PENGUKURAN REAKTIVITAS BATANG KENDALI REAKTOR KARTINI DENGAN DSP 56001 MOTOROLA

Yohannes Sardjono
P3TM – Batan

Widi Setiawan
P2PN Batan

ABSTRAK

PENGUKURAN REAKTIVITAS BATANG KENDALI REAKTOR KARTINI DENGAN DSP 56001 MOTOROLA. *Tanggungjawab yang dibebankan pada* Station Nuclear Engineer (SNE) *adalah menginterpretasi dan memonitor reaktivitas teras selama jangka waktu operasi tertentu dan untuk itu maka diperlukan pengukuran harga reaktivitas batang kendali secara kontinu. Untuk mengukur harga reaktivitas batang kendali di reaktor Kartini digunakan 5 DAP 2400 e/6 yang berisi DSP 56001 Motorola yang mana terdapat pada* data accuquisition processor *(DAP) 2400 e/6. DAP 2400 e/6 merupakan sebuah mikrokomputer lengkap yang memiliki mikroprosessor sendiri,* random acces memory *(RAM),* read only memory *(ROM), masukan dan keluaran analog maupun digital, kendali dan untai pewaktu masukan/keluaran,* serta direct memory acces *(DMA) controller untuk mentransfer data pada kecepatan tinggi. DSP 56001 motorola dapat bekerja cepat karena menggunakan memori berupa static random access memory (SRAM) yang dapat diakses dalam waktu 5-50 nano detik. Hasil pengukuran sementara reaktivitas batang pengaman lebih rendah 50 % dari hasil pengukuran secara manual di posisi 45,49 % s.d. 56,72 %.*

ABSTRACT

MEASUREMENT OF CONTROL RODS WORD REACTIVITY FOR KARTINI RESEARCH REACTOR USING DSP 56001 MOTOROLA. The responsible of Station Nuclear Engineer (SNE) are monitoring and interpreting the core reactivity worth during reactor operation so that the control rods worth need to be measured continuously. To measure the control rods worth of Kartini research reactor the 5 Data Acquisition Processor *(DAP) 2400 e/6 which content DSP 56001 Motorola were used. The function of* Data Acquisition Processor (DAP) 2400 *equiped microprocessor itself,* random access memory (RAM), read oe/6 *are as microcomputer with* nly memory (ROM), input/output signal digital and analog, input/output time signal control as well as direct memory access (DMA) controller as used of the data transferring at high velocity. *To access data in 5-50 nano second period are used* Data Signal Processor (DSP) 56001 Motorola *which equiped* static random access memory (SRAM). *From the results can be concluded that the measurement of control rod worth by using DSP 56001 MOTOROLA is 50 % less than manually in the position 45.49 % to 56.72 %.*

PENDAHULUAN

Tanggungjawab yang sangat penting pada *Station Nuclear Engineer (SNE)* adalah menginterpretasi dan memonitor reaktivitas teras selama jangka waktu operasi *(operation cycle length)*. Interpretasi dari monitoring reaktivitas diperlukan untuk mencegah akibat-akibat dari suatu penambahan /perubahan reaktivitas yang tidak diharapkan *(unexpected)* yang dikarenakan adanya beberapa masalah yang mungkin disebabkan oleh *kegagalan sistem kendali* seperti penarikan batang kendali diluar perencanaan, kegagalan control rod drive dan indikator posisi batang kendali serta kegagalan dari *Standby Liquid Controll System* (SLCS). Disamping itu juga model analitis *(analytical model)* yang tidak memadai dengan munculnya kesalahan gadolodia depletion di saat start-up dan awal operasi, pemberian reaktivitas terhadap penaikan daya dan laju alir di saat start-up, nilai reaktivitas batang kendali, reaktivitas gelembung dan kesalahan perhitungan dari fuel depletion, effects thermal-hydraulic (kesalahan alat laju alir, *crud build-up* dan *channel bowing*), kesalahan evaluasi panas teras (tingkat daya, *heat balance*, kalibrasi *jet pump*) dan kesalahan loading bahan bakar (*wrong fuel supplied* dan *fuel loading error*). [1,3,4,5]

Pada *Land-Mark* Batan telah dicanangkan bahwa pada tahun 2016 akan direncanakan desain/operasi reaktor daya. Untuk mempersiapkan rencana tersebut akan didahului dengan desain/operasi reaktor daya experimental pada tahun 2010, sehingga kontribusi dari 3 reaktor penelitian yang sekarang sedang beroperasi untuk mendukung land-mark Batan tersebut adalah sangat diharapkan, khususnya dari segi monitor reaktivitas dalam pengoperasian reaktor agar hal-hal yang tidak diinginkan dalam pengoperasian reaktor dapat diantisipasi agar reaktor dapat beroperasi dengan aman dan andal.

