



KARAKTERISASI NEUTRONIK ELEMEN BAKAR RSG-GAS PADA OPERASI DAYA 30 MWth MENGGUNAKAN PAKET PROGRAM WIMSD-5B

Jaja Sukmana, Tagor MS, Jonnie A. Korua

Pusat Reaktor Serba Guna – BATAN, PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, 15310
E-mail: jsukmana@batan.go.id

ABSTRAK

KARAKTERISASI NEUTRONIK ELEMEN BAKAR RSG-GAS PADA OPERASI DAYA 30 MWth MENGGUNAKAN PAKET PROGRAM WIMSD-5B. Telah disusun generasi dan analisis neutronik elemen bakar reaktor RSG-GAS sebagai suatu library hasil perhitungan paket program komputer WIMSD-5B dengan menyelesaikan persamaan difusi neutron dengan metode beda hingga. Penyusunan karakterisasi neutronik ini diperlukan untuk analisis keselamatan neutronik teras seperti reaktivitas, kerapatan atom sisa, dan fraksi bakar RSG-GAS. Perhitungan dilakukan pada kondisi reaktor beroperasi pada daya 30 MWth (hot) dengan kondisi Xe dan Sm setimbang. Dari data masukan ditentukan bahwa material elemen bakar reaktor dianggap sebagai cell 6, mesh 138, terbagi dalam 44 slab, dihitung sebanyak 17 step, dengan asumsi fraksi bakar 0% hingga 90%. Sebagai hasil keluaran dari kondisi yang diasumsikan maka diperoleh perhitungan fraksi bakar hingga 90% dengan persamaan $y=0,282x+1,992\%$ terhadap waktu operasi (x , hari). Reaktivitas bernilai positif hingga operasi ke 265 hari terkait batasan fraksi bakar dan dapat dipertahankan dengan pola pergantian elemen bakar 5+1. Dengan library ini maka perhitungan neutronik selanjutnya dapat dilakukan sehingga margin keselamatan dapat diperhitungkan dan pemasukan target dalam teras operasi dapat dikendalikan.

Kata kunci: neutronik, elemen bakar, 30 MWth, fraksi bakar, WIMSD-5B.

ABSTRACT

NEUTRONIC CHARACTERIZATION OF RSG-GAS FUEL ELEMENT AT OPERATING POWER OF 30 MWth USING WIMSD-5B PACKAGE PROGRAM. The Generation and neutronic analysis of RSG-GAS fuel element as a library computer calculation program package WIMSD-5B by solving the neutronic diffusion equation with finite difference methode has been prepared. Preparation of the neutronic generation is needed for safety analysis of the core such as reactivity, atomic density, and burn up of the RSG-GAS fuel elements. The calculation is done on the condition of the reactor operating at power 30 MWth (hot) with the equilibrium Xe and Sm. From the input data determined that the material of the reactor fuel element is considered as a cell 6, mesh 138, divided into 44 slabs, calculated as much as 17 steps, with the assumption that burn-up 0% to 90%. As a result output from the assumed conditions, obtained by calculation of burn up to 90% according to the equation $y=0.282x+1.992\%$ with respect to operating time (x , days). Reactivity has positive value to the operation up to 265 days at related of burn up limitation and it can be maintained with the pattern of replacement fuel element 5+1. With this library the next calculation can be done so that the safety margin can be calculated and inserted targets in the core can be controlled.

Keywords: neutronic, fuel element, 30 MWth, burn up, WIMSD-5B



PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna – G.A. Siwabessy (RSG-GAS) memanfaatkan reaksi nuklir fisi untuk beroperasi, yaitu pembelahan inti atom ²³⁵U hasil dari penyerapan sebuah neutron. Pembelahan ini akan menghasilkan beberapa atom lain yang memiliki massa lebih kecil, beberapa neutron, dan energi yang sangat besar. Setiap fisi ²³⁵U berpotensi untuk menimbulkan reaksi fisi berantai. Reaksi fisi berantai dalam RSG-GAS dikendalikan oleh 8 batang kendali untuk mengurangi jumlah neutron yang ada di teras reaktor. Neutron termal menyebabkan fisi sedangkan neutron cepat diturunkan energi kinetiknya dengan proses moderasi sehinggaampang lintang (*cross section*) serapan neutron oleh ²³⁵U menjadi lebih besar. Secara umum, proses termalisasi/moderasi akan mempengaruhi reaktivitas di reaktor dengan kuat.

Dengan demikian perlu sekali menentukan karakteristik teras terutama tampang lintang neutron yang berpengaruh terhadap reaktivitas nuklir sebelum melakukan operasi reaktor. Karakteristik neutronik teras dipengaruhi oleh jumlah massa ²³⁵U, material lain di teras, daya, dan waktu operasi. Dengan beberapa kendala perhitungan yang rumit maka diperlukan paket program untuk menghitung dan menyelesaikan formula difusi neutron dan reaksi fisi nuklir di teras reaktor. WIMSD-5B adalah paket program komputer yang mampu menyusun karakteristik tampang lintang neutron, fraksi bakar, dan kerapatan atom dari material yang berada pada teras aktif RSG-GAS seperti elemen bakar, elemen kendali, dan material lain yang akan diiradiasi. Proses perhitungan data neutronik ini merupakan tahap awal dalam penyediaan data parameter neutronik teras terutama untuk tujuan kajian keselamatan neutronik nuklir.

Hasil dari perhitungan WIMSD-5B disusun untuk digunakan sebagai *library* oleh program lain seperti Batan-Fuel (Batan-Equil, batan-2Diff, Batan-3Diff), CoolodN, dan Eureka. Hasil-hasil perhitungan neutronik ini dapat dijadikan verifikasi yang meyakinkan dan memberikan validasi dari suatu eksperimen teras di RSG-GAS.

