

KARAKTERISASI PARAMETER NEUTRONIK DALAM OPERASI TERAS SILISIDA RSG-GAS

J. Sukmana, Rachmat Triharto
PRSG-BATAN

ABSTRAK

KARAKTERISASI PARAMETER NEUTRONIK DALAM OPERASI TERAS SILISIDA RSG-GAS. Telah dilakukan kajian terhadap perangkat parameter kritis dalam pengoperasian teras Silisida RSG-GAS. Kajian ini diharapkan dapat menunjukkan karakter parameter dan sifat neutronik teras agar sesuai standar desain dan pengoperasian reaktor yang selamat sesuai LAK. Parameter perangkat kritis reaktor meliputi: bahan bakar, reaktivitas, fraksi bakar, energi terbangkitkan, dan total operasi daya. Dilakukan rekapitulasi terhadap data laporan operasi teras Silisida yang dimulai pada teras operasi ke 45 tahun 2002 hingga teras operasi ke 82 tahun 2013. Dari hasil rekapitulasi dan kajian maka diperoleh karakter parameter neutronik sebagai berikut, yaitu fraksi bakar rerata 56%, reaktivitas total 13%, reaktivitas lebih 7,4%, reaktivitas padam 5,56%, kondisi BK bank awal siklus 256 mm dan kondisi bank akhir siklus 548 mm, jumlah massa ^{235}U awal siklus rata-rata 8.442 g dan akhir siklus 7.685 g. Energi terbangkitkan setiap teras rata-rata 645 MWD dengan waktu operasi rata-rata setiap teras 44 hari. Sedangkan hingga akhir operasi 82, RSG-GAS telah beroperasi selama 78.417,18 jam dengan energi total 51.544 MWD.

Kata Kunci: parameter neutronik, karakterisasi, operasi reaktor

ABSTRACT

NEUTRONIC PARAMETERS IN OPERATION CHARACTERIZATION ON RSG-GAS SILICIDE CORE. A review of the critical components' parameters in the operation of RSG-GAS Silicide core has been performed. This review is expected to reveal the characteristic of parameters and the core's neutronic characteristic in order to match it with reactor's standard design and safe reactor operation according to SAR. Reactor's critical components parameter includes: fuel element, reactivity, burn-up, energy awakened and total operation power. Recapitulation is held on the operation (Silicide core) report data on which operated in 45th core (2002) to 82th core (2013). From the recapitulation and review, a standard value of neutronic parameters can be obtained, those are: 56% average burn-up, 13% total reactivity, 7,4% excess reactivity, 5,56% outages reactivity, bank's CE condition in the beginning of cycle is 256 mm, while in the end of cycle is 548mm, average total mass of ^{235}U in the beginning of cycle is 8,442 g, while in the end of cycle is 7,685 g. The average of awakened energy every cycle is 645 MWD, with the average duration of operation of each core is 44 days. While, until in the end of 82th operation, RSG-GAS has been operated for 78.417,18 hours with total awakened energy is 51.544 MWD.

Keyword: the neutronic parameters, the characteristic, reactor operation

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna – G.A. Siwabessy (RSG-GAS) memanfaatkan reaksi nuklir fisi untuk beroperasi, yaitu pembelahan inti atom ^{235}U 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 ^{235}U berpotensi untuk menimbulkan reaksi fisi berantai. Reaksi fisi berantai di reaktor RSG-GAS dikendalikan oleh 8 batang kendali untuk mengendalikan jumlah neutron yang ada di teras reaktor. Neutron termal menyebabkan fisi sedangkan neutron cepat diturunkan energy kinetiknya dengan proses moderasi sehinggaampang lintang serapan neutronnya menjadi lebih besar. Secara umum, proses termalisasi/moderasi

akan mempengaruhi reaktivitas di reaktor dengan kuat.

Dengan demikian perlu sekali menentukan karakteristik neutronik yang berpengaruh terhadap reaktivitas teras sebelum melakukan operasi reaktor. Sifat neutronik teras dipengaruhi oleh parameter kritis dan material lain di teras yang berimbas terhadap parameter daya dan waktu operasi.