Reaktivitas batang kendali erat kaitannya dengan parameter-parameter fisika reaktor dalam operasi reaktor. Parameter–parameter seperti perubahan suhu akibat dari perubahan laju alir, burnup dan fission product yang tidak merata serta akibat dari perubahan posisi batang kendali akan mempengaruhi fluks neutron yang sebanding dengan daya yang dibangkitkan. Pengendalian daya reaktor dapat dilakukan dengan pengendalian reaktivitas dengan cara mengatur posisi batang kendali. Batang kendali merupakan material penyerap neutron yang dapat mengubah faktor pelipatan neutron. Mengingat pentingnya reaktivitas dalam pengendalian daya reaktor tersebut maka pengukuran nilai reaktivitas batang kendali merupakan hal yang sangat mutlak dilakukan dalam suatu reaktor. Pengukuran besaran reaktivitas batang kendali tersebut harus seakurat mungkin karena mengandung informasi yang menggambarkan kondisi reaktor pada saat itu.

Pada penelitian ini untuk mengukur reaktivitas reaktor tersebut dilakukan dengan 5 DAP 2400 e/6 yang Berisi DSP 56001 Motorola yang mana terdapat pada *data accuquisition processor* (DAP) 2400 e/6. DAP 2400 e/6 merupakan sebuah mikrokomputer lengkap yang memiliki mikroprosessor sendiri, *random acces memory* (RAM), *read only memory* (ROM), masukan dan keluaran analog maupun digital, kendali dan untai pewaktu masukan/keluaran, *serta direct memory acces* (DMA) controller untuk mentransfer data pada kecepatan tinggi. DSP 56001 motorola dapat bekerja cepat karena menggunakan memori berupa *static random access memory* (SRAM) yang dapat diakses dalam waktu 5-50 nano detik

TEORI

Siklus hidup neutron di dalam reaktor dimulai dari lahirnya neutron kemudian mengalami beberapa proses, sampai akhirnya mengalami reaksi pembelahan lagi dan lahir generasi neutron berikutnya. Perbandingan antara banyaknya neutron pada suatu generasi dengan banyaknya neutron pada generesi sebelumnya didefinisikan sebagai faktor pelipatan efektif (k_{eff}) yaitu: [2,3,4,5]

$$k_{eff} = \varepsilon\, p\, \eta\, f\, L_t\, L_f \qquad (1)$$

dimana

ε = Faktor pembelahan cepat, yaitu menyatakan kemungkinan neutron cepat yang lahir dan dapat mengadakan reaksi pembelahan lagi

p = Kebolehjadian bebas resonansi, yaitu fraksi neutron yang selama mengalami perlambatan tidak diserap oleh inti-inti yang tidak membelah

η = Perbandingan jumlah rata-rata neutron hasil pebelahan dengan neutron yang diserap oleh bahan bakar

f = Faktor penggunaan termis, yaitu fraksi neutron yang diserap oleh bahan bakar dengan yang diserap oleh bahan-bahan lain

L_f = Kebolehjadian tidak bocor sebagai neutron cepat

L_t = Kebolehjadian tidak bocor sebagai neutron termal

Tabel 1. Data kelompok nuklida penghasil netron kasip dari hasil pembelahan U-235.[2]

Grup (I)	umur paro (detik)	Tetapan peluruhan (λ_i)	$\alpha_i = \beta_i / \beta_{eff}$
1	55,72	0,0124	0,033
2	22,72	0,0305	0,219
3	6,22	0,1115	0,196
4	2,3	0,301	0,395
5	0,61	1,138	0,115
6	0,23	3,01	0,042

Faktor pelipatan efektif pada umumnya disebut dengan faktor pelipatan. Parameter reaktor yang erat hubungannya dengan faktor pelipatan adalah reaktivitas, yaitu ukuran penyimpangan relatif faktor pelipatan dari harga satu.[2]

$$\rho = \frac{k-1}{k} \qquad (2)$$

Reaktor dikatakan dalam kondisi kritis jika populasi neutron yang dibangkitkan dari satu generasi ke generasi berikutnya sama. Secara matematis kondisi kritis tersebut dinyatakan dengan harga k=1 atau $\rho = 0$. Kondisi superkritis dicapai jika populasi neutron terus meningkat terhadap waktu, atau dinyatakan dengan k>1 dan $\rho>0$, sebaliknya jika reaktor dalam kondisi subkritis maka nilai k<1 dan $\rho<0$ dimana jumlah neutron semakin berkurang terhadap waktu.