TEORI

1. Pengendalian Operasi RSG-GAS

Pengoperasian RSG-GAS dikendalikan oleh 8 batang kendali untuk mengendalikan jumlah reaksi neutron yang ada dalam reaktor. Apabila jumlah neutron yang terjadi kurang dari jumlah neutron yang diserap ($k_{eff} < 1$) disebut reaktor subkritis dan sebaliknya ($k_{eff} > 1$) disebut reaktor

superkritis, sedangkan bila jumlah neutron yang terjadi sama dengan jumlah neutron yang diserap ($k_{eff} = 1$) disebut reaktor kritis. k_{eff} disebut sebagai faktor multiplikasi neutron, dan dapat dihitung sbb:

$$k_{eff} = (\epsilon)(p)(f)(P_{NLth})(P_{NLf})\eta \dots\dots\dots(1)$$

- ϵ = faktor fisi cepat
- p = faktor lolos dari resonansi
- f = faktor utilisasi termal
- P_{NLth} = faktor kebocoran termal
- P_{NLf} = faktor fisi termal
- η = faktor reproduksi

Pada perhitungan reaktivitas jangka pendek, pendekatan model terhadap efek umpan balik reaktor juga digunakan sebagai respon terhadap pemasukan reaktivitas dari luar. Reaktivitas adalah fungsi waktu yang tergantung pada populasi neutron dan fluks neutron. Banyak umpan balik yang terjadi di reaktor tetapi yang mempengaruhi reaktivitas secara signifikan adalah pada waktu penarikan batang kendali. Faktor lain yang berpengaruh terhadap reaktivitas diantaranya kondisi Xe-135 dan Sm-149, reflektor di reaktor, dan pengkayaan ²³⁵U. Perhitungan reaktivitas yang digunakan oleh neutronik *code* standar umumnya berbasis model *kinetic point* konvensional dengan 6 kelompok neutron kasip. Model *kinetic point* menjelaskan bahwa reaktivitas $\rho(t)$ adalah jumlah dari dua kontribusi; $\delta\rho_{ext}(t)$: reaktivitas dari luar dan $\delta\rho_f(t)$: reaktivitas umpan balik. Besarnya reaktivitas ρ dari populasi neutron, dihitung dengan:

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \dots\dots\dots(2)$$

2. Model Perhitungan dengan WIMS

Analisis keselamatan reaktor nuklir sangat kompleks karena diperlukan pemahaman dari berbagai aspek, tidak saja dari aspek neutronik melainkan juga dari aspek termohidrolika, kinetik, dan dinamika reaktor. Agar analisis dapat dilakukan dengan akurat maka diperlukan paket program yang memiliki akurasi tinggi yang telah dibuktikan akurasinya dengan eksperimen dan beberapa kasus Benchmark. Paket proram WIMS adalah paket program yang sangat populer digunakan dalam perhitungan sel untuk menggenerasi konstanta kelompok difusi. Paket program WIMSD-5B merupakan penyempurnaan dari versi sebelumnya, yaitu WIMS-D/4 (1). Deskripsi masukan paket program ini dibuat untuk



memproses/generasi konstanta kelompok difusi elemen bakar RSG-GAS dan beberapa target iradiasi yang sering diiradiasi di reaktor. Perhitungan sel merupakan tahap awal dari perhitungan teras yang menyelesaikan persamaan konstanta kelompok difusi dalam geometri 2-D dalam bentuk:

$$-\nabla D_g(r) \cdot \nabla \Phi_g(r) + \Sigma_{r,g}(r) \Phi_g(r) = \sum_{s,g'} \rightarrow_g(r) \Phi_{g'}(r) + \frac{\chi_g}{k_{eff}} \sum_{s,g'} \nu \Sigma_{f,s,g'}(r) \Phi_{g'}(r), \quad g = 1, 2, \dots, G \dots (3)$$

Dengan metode beda hingga (*finite difference*) untuk iterasi ke-n persamaan di atas menjadi:

$$-\nabla D_g(r) \cdot \nabla \Phi_g^{(n)}(r) + \Sigma_{r,g}(r) \Phi_g^{(n)}(r) = \sum_{s,g'} \rightarrow_g(r) \Phi_{g'}^{(n)}(r) + \frac{\chi_g}{k_{eff}^{(n-1)}} S_f^{(n-1)}(r) \dots (4)$$

karena suku bagian kanan tidak bergantung pada Φ_g , maka:

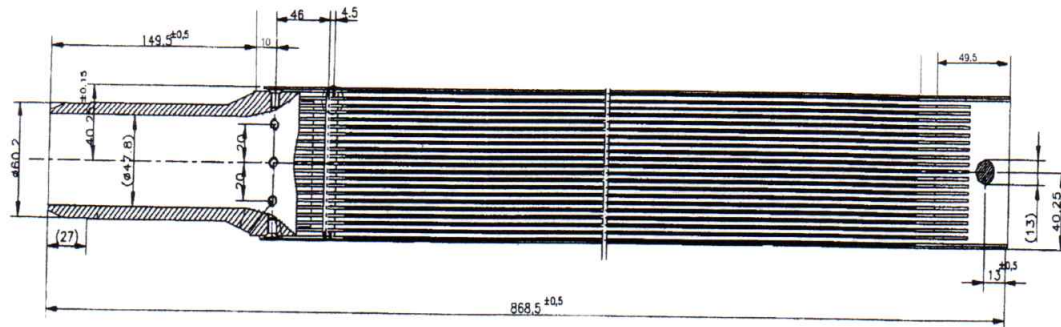
$$-\nabla D_g(r) \cdot \nabla \Phi_g^{(n)}(r) + \Sigma_{r,g}(r) \Phi_g^{(n)}(r) = S_g(r) \\ S_g(r) = \sum_{s,g'} \rightarrow_g(r) \Phi_{g'}^{(n)}(r) + \frac{\chi_g}{k_{eff}^{(n-1)}} S_f^{(n-1)}(r) \dots (5)$$

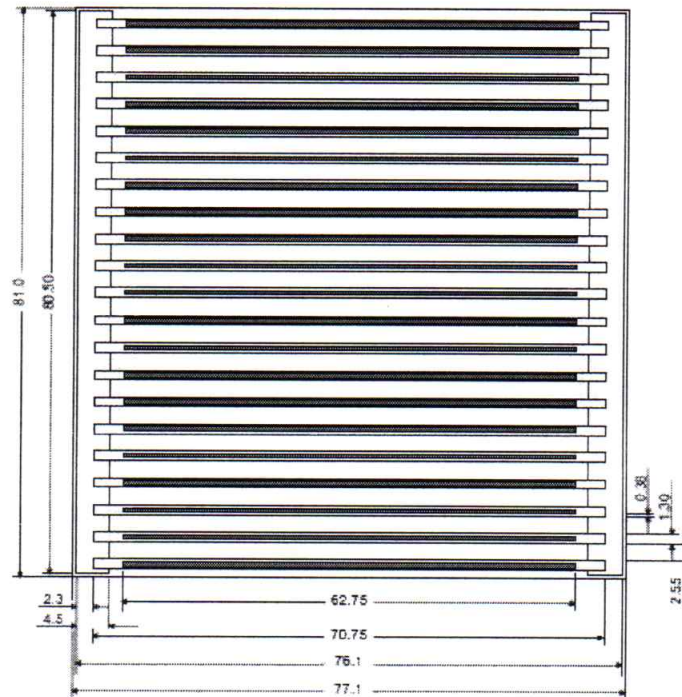
dengan,

- G : number of energy groups.
- g : energy group index.
- r : position.
- Φ_g : neutron flux in group g.
- D_g : diffusion constant for group g ($=1/3\Sigma_{tr,g}$)
- $\Sigma_{tr,g}$: transport cross section for group g.
- $\nu\Sigma_{f,g}$: fission source cross section from group g.
- $\Sigma_{t,g}$: total cross section for group g.
- $\Sigma_{a,g}$: absorption cross section for group g.
- $\Sigma_{s,g' \rightarrow g}$: scattering (transfer) cross section from g' to g.
- X_g : fission source fraction in group g.
- k_{eff} : effective multiplication constant.

