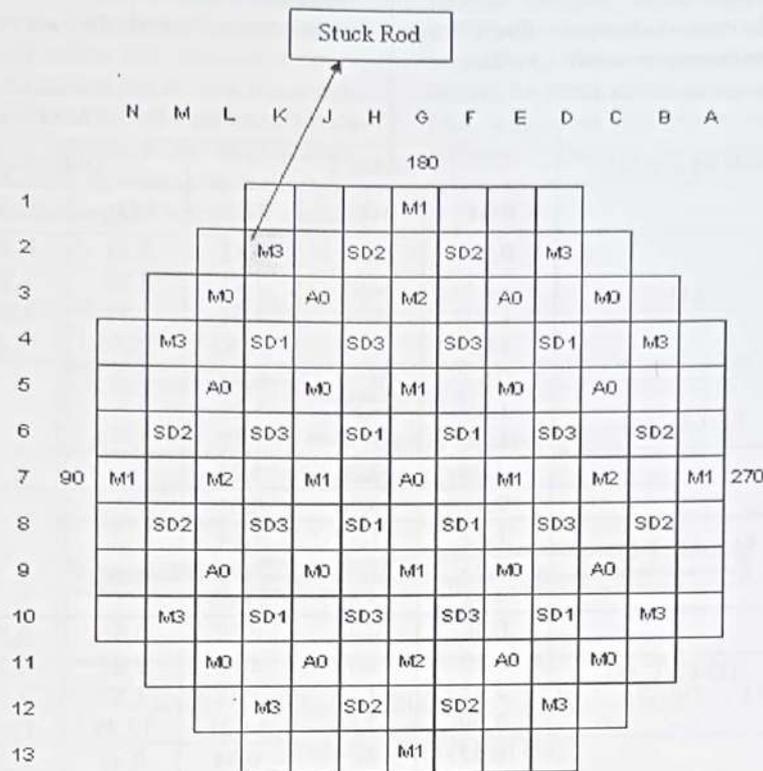
Konfigurasi ke 61 buah batang kendali pada teras AP600 untuk siklus 24 bulan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Batang Kendali Standar AP600 (Ag-In-Cd).



Gambar 2. Batang Kendali jenis Kelabu AP600 (20 SS+ 4 Ag-In-Cd).



Gambar 3. Konfigurasi batang kendali pada teras AP600.

METODOLOGI

Metoda yang digunakan dalam pemilihan kelompok batang kendali tersebut didasarkan pada perhitungan penjatuhan batang kendali (*rod drop*) dari beberapa kelompok batang kendali yang telah disiapkan, yang sebelumnya telah diidentifikasi nilai reaktivitasnya. Sebelum melakukan perhitungan *rod drop* lebih dulu dilakukan perhitungan susutan (*depletion*) dari ke 2 siklus yang ditinjau, untuk mendapatkan model teras untuk kondisi *burn up* rendah (BOL), menengah (MOL) dan tinggi (EOL) pada tingkat daya penuh (HFP) dengan xenon pada kondisi seimbang (*equilibrium*), sebagai prakondisi. Selanjutnya dilakukan perhitungan *Rod drop* untuk ke 2 siklus dan 3 tingkat *burnup* yang ditinjau.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil beberapa kasus perhitungan *rod drop* yang telah dilakukan, maka dapat dipilih 9 kelompok batang kendali yang berpotensi untuk digunakan pada aktuasi SPDC (*preselected rods*) seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Dari tabel 3 terlihat, bahwa unjuk kerja batang kendali tersebut bervariasi terhadap tingkat

burn up dan siklus operasi sebagaimana diperkirakan, dimana kriteria tingkat daya tidak selalu dapat dipenuhi untuk semua tingkat *burn up* dalam satu siklus. Dengan demikian untuk penerapan dalam sistem aktuasi SPDC, perlu dibuat suatu sistem *logic* yang dapat memilih kelompok batang kendali (*preselected rod*) sesuai dengan siklus operasi dan tingkat *burn up* saat SPDC harus bekerja.

Diantara 9 kelompok batang kendali tersebut terlihat beberapa kelompok batang kendali memiliki unjuk kerja yang relatif stabil baik dalam hal nilai penurunan tingkat daya, maupun parameter *peaking factors* yang dihasilkan untuk seluruh tingkat *burn up* yang ditinjau, seperti pada bagian yang diarsir. Dalam hal ini kelompok SD2-CYCLE yang terdiri dari 4 buah *cluster* dari kelompok *shutdown* (SD2), relatif stabil untuk seluruh tingkat *burn up* baik untuk ke 2 siklus yang ditinjau, khususnya untuk siklus 1 sedang kelompok SD2-CYCLE + CR, dimana CR adalah 1 buah *cluster* dari kelompok *axial offset* (AO) yang berada di pusat teras (*central rod*) cukup stabil untuk seluruh tingkat *burn up* pada siklus seimbang. Dengan demikian ke 2 kelompok batang kendali tersebut bisa digunakan sebagai dasar analisis untuk beberapa kasus lainnya.