Reaktivitas dinyatakan dalam berbagai macam satuan, yaitu satuan prosen(%) atau bilangan tanpa satuan, satuan dollar ($) dan satuan perjam. Pada umumnya satuan yang bisa digunakan adalah satuan dollar. Menurut persamaan per-jam (*inhour-equation*), nilai reaktivitas sebagai fungsi periode reaktor adalah :

$$\rho = \frac{\ell}{\ell + T} + \frac{T}{\ell + T} \sum_{i=1}^{6} \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T} \qquad (3)$$

Harga reaktivitas (ρ) dalam satuan dollar adalah :

$$\rho = \frac{\ell}{\beta_{eff}(\ell + T)} + \frac{T}{\beta_{eff}(\ell + T)} \sum_{i=1}^{6} \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T} \quad (4)$$

dengan ketentuan

T adalah periode reaktor

l adalah umur generasi netron dan jumlahan sampai dengan 6 adalah jumlah fraksi neutron kasip.

TATA KERJA PERCOBAAN

Pengukuran Reaktivita Reaktor dengan DAP 2400 e/6 yang Berisi DSP 56001 Motorola

Perangkat keras pengolah sinyal yang digunakan dalam pengukuran adalah *digital signal processor* (DSP) 56001 motorola yang terdapat pada *data accuquisition processor* (DAP) 2400 e/6. DAP 2400 e/6 merupakan sebuah mikrokomputer lengkap yang memiliki mikroprosessor sendiri, *random acces memory* (RAM), *read only memory* (ROM), masukan dan keluaran analog maupun digital, kendali dan untai pewaktu masukan/keluaran, *serta direct memory acces* (DMA) controller untuk mentransfer data pada kecepatan tinggi. DSP 56001 motorola dapat bekerja cepat karena menggunakan memori berupa static random access memory (SRAM) yang dapat diakses dalam waktu 5-50 nano detik

DAP 2400 e/6 bekerja pada buffer yang disebut pipa. Data disimpan maupun dipindahkan dari satu pipa ke pipa yang lainnya. Pipa akan menyimpan data suatu perintah hingga perintah selanjutnya siap untuk mengolah atau menyimpan data tersebut. Data disimpan dan dipindahkan dari pipa dengan basis *first in first out* (FIFO).

DAP 2400 e/6 hanya menerima nilai integer dari –32768 sampai +32767. Rentang nilai integer ini disebut *word integer*. Tiap nilai integer menyatakan dua *byte* memori buffer DAP. DAP 2400 e/6 juga memiliki tipe data *long integer* dengan rentang nilai –2.147.483.648 sampai +2.147.483.647. tilpa nilai integer tersebut menyatakan 4 *byte* memory buffer DAP. *Long integer* membutuhkan memori buffer 2 kali lebih besar dari pada data integer, sehingga perhitungan pada data lebih cepat dari pada perhitungan pada data *long integer*.

Data acquisition processor dapat mengirimkan data ke komputer tamu dalam dua bentuk, yaitu data bertipe teks dan data tipe biner. Perintah print dan format dalam DAPL mengubah data biner menjadi karakter ASCII dan mengirim karakter tersebut ke komputer pembantu (slave). Kelemahan dari pengiriman data bertipe text ini adalah pembatasan kecepatan pengiriman akibat konversi karakter ASCII.

Perioda Reaktor

Periode reaktor didefinisikan sebagai selang waktu yang diperlukan untuk menaikkan daya reaktor sebesar e kalinya (e = 2,71828). Secara matematik dapat dituliskan sbb: [2]

$$\frac{P(t)}{P(0)} = \exp^{\left(\frac{t}{T}\right)} \quad (5)$$

dengan ketentuan

T adalah periode reaktor

P(t) dan P(0) masing masing adalah daya reaktor sesudah t detik dan daya reaktor pada saat awal.