Jadi yang disebut konstanta difusi adalah D_g , Σ_{ag} , $\nu\Sigma_{fg}$, Σ_{fg} , dan $\Sigma_{s,g' \rightarrow g}$. Tahap selanjutnya adalah homogenisasi sel, yaitu memodelkan geometri elemen bakar yang mewakili sel dalam perhitungan teras. Misalnya perhitungan sel dimulai dari memilih satu buah sel yang dapat mewakili satu elemen bakar secara utuh. Karena sifat satu pin elemen bakar mewakili sifat satu bahan bakar penuh jika diasumsikan keduanya dalam bentuk yang tidak terhingga besar.

Dimensi elemen bakar RSG-GAS (elemen bakar jenis MTR) dan tampang lintangnya ditunjukkan pada Gambar





Gambar 1. Susunan perangkat elemen bakar jenis MTR RSG-GAS

Dimensi elemen bakar : 77,1 x 81 x 600 mm
Tebal plat elemen bakar: 1,3 mm
Lebar kanal pendingin: 2,55 mm
Jumlah plat elemen bakar : 21
Tebal kelongsong elemen bakar : 0,38 mm
Dimensi meat elemen bakar : 0,54 x 62,75 x 600 mm

Dalam perhitungan sel,ampang lintang mikroskopis neutron σ , dinyatakan dalam rentang tenaga neutron mulai dari tenaga maksimum (10 MeV) sampai dengan tenaga minimum $1e-5$ eV. Rentang tenaga sebesar itu dinyatakan dalam kelompok-kelompok tenaga yang sering disebut sebagai multi-group. Untuk menghindari lamanya perhitungan secara komputasi maka perhitungan sel dilakukan secara *collapsing* tenaga neutron dari 69 karakter energi menjadi 4 kelompok energi yaitu dengan batas $8,21e+5$ eV disebut *fast neutron*, sampai tenaga $5,53e+3$ eV disebut *neutron resonance*, sampai tenaga 0,625 eV disebut neutron *epithermal*, dan dibawah tenaga 0,625 eV disebut *neutron thermal*.

Sel elemen bakar RSG-GAS dimodelkan dengan SLAB (*cell 6, pin cell with energy condensation*). Daerah (*region*) 21 pelat elemen bakar dimodelkan dalam *multislab* untuk 10½ pelat elemen bakar, sehingga diperlukan 43 kartu slab untuk daerah *meat* (U_3Si_2-Al), *cladding*

($AlMg_2$), dan pendingin (H_2O) ditambah 1 kartu slab untuk daerah *extra-region*.

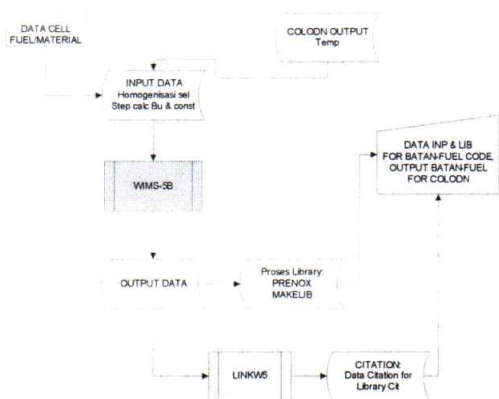
Untuk menghasilkan karakterisasi neutronik elemen bakar RSG-GAS maka proses pertama sekali digenerasiampang lintang elemen bakar untuk 17 langkah fraksi bakar dari 0% - 90% dengan kondisi temperatur pada daya penuh dan Xenon – Samarium setimbang.

METODOLOGI

a) Menyiapkan *inputan* data WIMSD-5B, yaitu geometri sel elemen bakar (SLAB), homogenisasi material iradiasi, pengelompokkan energi neutron, pembagian dimensi arah axial (MESH), dan penentuan kondisi operasi. Data diolah melalui fasilitas program *acroedit0.9.4.15-application* atau note-pad/word-pad dan disimpan dengan ekstension INP.



PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 27 Juli 2011



Gambar 2. Diagram alir pemrosesan data neutronik dengan WIMSD-5B code

b) Menjalankan program WIMSD-5B.

Dalam folder pemrograman data yang harus tersedia adalah: WIMSD5B.aplication, RUN.MS-DOS Batch file, DATA.inp, library.file, tnt.aplication, dan acroedit0.9.4.15.aplication. Alur pemrograman ditunjukkan pada Gambar 2:

CELL 6	:	untuk elemen bakar RSG-GAS dimodelkan sebagai Pincell dengan energy kondensasi (diisi: 6)
NGROUP 4 4	:	banyaknya kelompok perhitungan dan banyaknya kelompok reaksi (diisi: 4 4)
NMESH 138	:	jumlah daerah titik yang diperhitungkan pada elemen bakar arah aksial dari masing-masing Slab (diisi: 138)
NREGION 44 0	:	banyaknya daerah perhitungan (slab) arah radial elemen bakar (diisi: 44)
NREACT 2	:	jumlah nuklida yang berpengaruh untuk diperhitungkan misal Xe, Sm (diisi: 2)
NMATERIAL 4,1	:	banyaknya material yang akan dibedakan dalam elemen bakar dan material burn-up (diisi: 4 1)
MATERIAL 1 -1 342.298 1 \$ 2235 1.50025E-03 8238 6.01895E-03 6239 1.00000E-27 27 4.30311E-02 29 5.01267E-03	:	nomor material, kerapatan massa, temperatur, tipe spectrum untuk elemen bakar (diisi: 1 -1 342 1) U-235, U-238, U-239, Al-27, dan AL-29 dengan jumlah atom setiap volumenya (atom/cc)
FEWGROUPS 5 15 45 69	:	pengelompokan energi neutron secara berurut (diisi: 5 15 45 69)
MESH 2 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 \$ 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 \$ 2 4 2 4 10	:	penguraian titik perhitungan dalam kelompok slab, dijumlah=138 dari 44 slab
BUCKLING 8.663610E-03 1.764000E-03	:	tampang lintang geometri radial dan aksial
POWERC 1 518.43750 0.0 1	:	daya operasi terdiri dari: jumlah perhitungan daya, besar daya dalam MW/te, lama operasi dalam hari, dan langkah perhitungan

Berikut ini data-data sebagai hasil/keluaran WIMS yang disajikan dalam bentuk data tabel atau grafik yang terpenting agar dapat mudah dianalisis dan untuk masukan terhadap program lain.