Tabel 3. Beberapa kelompok *Rod Clusters* yang berpotensi untuk digunakan pada sistem penurun daya cepat-AP600.

No	Batang kendali	Tingkat Daya / Fq / FdH / AO (%)					
		Siklus I			Siklus Seimbang		
		BOL	MOL	EOL	BOL	MOL	EOL
1	M3	0,23	0,39	0,45	0,31	0,48	0,54
		2,73	2,09	2,23	2,82	2,38	2,44
		1,99	1,70	1,54	1,72	1,92	1,88
		15,2	4,78	21,53	25,95	14,41	18,91
2	SD1-IN (4)	0,53	0,50	0,70	-	-	-
		1,85	1,82	1,79	-	-	-
		1,71	1,50	1,52	-	-	-
		-1,98	2,28	5,23	-	-	-
3	SD1-OUT (4)	0,43	0,46	0,61	-	-	-
		1,85	1,82	1,84	-	-	-
		1,65	1,49	1,44	-	-	-
		4,98	3,83	11,63	-	-	-
4	SD2-CYC (4)	0,36	0,48	0,58	0,51	0,55	0,63
		2,16	1,91	1,96	2,08	2,13	2,13
		1,74	1,57	1,48	1,53	1,75	1,70
		7,99	2,76	14,21	15,45	12,82	15,83
5	SD3-CYC (4)	0,47	0,25	0,54	0,43	0,53	0,63
		1,71	1,95	2,06	1,93	2,07	2,08
		1,62	1,53	1,56	1,50	1,68	1,66
		0,11	9,47	15,44	17,37	13,84	15,17
6	SD1-IN + CR	0,51	0,47	0,68	-	-	-
		1,85	1,85	1,82	-	-	-
		1,73	1,52	1,54	-	-	-
		-1,28	2,95	5,95	-	-	-
7	SD2-CYC (4) + CR	-	-	-	0,45	0,48	0,56
		-	-	-	2,12	2,19	2,21
		-	-	-	1,52	1,69	1,61
		-	-	-	18,02	17,56	21,78
8	SD3-CYC (4) + CR	-	-	-	0,39	0,48	0,59
		-	-	-	2,00	2,19	2,22
		-	-	-	1,53	1,72	1,71
		-	-	-	18,78	16,26	18,05
9	SD1 (8)	-	-	-	0,18	0,36	0,47
		-	-	-	2,67	2,55	2,60
		-	-	-	1,68	1,88	1,87
		-	-	-	29,98	21,81	24,21

Tabel 4. Reaktivitas batang kendali (*preselec-
ted rod*) SPDC-AP600.

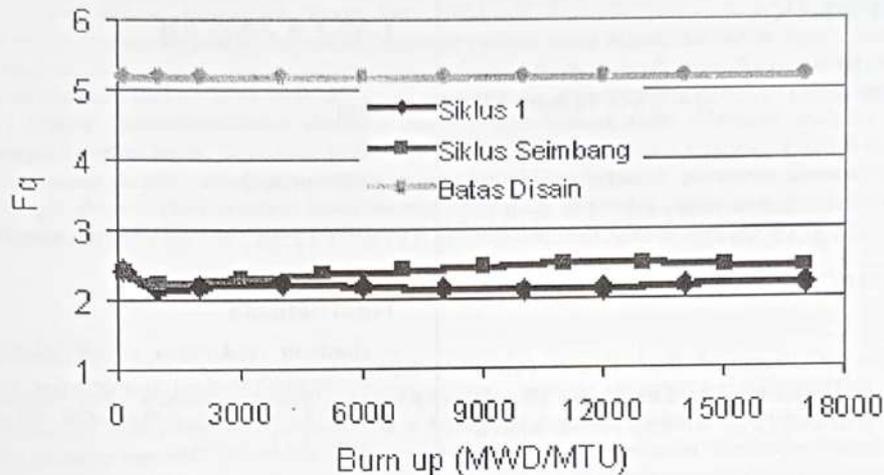
Reaktivitas dari <i>Preselected Rod</i> (PCM)					
Siklus I			Siklus Seimbang		
BOL	MOL	EOL	BOL	MOL	EOL
558	461	570	554	683	750

Tabel 4 memperlihatkan besarnya reaktivitas dari ke 2 kelompok batang kendali tersebut, dimana terlihat besarnya reaktivitas masih dalam batasan yang ditetapkan seperti diberikan pada Tabel 1.