Di dalam praktikum ditentukan P(t)/P0) sebesar 1,5 atau 2 kemudian diukur waktu yang diperlukan untuk peningkatan daya tersebut. Berdasarkan pada praktek pengukuran ini, periode reaktor dapat dihitung berdasarkan pada persamaan berikut :

$$T = \frac{t}{\ln\left(\frac{P(t)}{P(0)}\right)} \quad (6)$$

dengan ketentuan

t adalah waktu yang diperlukan untuk menaikkan daya reaktor 1,5x atau 2x.

Besaran l menyatakan umur generasi netron yang didefinisikan sebagai umur netron sejak dilahirkan dari proses pembelahan sampai dengan diserap oleh nuklida di dalam material bahan bakar atau bocor keluar dari reaktor. Harga l untuk reaktor KARTINI menurut dokumentasi *General Atomic* sebesar:[2]

$$l = 3{,}8999999.\ 10^{-5} \text{ detik.}$$

β_{eff} adalah fraksi netron kasip dari U-235. Besarnya β_{eff} untuk reaktor KARTINI yang dikategorikan reaktor termal adalah:

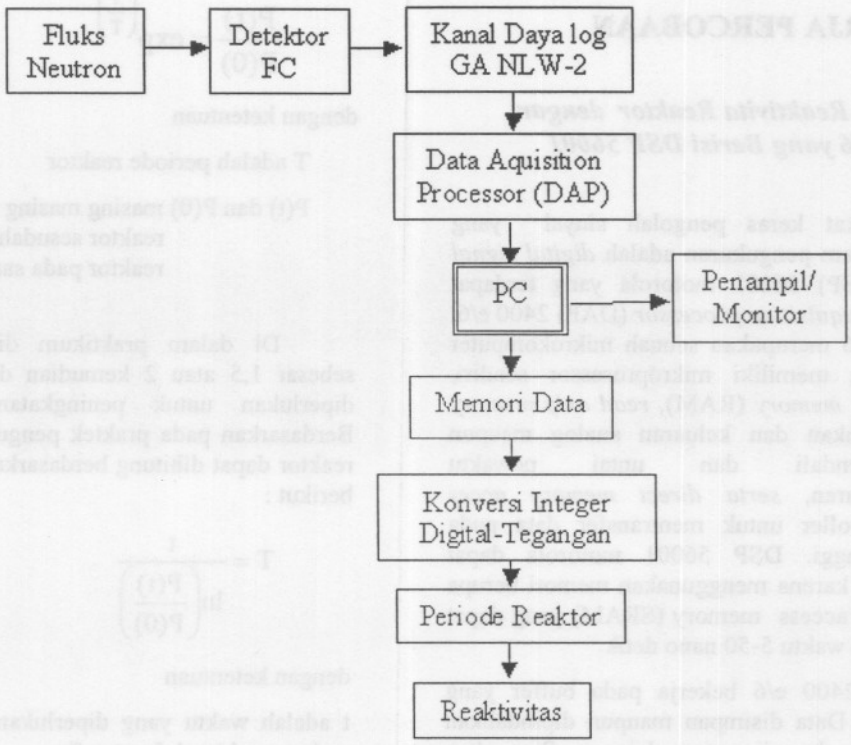
$$\beta_{eff} = 6{,}999999\ 10^{-3}$$

β_{eff} adalah gabungan 6 kelompok netron kasip yang terjadi di reaktor nuklir. Masing-masing kelompok netron kasip dan umur paronya dinyatakan dengan besaran β_i dan λ_i dengan ketentuan, β_i adalah isotop penghasil netron kasip kelompok *i* sedangkan λ_i adalah tetapan peluruhan isotop penghasil netron kasip kelompok *i*.

Penggunaan metode pengukuran reaktivitas lebih dari satu akan digunakan untuk validasi dalam kalibrasi batang kendali dengan tujuan secara umum adalah untuk meningkatkan keselamatan di Reaktor Kartini dan secara khusus untuk memperbaiki hasil pehitungan reaktivitas dalam kalibrasi batang kendali.