Data output pada Tabel 2 (Lampiran 1) merupakan kelompok tenaga neutron dalam eV

Diagram alir pemrosesan data neutronik dengan code WIMSD-5B.

- Membuat rangkuman dan analisis data hasil perhitungan WIMSD-5B, diantaranya nilai fraksi bakar dalam % atau MWD/te secara berkelompok, kerapatan atom, danampang lintang neutron yang dipengaruhi Xe dan Sm;
- Membuat kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis keselamatan di teras reaktor dapat dilakukan dengan mengetahui karakteristik elemen bakar bereaksi terhadap neutron melalui perhitungan neutronik menggunakan code WIMS. Hasil analisis diharapkan dapat mendukung operasi atau percobaan di teras yang memperhitungkan keselamatan dari dampak akibat reaksi nuklir. Penggunaan WIMS diawali dengan data masukan yang sesuai dengan hasil yang diinginkan. Model masukan WIMS ditunjukkan dalam Lampiran 2. Beberapa kondisi masukan dalam perhitungan ini, dapat dijelaskan sebagai berikut:

untuk kondisi Xenon (4135) dan Samarium (4149) setimbang sebanyak 69 karakter. Rentang tenaga yang digunakan adalah untuk Xe-135 diperoleh: 1,6E-03 s/d 5,6E+06 eV dan untuk Sm-149 diperoleh: 1,1E-02 s/d 7,8E+04 eV serta masing-masing menggunakan tenaga sekitar -



3.8E-01 eV untuk reaksi neutron termal paling rendah.

Tabel 3 (Lampiran) merupakan *output* yang dicuplik dari data sebanyak 44 slab. Data tampang lintang (*cross-section*) neutron untuk elemen bakar RSG-GAS disajikan dalam 4 grup tenaga neutron dari 44 region (slab). Data tersebut dapat dijadikan *library* dengan diolah menggunakan program yang telah disediakan yaitu Prenox dan Makelib.

Sedangkan Tabel 4 (Lampiran 1) menunjukkan data sisa pembakaran setiap unsur yang terkandung dalam elemen bakar dengan satuan g/cm terurai dalam 98 jenis radioisotop.

Total radioisotop tersisa dari setiap *cluster* adalah 4,62 g/cm sedangkan U-235 tersisa 0,031 g/cm.

Perhitungan karakteristik neutronik dengan WIMS dilakukan dalam 17 langkah (*step*) dengan operasi mulai 0 s/d 358 hari. Dari setiap langkah perhitungan dihasilkan kerapatan atom setiap isotop dalam g/cc, faktor multiplikasi neutron (k_{eff} dan k_{inf}), *flux* merata, dan tenaga fisi yang digunakan. Dari data kerapatan atom maka prosentase perubahan U-235 diasumsikan sebagai fraksi bakar U-235 dalam % dan dengan dihitung terhadap waktu operasi untuk setiap ton massa maka fraksi bakar dapat dinyatakan dalam MWD/te. Berikut ini Tabel 1 menunjukkan data yang dirangkum dari *output* WIMS.

Tabel 1. Data rangkuman keluaran WIMSD-5B

Langkah	Waktu days	Dens U-235 g/cc	K-inf	K-eff	Flux ave cell n/cm/s	Fission energi MeV/fiss	Burn-up %	Iradiasi MWD/te
1	0	1,50025E-03	1,538371E+00	1,001544E+00	3,81734E+14	2,02445E+02	0	0,0000E+00
2	0,288	1,49884E-03	1,537637E+00	1,001505E+00	3,81918E+14	2,02445E+02	0,09	1,4931E+02
3	1,722	1,49184E-03	1,533535E+00	1,001411E+00	3,82890E+14	2,02447E+02	0,56	8,9275E+02
4	14,416	1,43013E-03	1,507522E+00	1,001334E+00	3,89911E+14	2,02498E+02	4,67	7,4738E+03
5	31,931	1,34582E-03	1,485308E+00	1,001368E+00	3,97875E+14	2,02579E+02	10,29	1,6554E+04
6	49,680	1,26137E-03	1,462174E+00	1,001441E+00	4,06602E+14	2,02662E+02	15,92	2,5756E+04
7	67,675	1,17674E-03	1,437247E+00	1,001521E+00	4,16379E+14	2,02746E+02	21,56	3,5085E+04
8	85,928	1,09193E-03	1,409995E+00	1,001601E+00	4,27472E+14	2,02833E+02	27,22	4,4548E+04
9	104,453	1,00696E-03	1,380406E+00	1,001673E+00	4,40106E+14	2,02924E+02	32,88	5,4152E+04
10	123,274	9,21799E-04	1,347750E+00	1,001739E+00	4,54724E+14	2,03022E+02	38,56	6,3910E+04
11	142,421	8,36430E-04	1,311601E+00	1,001784E+00	4,71844E+14	2,03130E+02	44,25	7,3836E+04
12	161,939	7,50801E-04	1,271277E+00	1,001807E+00	4,92220E+14	2,03249E+02	49,95	8,3955E+04
13	185,270	6,50521E-04	1,217539E+00	1,001778E+00	5,21671E+14	2,03408E+02	56,64	9,6051E+04
14	212,843	5,35255E-04	1,144308E+00	1,001649E+00	5,66576E+14	2,03630E+02	64,32	1,1035E+05
15	238,002	4,33552E-04	1,065715E+00	1,001352E+00	6,22036E+14	2,03881E+02	71,10	1,2339E+05
16	298,001	2,11392E-04	8,117619E-01	9,990439E-01	8,76875E+14	2,04853E+02	85,91	1,5450E+05
17	358,001	4,477400E-05	4,479421E-01	9,887466E-01	1,77661E+15	2,07657E+02	97,02	1,8560E+05