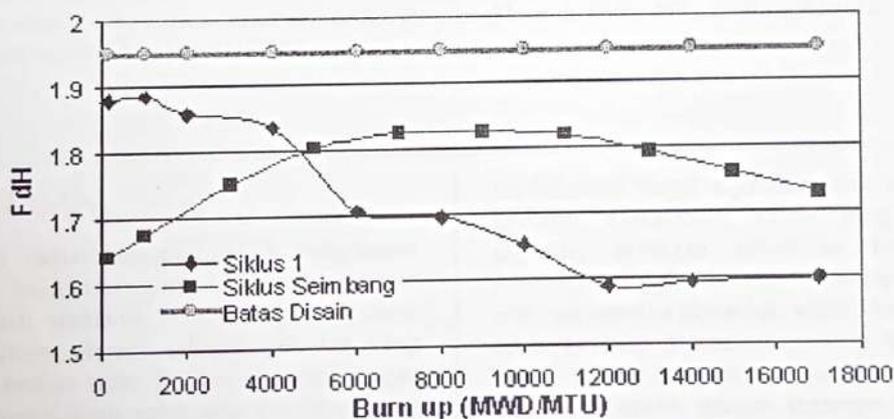
Selanjutnya berdasarkan batasan disain untuk parameter F_q dan F_{dH} seperti dinyatakan pada persamaan 1, 2, dan 3, maka untuk tingkat daya dibawah 50 % RTP batas nilai disain $F_q = 5,2$ sedang batas F_{dH} pada daya 50 % RTP = 1,9 dan

untuk tingkat daya yang lebih rendah, maka batas F_{dH} semakin tinggi (misal untuk tingkat daya 30 % RTP batas F_{dH} menjadi sekitar 2,0. Gambar 4 dan 5 memperlihatkan hasil perhitungan F_q dan F_{dH} untuk ke 2 kelompok batang kendali tersebut untuk siklus 1 dan siklus seimbang sebagai fungsi tingkat *burn up*. Terlihat bahwa nilai tersebut masih dibawah batas yang ditetapkan, sehingga kelompok batang

kendali tersebut, dapat digunakan sebagai dasar perhitungan/analisis untuk topik permasalahan berikutnya. Namun demikian, dalam implementasinya kedalam sistem penurun daya cepat tersebut bisa digunakan kelompok batang kendali yang berbeda, dengan mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk faktor teknis.



Gambar 4. Variasi faktor F_q terhadap *Burn-up* setelah aktuasi SPDC.



Gambar 5. Variasi faktor F_{dH} terhadap *Burn-up* setelah aktuasi SPDC.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan *rod drop* maka dapat diidentifikasi 9 kelompok batang kendali yang berpotensi untuk digunakan pada aktuasi SPDC, dimana unjuk kerjanya bervariasi terhadap tingkat *burnup* serta siklus operasi. Dengan demikian untuk penerapan dalam sistem aktuasi SPDC, diperlukan suatu sistem *logic* yang dapat memilih kelompok

batang kendali (*preselected rod*) sesuai dengan siklus operasi dan tingkat *burn up* saat SPDC harus bekerja. Sebagai dasar kajian atau analisis permasalahan terkait lainnya, maka dapat dipilih kelompok batang kendali untuk masing-masing siklus yang memiliki unjuk kerja yang relatif stabil untuk seluruh tingkat *burn up* yaitu untuk siklus 1: SD2-CYCLE yang terdiri dari 4 buah *cluster* dari kelompok *shutdown* (SD2), dan SD2-CYCLE + CR,

dimana CR adalah 1 buah *cluster* dari kelompok *axial offset (AO)* yang berada di pusat teras (*central rod*) cukup stabil untuk seluruh tingkat *burn up* pada siklus seimbang. Sekalipun demikian untuk implementasi kedalam sistem penurun daya cepat AP600 bisa digunakan kelompok batang kendali yang berbeda, dengan mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk faktor teknis.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Description of the Rapid Power Reduction System for AP600*, FD & SD-CSA-2, January 14, 1992.
2. *Reactivity Parameters to be Used for AP600 Rapid Power Reduction Analyses*, FD & RT-CSA-1347, March 10, 1991.
3. *Release of ANC 7.8.3*, SPE-94-325, September 7, 1994.
4. *Development of Potential Rod Worth Reactivities to be Used for AP600 Rapid Power Reduction System*, FD & RT-CSA-1994, March 1994.
5. TEGAS SUTONDO, *Dropped Rod Group For the AP600 RRPRS Operations*, Calculation Notes No. AP6-95-030-0, August 11, 1995

6. W.R. CARLSON, *AP600 Fuel Design, Control Rods Poisons, Reactivity Control*, December 1994.

7. *AP600 Reference Fuel Rod Design*, FA-95-160, June 1, 1995.

TANYA JAWAB

Utaja

- Bagaimana pembatasan perubahan daya 15%/menit?
- Siapa yang memilih batang yang harus dijatuhkan.

Tegas Sutondo

- Batasan reaktivitas yang telah ditetapkan telah memperhitungkan syarat agar reactor tidak trip akibat kenaikan/pemurunan tekanan pressurizer yang terlalu besar.
- Dalam hal ini perlu digunakan sistem logic yang dapat memilih batang kendali sesuai tingkat burn up dan siklus operasi saat SPDC harus bekerja.