Percobaan dalam pengambilan data dilakukan dengan seperangkat komputer yang berisi perangkat keras DAP2400 e/6 dan dihubungkan dengan kanal logaritmis keluaran dari detektor FC. Sinyal yang diambil datanya selain dari kanal daya logaritmis juga kanal dari posisi batang kendali.

Untuk mendapatkan data dan menyimpan dalam *harddisc* komputer diperlukan perangkat lunak untuk melakukan proses tersebut. Blok diagram untuk pelaksaan pengambilan data adalah seperti pada gambar 1.



Gamabar 1 : Blok diagram untuk pelaksaan pengambilan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data integer hasil konversi dari sinyal kanal daya logaritmis menunjukkan besarnya tegangan dari sinyal kanal daya logaritmis yang telah diperkuat sebesar 10x dengan perintah SET IP5 S5 10. Waktu sampling disetting sebesar 1000 μs atau 1 ms dengan perintah TIME 1000.

Pengambilan data daya untuk setiap posisi batang kendali kompensasi dan batang kendali pengaman adalah dengan DAP. Masukan DAP berupa sinyal tegangan dari kanal daya logaritmis keluaran detektor FC (*Fission Chamber*). Dengan perangkat lunak yang digunakan maka waktu sampling adalah sebesar 1 ms dan penguatan (*gain*) sebesar 10x dari nilai hasil konversi DAP sebenarnya.

Nilai integer DAP hasil konversi sinyal analog kanal daya logaritmis dibuat grafik seperti pada gambar 2 untuk semua posisi batang kendali. Dari grafik dapat dilihat adanya kenaikan nilai integer yang menunjukkan kenaikan daya dan penurunan nilai integer secara drastis untuk posisi batang kendali tertentu yang menunjukkan kondisi *scram*.

Reaktivitas dalam satuan dollar dapat dihitung jika periode diketahui. Periode dihitung dengan persamaan 4 yang menggunakan data daya linier. Perbandingan daya linier (**P(t)/P(0)**) dapat ganti dengan perbandingan fluks neutron (**n(t)/n(0)**) karena daya dalam satuan *watt* proporsional terhadap fluks neutron dalam satuan *neutron* cm^{-2} s^{-1} dan dapat diganti dengan perbandingan nilai laju pencacahan pulsa (**Y(t)/Y(0)**) dari detektor FC dalam satuan *count/sec*. Nilai perbandingan laju pencacahan pulsa dapat digunakan sebagai pengganti nilai perbandingan fluks neutron karena nilai laju pencacahan pulsa proporsional terhadap fluks neutron dengan hubungan sebagai berikut:

$$Y(t) = A \times n(t) \qquad (7)$$

Dimana Y(t) adalah nilai laju pencacahan pulsa

n(t) adalah fluks neutron

A adalah konstanta tingkat kesensitivitasan dari detektor FC

Persamaan pendekatan yang diperoleh untuk semua batang kendali pada masing-masing posisi adalah sebagai berikut :

1. Batang kendali pengaman posisi 39%

$$Y = 3.10^{-11} X^2 - 4.10^{-7} X + 0{,}1122$$

2. Batang kendali pengaman posisi 56%

$$Y = 1.10^{-11} X^2 + 2.10^{-7} X + 0{,}1101$$

3. Batang kendali pengaman posisi 65%

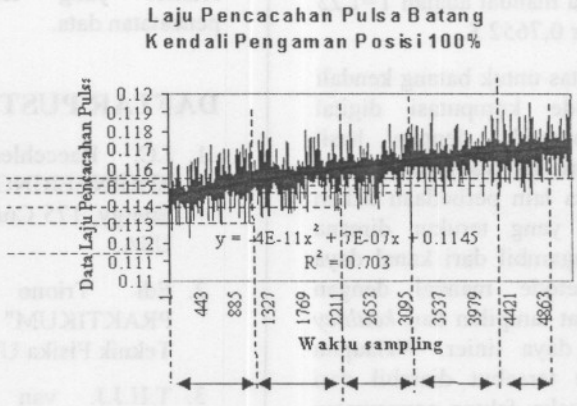
$$Y = 9.10^{-1} X + 0{,}1154$$

4. Batang kendali pengaman posisi 100%

$$Y = -4.10^{-11} X^2 + 7.10^{-7} X + 0{,}1145$$

Tabel 2. : Data hasil perhitungan periode dan reaktivitas untuk metode komputasi dan manual