Pada langkah ke 16 nilai k_{eff} kurang dari 1 sehingga reaktivitas ρ bernilai negatif (reaktor subkritis) hal ini menunjukkan bahwa elemen bakar tidak bisa menunjang populasi neutron dengan fraksi bakar mencapai 85%. Lebih jelasnya dapat teramati pada Gambar 3. Dengan persamaan polynomial pangkat 5: $y = -4e-11x^5 + 7e-09x^4 - 5e-07x^3 + 1e-05x^2 - 0,000x + 1,001$, maka reaktor mulai subkritis pada fraksi bakar sekitar 82,5%. Apabila k_{eff} ditinjau terhadap

waktu operasi maka dengan daya 30 MW (POWERC=518,4375) ini, fraksi bakar dengan batasan 60% (LAK RSG-GAS⁽²⁾) akan dicapai pada lama operasi 205 hari, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Jika RSG-GAS beroperasi dalam 1 teras selama rata-rata 22 hari maka elemen bakar dapat berada di teras hingga maksimum 205/22=9 teras. Tetapi dengan mengoperasikan elemen bakar selama 8 teras maka fraksi bakarnya diperkirakan tidak melewati batas persyaratan.

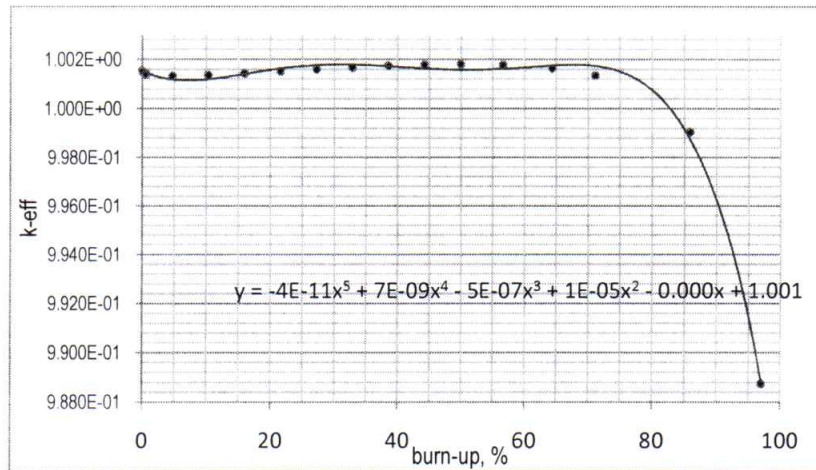


PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 27 Juli 2011

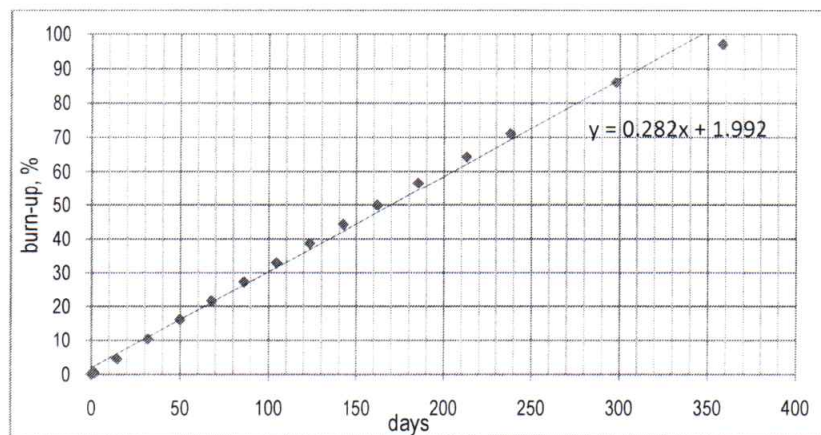
Sedangkan Gambar 5 dan 6 menunjukkan perubahan daya setiap ton massa ^{235}U dan populasi neutron di sel (k_{inf}) serta k_{eff} terhadap waktu operasi. k_{inf} semakin berkurang terhadap waktu operasi, nilai k_{inf} kurang dari 1 setelah 250 hari dan nilai k_{eff} kurang dari satu setelah 265 hari (Gambar 6). Sedangkan energi fisi tidak banyak mengalami peningkatan setelah 20 hari operasi (Gambar 5). Namun kondisi ini akan

dioptimalkan dengan pola manajemen teras yang mengganti 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali.

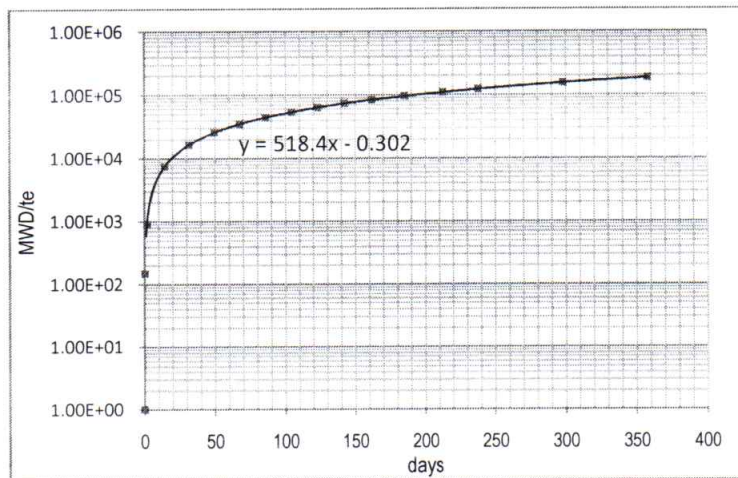
Dari Gambar 7, ditunjukkan persamaan kerapatan atom terhadap waktu operasi, diperoleh $y = -4e-06x + 0,001$. Hasil dari grafik ini bertolak belakang terhadap *burn-up*, semakin lama operasi, *burn-up* semakin tinggi tetapi kerapatan atom ^{235}U makin rendah.