No	Jenis batang kendali dan Posisi	Periode (T /s) komputasi	Reaktivitas (ρ/$) komputasi	Periode (T/s) manual	Reaktivitas (ρ/$) manual
1	Pengaman 100%				
		129,2433	0,080321	23,92	0,2586
2	Pengaman 65,63%				
		68,6540	0,133240	30,83	0,2332
3	Pengaman 56,72%				
		221,651	0,050788	28,61	0,2333
4	Pengaman 45,49%				
		daya linier	daya linier	20,72	0,2799
5	Pengaman 39,21%				
		178,071	0,061359	1,23	0,7652
6	Pengaman 0 %				



Gambar 2. Contoh sampling pengambilan data sebanyak 5197 dalam suatu interval

Sistem pengukuran reaktivitas batang kendali secara komputasi digital tidak mengukur $t_{1,5x}$ sebagaimana dilakukan secara manual. Cara yang dilakukan adalah melakukan perhitungan perubahan daya (perubahan nilai pencacahan pulsa) untuk tiap perubahan waktu sebesar 1000 waktu sampling yang berarti tiap 1 detik, karena perangkat lunak DAP yang digunakan untuk mengambil data memiliki waktu sampling 1 ms. Persamaan yang diperoleh digunakan untuk mencari nilai pencacahan pulsa (Y) untuk setiap nilai waktu sampling (X) dengan kelipatan 1000.

Penentuan periode reaktor untuk perubahan daya setiap 1000 sampling menggunakan persamaan 4 yang berarti t = 1 dan nilai ln (P(t)/P(0)) = ln (Y_{1000}/Y_0) dan seterusnya sampai mendekati jumlah data yang diperoleh. Sebagai contoh seperti pada gambar 2 jika data yang terambil sebanyak 5197 data maka dihitung untuk data ke 0, 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 dan kemudian dilakukan perhitungan periode reaktor.

Periode reaktor yang diperoleh kemudian dirata-rata untuk menghasilkan nilai tertentu yang mewakili nilai dari periode reaktor. Nilai dari periode reaktor digunakan untuk menghitung

reaktivitas dalam satuan dollar dengan menggunakan persamaan 2 berdasarkan data kelompok nuklida penghasil nuklida neutron kasip hasil pembelahan U-235 dan nilai umur generasi neutron (l) dan fraksi neutron kasip (β_{eff}) untuk Reaktor Kartini.

Dari hasil perhitungan diperoleh untuk batang kendali pengaman pada posisi 65,63 % s.d. 100% dengan periode (T) sebesar 129,2433 detik dan reaktivitas (ρ) sebesar 0,080321 $ sedangkan untuk metode manual periode dan reaktivitas masing-masing sebesar 23,92 detik dan 0,2586 $. Hasil perhitungan untuk batang kendali pengaman posisi 56,72 % s.d. 65,63 % adalah T = 68,6540 detik dan ρ = 0,133240 $ sedangkan untuk metode manual T = 30,83 detik dan ρ = 0,2232 $. Hasil perhitungan untuk batang kendali pengaman posisi 45,49 % s.d. 56,72% adalah T = 221,651 detik dan ρ = 0,050788 $ sedangkan untuk metode manual T = 28,61 detik dan ρ = 0,2333 $. Untuk batang kendali pengaman posisi 39,21 % s.d. 45,49 % tidak diperoleh data dari kanal daya logaritmis karena pada saat pengambilan data perangkat lunak tidak diprogram untuk menampilkan data untuk kanal daya logaritmis. Perhitungan untuk batang kendali pengaman posisi drop 39,21% s.d. 0 % menghasilkan nilai periode reaktor (T) sebesar 178,071 detik dengan reaktivitas sebesar 0,061359 dan hasil pengukuran secara manual adalah T=1,23 detik dan reaktivitas sebesar 0,7652 $.