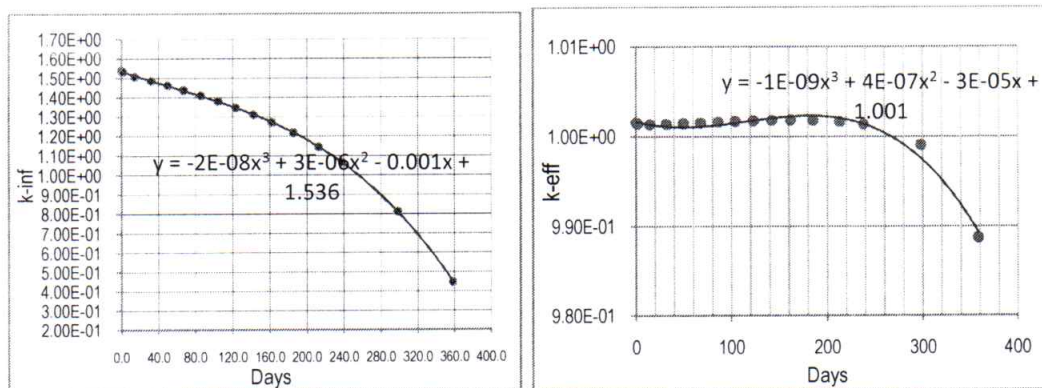
Gambar 3. Grafik populasi neutron terhadap fraksi bakar ^{235}U dengan daya 30 MW



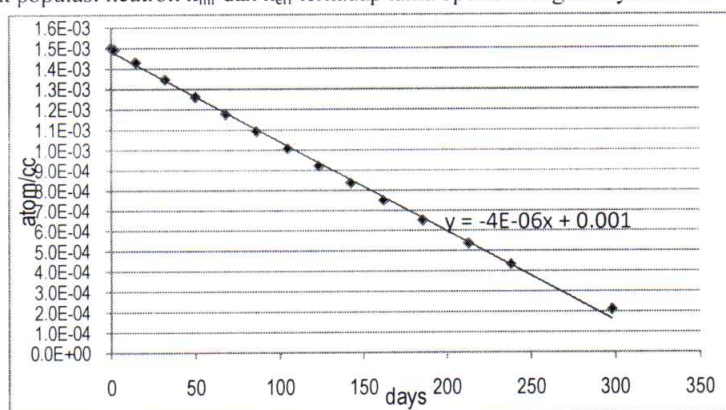
Gambar 4. Grafik lama operasi terhadap fraksi bakar ^{235}U dengan daya 30 MW



Gambar 5. Grafik energi setiap massa ^{235}U terhadap waktu operasi dengan daya 30 MW



Gambar 6. Grafik populasi neutron k_{inf} dan k_{eff} terhadap lama operasi dengan daya 30 MW



Gambar 7 Grafik kerapatan atom ^{235}U (atom/cc) terhadap waktu operasi



KESIMPULAN

Karakteristik neutronik elemen bakar RSG-GAS dipengaruhi oleh kandungan material dan kondisi operasi. Pada kajian ini, elemen bakar jenis *MTR* dimodelkan dalam 4 jenis material yaitu *meat*, *cladding*, *coolant*, dan *extra-region* yang terdistribusi dalam 44 *slab* dan 138 *mesh*. Tenaga neutron dikelompokkan dari 69 tenaga menjadi 4 kelompok dengan daya 30 MW. Dari hasil kajian berdasar perhitungan/generasi WIMS *code* terhadap elemen bakar RSG-GAS diperoleh:

- Nilai fraksi bakar terhadap waktu operasi dari mulai 0% hingga 90% mengikuti persamaan $y = 0,282x + 1,992\%$, dan $x =$ waktu (hari).
- Energi terbangkitkan tiap satuan ton massa atom ^{235}U mengikuti persamaan $y = 518,4x + 0,302 \text{ MWD/te}$, dan $x =$ waktu (hari).
- Kerapatan atom ^{235}U mengikuti persamaan $y = -4e-06x + 0,001 \text{ atom/cc}$, dan $x =$ waktu (hari).
- Tampang lintang neutron dalam kondisi Xe dan Sm setimbang telah diperoleh untuk dijadikan inputan oleh program perhitungan selanjutnya.
- Reaktivitas (ρ) masih bernilai positif atau k_{eff} masih lebih dari 1 pada operasi ke 265 hari.
- Fraksi bakar 60% dapat dicapai dengan perioda operasi 9 teras atau 205 hari dan fraksi bakar tidak efektif setelah fraksi bakar mencapai 82,5% karena reaktivitasnya negatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous*, LAK RSG-GAS Rev. 10 PRSG, 2010.
- T.M. Sembiring**, Penggunaan Paket Program WIMSD5B.12 untuk RSG-GAS, PRSG, April, 2011.

TANYA JAWAB

M Rosyid

- Fraksi bakar untuk EB, pengaruhnya ke operasi bagaimana?

Jaja Sukmana

- ✧ *Fraksi bakar adalah perkiraan banyaknya u-235 yang habis terbakar (berubah menjadi unsure lain) karena neutron. Jika EB telah mencapai fraksi bakar $\pm 80\%$ maka reaktor tidak akan bisa kritis beroperasi, tetapi di RSG fraksi bakar di batasi hingga 60% untuk dapat re-eksport.*

Tri bambang L

- Apa beda EB RSG dengan lainnya?

Jaja Sukmana

- ✧ *EB RSG Gas adalah $\text{U}_3\text{Si}_2\text{Al}$ berbentuk plat, tipe MTR : Material Testing Reactor dengan pengayaan u-235 19,95% berbeda dengan EB TRIGA Bandung atau Jogja yang berbentuk tabung.*

Irfan Hafid

- Apakah WIMS dapat menghitung 1 teras RSG?

Jaja Sukmana

- ✧ *WIMS diprogram untuk menghitung satu sel EB di RSG untuk 39 sel lainnya dan 8 sel EG dapat dihomogenisasi. Inputan/library ke program lainnya cukup 1 sel ini, sel-sel yang berbeda kandungan materialnya didefinisikan dengan homogenisasi berbeda lagi.*

M Refai M

- Distribusi teras ketika ada absorber terutama s-5?

Jaja Sukmana

- ✧ *10CMS -5B Code menyusun karakteristik EB diteras yaitu tampang lintang neutron, fraksi bakar, koef. Sedangkan distribusi di teras tidak dihitung langsung dengan WIMS tetapi secara tidak langsung dapat digambarkan dengan program hasil selanjutnya yaitu dengan batan, fuel.*