Perhitungan reaktivitas untuk batang kendali pengaman dengan metode komputasi digital memiliki hasil yang berbeda dengan hasil perhitungan pada metode manual yang disebabkan oleh beberapa faktor antara lain perbedaan dalam mengamati kondisi daya yang terukur dimana perangkat keras DAP mengambil dari kanal daya logaritmis sedangkan metode manual dengan penglihatan manusia melihat tampilan dari *keithley* yang berasal dari kanal daya linier. Walaupun seandainya kedua metode tersebut diambil dari signal kanal yang sama maka faktor pengamatan visual manuasia adalah sangat terbatas dan interpretasi pengukuran adalah sangat relatif antara pengukur yang satu dengan pengukur yang lain untuk itu kesalahan interpretasi dari cara manual sangat dominan jika dibandingkan dengan cara pengamatan otomatis pencatat waktu dari DAP dan faktor lain bahwa pada metode komputasi dilakukan konversi invers dari nilai integer menjadi nilai daya linier dalam hal ini digunakan laju pencacahan pulsa. Faktor lain yang sangat berpengaruh adalah karena adanya perhitungan periode berdasarkan hasil dari persamaan pendekatan dan bukan secara langsung dari data laju pencacahan pulsa hasil konversi. Perbedaan juga mungkin dapat disebabkan karena bentuk analisis perhitungan periode yang berbeda yaitu untuk metode manual menggunakan $t_{1,5x}$ sedangkan untuk metode komputasi menggunakan perubahan perubahan daya setiap 1000 waktu sampling atau t = 1 detik.

KESIMPULAN

Hasil pengukuran sementara dari reaktivitas batang pengaman dengan menggunakan DSP 56001 Motorola adalah sebesar 0,080321 $ untuk posisi 65 % s.d. 100%, 0,133240 $ untuk posisi 56 % s.d. 65 %, 0,050788 $ untuk posisi 45 % s.d. 56% dan 0,325708 $ untuk posisi 0 % s.d. 39 %. Hasil pengukuran sementara tersebut jika dibandingkan dengan hasil pengukuran secara manual masih jauh berbeda kecuali pada hasil pengukuran di posisi 56 % s.d. 65 % ada perbedaan 50 % lebih kecil dari pengukuran secara manual. Untuk itu pengukuran reaktivitas batang kendali dengan mengunakan DSP 56001 Motorola akan dilakukan pengujian lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih kepada Agus dan Wiku Fakultas Teknik Jurusan Teknik Fisika UGM dan kepada seluruh operator, supervisor dan team perawat reaktor yang telah membantu melakukan pencatatan data.

DAFTAR PUSTAKA

1. J.C. Baecchler. "STATION NUCLEAR ENGINEERING MANUAL" GE. Nuclear Energy, 175 Curtner Ave. San Jose CA. 95125 USA.
2. Edi Triono BS."BUKU PETUNJUK PRAKTIKUM" Fakultas Teknik Jurusan Teknik Fisika UGM Yogyakarta.
3. T.H.J.J. van der Hagen, "STABILITY MONITORING OF THE DODEWAARD BOILING WATER REACTOR", Kema Scientific & Technical Report, June 1989.
4. W.J. Oosterkamp," REACTOR PHYSICS AT THE DODEWAARD BWR", Kema Scientific & Technical Report, June 1987.
5. GE. Nuclear Energy,"STABILITY AND DYNAMIC PERFORMANCE OF THE GE BWR', Licensing Topical Report, GE. Nuclear Energy San Jose CA. 95125, January 1977.

TANYA JAWAB

Sumijanto

➢ Apakah pengukuran reaktivitas dengan cara DSP ataupun Manual masing-masing sudah terkalibrasi ?.

Y. Sardjono

▪ *Belum; karena disamping lembaga yang legal untuk kalibrasi belum ada juga sistem yang dibuat (DAP yang dilengkapi DSP 560001 M) masih terus dikembangkan. Mudah-mudahan pada waktu yang akan datang hasil pengembangannya dapat dilaporkan pada kesempatan lain.*

J Sem

➢ Mengingat hasil (kesimpulan) menunjukan hasil yang sangat berbeda, apakah tidak ada cara untuk memverifikasi hasil tersebut..

Y. Sardjono

▪ *Untuk memverifikasi adalah dengan alat yang sudah tersertifikasi. Untuk itu akan kami verifikasi dengan alat-alat reaktivitymeter buatan GA. Inc. USA..*

Fahmi Fondung

➢ Menentukan (ketidakpasti) metode secara yang terpercaya antara manual dan digital yang disertai dengan condisi proses yang jelas dan terterpercaya?

Y. Sardjono

▪ *Metode pengukuran reaktivitas dengan persamaan perjam adalah sudah baku. Alat ukur yang terpercaya adalah "reaktivity Computer" buatan GA. Inc. USA.*