Lampiran 1

Tabel 2. Data sebaran tenaga neutron yang dipakai dalam reaksi fisi hasil WIMS

```

lexpansion vector 5 15 45 69
0cross-sections (no resonance shielding)
0element 4135
-3,855158E-01 1,637184E-03 5,296578E-03 9,194914E-03 1,231454E-02 1,513267E-02 1,933005E-02 2,203120E-02
2,680333E-02 3,412373E-02 4,501994E-02 6,210729E-02 8,928515E-02 1,277409E-01 1,754624E-01 2,400678E-01
3,151546E-01 4,289610E-01 5,739736E-01 9,567179E-01 1,322145E+00 2,559962E-02 9,868513E-02 3,551998E-01
1,412467E+00 5,062452E+00 3,361694E+01 1,104941E+02 1,924197E+02 3,425666E+02 7,098849E+02 1,294629E+03
1,834127E+03 2,216972E+03 2,360285E+03 2,511487E+03 2,678828E+03 2,858703E+03 3,047755E+03 3,250796E+03
3,463046E+03 3,784960E+03 4,399975E+03 5,424987E+03 8,369673E+03 1,555192E+04 2,954186E+04 4,911482E+04
6,826658E+04 8,613286E+04 1,059244E+05 1,416593E+05 2,082093E+05 3,588034E+05 7,417594E+05 1,636435E+06
2,546439E+06 2,872508E+06 2,916269E+06 2,867937E+06 2,790092E+06 2,717947E+06 2,680059E+06 2,677818E+06
2,718506E+06 2,831218E+06 3,079454E+06 3,653714E+06 5,606940E+06
0element 4149
-3,554629E-01 1,124823E-02 4,314157E-02 9,796127E-02 2,171723E-01 3,897244E-01 5,185100E-01 6,583178E-01
7,499773E-01 8,996276E-01 1,179073E+00 1,620587E+00 2,314534E+00 3,299629E+00 4,810780E+00 6,940807E+00
9,898261E+00 1,413229E+01 2,025441E+01 2,788557E+01 5,126796E+01 1,557428E+02 3,177809E+02 2,319903E+02
1,724950E+02 1,692245E+02 5,033548E+02 1,557166E+01 1,550382E+01 2,196822E+01 4,407512E+01 9,658765E+01
1,895237E+02 3,022521E+02 3,672566E+02 4,569838E+02 5,888724E+02 7,897393E+02 1,109648E+03 1,675847E+03
2,720993E+03 5,954625E+03 1,262898E+04 6,762347E+03 1,112482E+03 5,632670E+02 7,122778E+02 1,041906E+03
1,395072E+03 1,739988E+03 2,137214E+03 2,892161E+03 4,415609E+03 8,484440E+03 2,309483E+04 7,708286E+04
1,142521E+05 9,370563E+04 7,373584E+04 6,111518E+04 5,228693E+04 4,640257E+04 4,317563E+04 4,151511E+04
4,084743E+04 4,145970E+04 4,414782E+04 5,144478E+04 7,764933E+04
    
```

Tabel 3. Dataampang lintang neutron hasil WIMS

1FEW-GROUP REGIONAL AND CELL EDIT

Cross-sections. Integrated and average fluxes. total events

OREGION 1 material 1 radius 2,70000E-02

group	cross-sections			fluxes		reactions		
	diffusion	absorption	nu*fission	rif	raf	d*flux*vol	absorptions	nu*fissions
1	2,73106E+00	4,79694E-03	1,15868E-02	5,73172E-02	2,12286E+00	1,56537E-01	2,74947E-04	6,64125E-04
2	1,49976E+00	4,70353E-03	5,99227E-03	6,03214E-02	2,23413E+00	9,04678E-02	2,83724E-04	3,61462E-04
3	1,26026E+00	1,08635E-01	9,38306E-02	5,60597E-02	2,07628E+00	7,06496E-02	6,09005E-03	5,26011E-03
4	3,86765E-01	7,08059E-01	1,36045E+00	4,69096E-02	1,73739E+00	1,81430E-02	3,32148E-02	6,38180E-02
termal	3,86765E-01	7,08059E-01	1,36045E+00	4,69096E-02	1,73739E+00	1,81430E-02	3,32148E-02	6,38180E-02
total	1,52214E+00	1,80698E-01	3,17775E-01	2,20608E-01	8,17066E+00	3,35797E-01	3,98635E-02	7,01037E-02

OREGION 44 material 4 radius 9,336805E-01

group	cross-sections			fluxes		reactions		
	diffusion	absorption	nu*fission	rif	raf	d*flux*vol	absorptions	nu*fissions
1	2,70149E+00	3,83158E-04	0,00000E+00	1,81556E+00	1,94452E+00	4,90471E+00	6,95646E-04	0,00000E+00
2	1,41000E+00	1,42910E-04	0,00000E+00	2,03966E+00	2,18454E+00	2,87593E+00	2,91487E-04	0,00000E+00
3	1,36097E+00	8,95207E-04	0,00000E+00	1,97350E+00	2,11368E+00	2,68587E+00	1,76669E-03	0,00000E+00
4	5,46399E-01	1,27955E-02	0,00000E+00	2,02084E+00	2,16438E+00	1,10418E+00	2,58577E-02	0,00000E+00
termal	5,46399E-01	1,27955E-02	0,00000E+00	2,02084E+00	2,16438E+00	1,10418E+00	2,58577E-02	0,00000E+00
total	1,47406E+00	3,64499E-03	0,00000E+00	7,84956E+00	8,40711E+00	1,15707E+01	2,86115E-02	0,00000E+00

CELL radius 4,976183E+00

group	cross-sections			fluxes		reactions		
	diffusion	absorption	nu*fission	rif	raf	d*flux*vol	absorptions	nu*fissions
1	2,45287E+00	8,78160E-04	1,34467E-03	1,02561E+01	2,06103E+00	2,51568E+01	9,00646E-03	1,37911E-02
2	1,36453E+00	6,03065E-04	6,88170E-04	1,10250E+01	2,21555E+00	1,50439E+01	6,64878E-03	7,58706E-03
3	1,29380E+00	1,31663E-02	1,06915E-02	1,03953E+01	2,08901E+00	1,34494E+01	1,36868E-01	1,11141E-01
4	7,76952E-01	8,95584E-02	1,48566E-01	9,46285E+00	1,90163E+00	7,35218E+00	8,47477E-01	1,40585E+00
termal	7,76952E-01	8,95583E-02	1,48566E-01	9,46285E+00	1,90163E+00	7,35218E+00	8,47477E-01	1,40585E+00
total	1,48283E+00	2,43077E-02	3,73943E-02	4,11392E+01	8,26722E+00	6,10023E+01	1,00000E+00	1,53837E+00

Tabel 4. Data fraksi bakar dari unsur yang terkandung di elemen bakar hasil WIMS

ingredients in g/cm each burnable material with cluster totals

234	3,09959E-06	927	1,10742E-03	1939	5,17597E-03	1240	1,42154E-02
<u>235</u>	<u>3,12335E-02</u>	8238	4,04185E+00	948	2,30505E-03	1241	6,05684E-03
236	1,47882E-01	937	7,44119E-03	6239	2,06847E-02	1242	8,54752E-03



PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 27 Juli 2011

951	2,71123E-05	2167	4,48871E-09	4131	1,03385E-02	4149	3,51043E-07
952	2,97074E-07	4083	8,58727E-04	4133	3,14418E-02	4150	4,16272E-07
953	1,16217E-03	4095	2,35011E-02	4134	4,86702E-03	4151	3,04320E-09
962	3,70545E-05	4099	2,19345E-02	4137	3,63284E-02	4152	5,28750E-08
963	7,77770E-07	4101	2,19767E-02	6135	4,09130E-05	5151	5,00728E-13
964	3,25780E-04	5103	2,99668E-03	5134	4,51014E-02	5152	2,82852E-13
2154	1,11389E-05	4106	3,84124E-03	4135	5,60988E-07	4153	1,14167E-07
2155	5,16995E-08	4103	6,56728E-03	5135	4,04750E-03	4154	2,88632E-08
2156	2,28132E-04	4105	3,11449E-05	4136	7,43113E-02	4155	3,62656E-11
2157	9,23935E-08	5105	4,49000E-03	4143	1,15044E-02	4902	1,31332E-09
2158	1,99220E-04	4107	3,01028E-03	4145	1,86412E-02	4927	1,13253E-16
160	4,15826E-09	4108	1,89420E-03	4147	2,14156E-03	1952	6,97509E-14
161	1,77558E-06	4109	6,78262E-04	5147	2,41489E-03		
162	3,46124E-06	4113	4,10671E-07	6147	7,81643E-04	<u>Total</u>	<u>4,62348E+00</u>
163	2,77930E-06	4115	2,40940E-05	4148	5,70891E-13		
164	2,16318E-07	4125	2,08376E-04	5148	3,18519E-08		
165	1,32352E-06	5127	1,14011E-06	6148	3,62121E-06		
2166	7,07363E-08	4127	1,00238E-03	5149	1,37117E-09		

Lampiran 2

Input WIMS

```
*****
*** FUEL ELM U3SI2-AL 19.75% ENRCH (i4) BERAT U235 250 g ***
*** MULTI PLATE CELL MODEL ***
*** KONDISI: HOT; XE&SM EQUIL ***
*** 17 burn-up step ***
*****

CELL 6
NPLATE 21
SEQUENCE 1
NGROUP 4 4
NMESH 138
NREGION 44 0
NREACT 2
NMATERIAL 4,1
PREOUT
INITIATE
*****
*** GEOMETRI CELL PELAT
*** pelat 1
SLAB 1,0.02700,1
SLAB 2,0.06500,2
SLAB 3,0.32000,3
*** pelat 2
SLAB 4,0.35800,2
SLAB 5,0.41200,1
SLAB 6,0.45000,2
SLAB 7,0.70500,3
*** pelat 3
SLAB 8,0.74300,2
SLAB 9,0.79700,1
SLAB 10,0.83500,2
SLAB 11,1.09000,3
*** pelat 4
SLAB 12,1.12800,2
SLAB 13,1.18200,1
SLAB 14,1.22000,2
SLAB 15,1.47500,3
*** pelat 5
SLAB 16,1.51300,2
SLAB 17,1.56700,1
SLAB 18,1.60500,2
SLAB 19,1.86000,3
.
*** pelat 10
SLAB 36,3.43800,2
SLAB 37,3.49200,1
SLAB 38,3.53000,2
SLAB 39,3.78500,3
*** pelat 11
SLAB 40,3.82300,2
SLAB 41,3.87700,1
SLAB 42,3.91500,2
SLAB 43,4.04250,3
*** extra region
SLAB 44,4.97618,4
*****
*** KOMPOSISI MATERIAL:
*** T MEAT RATA-RATA = 69.148 °C
*** T CLAD RATA-RATA = 68.52 °C
*** T MODERATOR RAT = 48.12 °C
*** T EXTRA REG. RAT = 48.12 °C
*****
MATERIAL 1 -1 342.298 1 $
                2235 1.50025E-03 $
                8238 6.01895E-03 $
                6239 1.00000E-27 $
                 27 4.30311E-02 $
                 29 5.01267E-03
MATERIAL 2 -1 341.67 2 $
                24 1.36127E-03 $
```

**PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 27 Juli 2011**



<pre> 29 1.72395E-04 \$ 3063 1.26989E-05 \$ 55 8.81320E-05 \$ 2056 1.15597E-04 \$ 52 9.31187E-05 \$ 48 3.37079E-05 \$ 27 5.77226E-02 MATERIAL 3 -1 321.27 3 \$ 6016 3.30737E-02 \$ 3001 6.61475E-02 MATERIAL 4 -1 321.27 3 \$ 24 5.58099E-04 \$ 29 3.32123E-04 \$ 3063 9.29143E-05 \$ 55 1.21162E-04 \$ 2056 9.51386E-05 \$ 52 4.10691E-05 \$ 48 2.34504E-05 \$ 27 3.99821E-02 \$ 6016 1.01893E-02 \$ 3001 2.03786E-02 FEWGROUPS 5 15 45 69 MESH 2 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 \$ 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 \$ 2 4 2 4 10 ***** **BURNUP AND CELL-CONSTANTS CALCULATION FOR EACH STEP** ***** **STEP0 0 % FRESH FUEL-XENON FREE** POWERC 0 0 BUCKLING 8.663610E-03 1.764000E-03 **SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,1 SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 BEGINC TERMAL 1 PARTITION 5 15 45 69 REACTION 4135 293 4149 293 LEAKAGE 5 </pre>	<pre> NOBU BUCKLING 8.663610E-03 1.764000E-03 BEGINC POWERC 1 518.43750 0.0 1 BUCKLING 8.663618E-03 1.764000E-03 **SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,1 SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 BEGINC BUCKLING 8.663618E-03 1.764000E-03 BEGINC **STEP1 0 % XENON EQUILIBRIUM BY WIMS** POWERC 1 518.43750 0.0 1 BUCKLING 7.688188E-03 1.764000E-03 **SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,1 SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 BEGINC BUCKLING 7.688188E-03 1.764000E-03 BEGINC POWERC 1 518.43750 0.0 1 BUCKLING 7.683833E-03 1.764000E-03 SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,1 **SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 BEGINC BUCKLING 7.683833E-03 1.764000E-03 BEGINC . **STEP17 90.0 % POWERC 1 518.43750 2.400 25 BUCKLING -5.414560E-03 1.764000E-03 **SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,1 SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 BEGINC BUCKLING -5.414560E-03 1.764000E-03 BEGINC POWERC 1 518.43750 0.0 1 BUCKLING -1.363483E-02 1.764000E-03 SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,1 **SUPPRESS 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 BEGINC BUCKLING -1.363483E-02 1.764000E-03 BEGINC *****TTTT </pre>
--	---