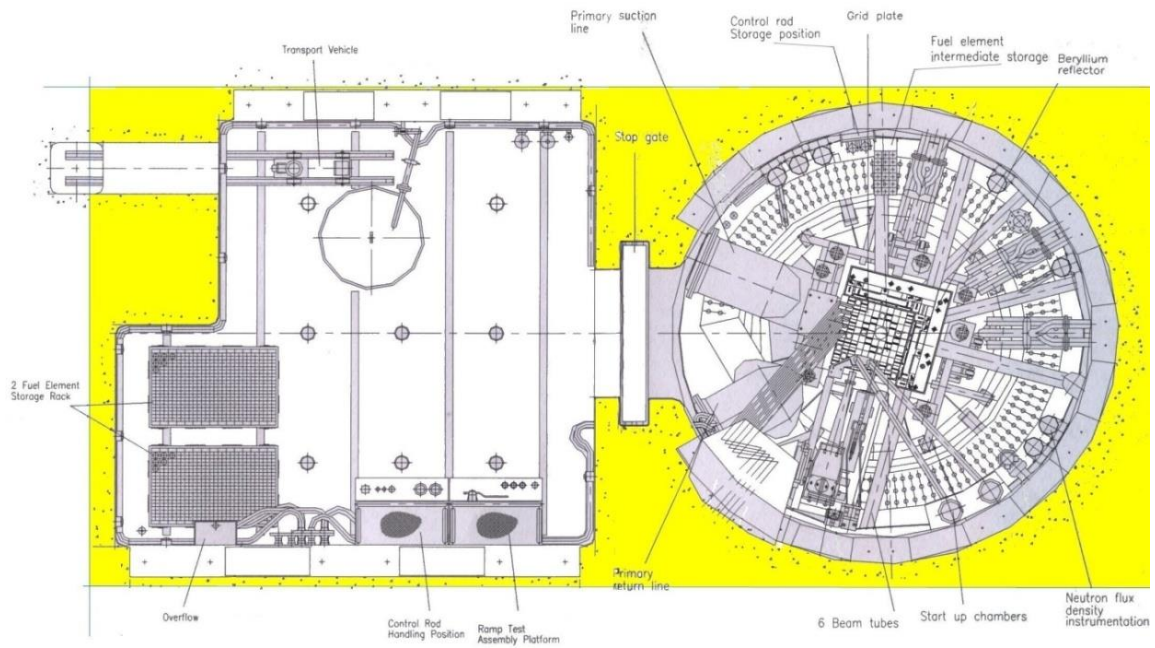
Perangkat kritis adalah perangkat yang memuat bahan fisil yang digunakan untuk melangsungkan reaksi fisi berantai yang terkendali pada daya rendah dan digunakan untuk penelitian terhadap geometri dan komposisi teras. Parameter kritis teras RSG-GAS beberapa diatur oleh ketentuan desain awal seperti di LAK RSG-GAS. Perhitungan desain awal dapat digunakan sebagai nilai pembatas ketika reaktor dioperasikan.

Pengembangan sistem pengendalian keselamatan operasi di RSG-GAS telah diatur dengan tersedianya Laporan Analisis Keselamatan (LAK) sebagai tata aturan awal dari manajemen sistem keselamatan dan pengoperasian reaktor. Kemajuan dalam pengendalian keselamatan ini akan terus berkembang sejalan dengan bertambahnya usia operasi. Kegiatan evaluasi terhadap operasi dilakukan sebelum, sesudah, dan ketika operasi dilaksanakan untuk keselamatan reaktor. Sehingga secara tidak langsung evaluasi selaras dengan pengawasan terhadap parameter kritis, sistem reaktor/instalasi, dan langkah-langkah operasi (prosedur) dari pelaksanaan operasi. Melalui makalah ini, penulis mencoba mengkaji unjuk kerja pengoperasian RSG-GAS dari segi parameter kritis saat operasi sehingga diharapkan bermanfaat khususnya dalam meningkatkan sistem

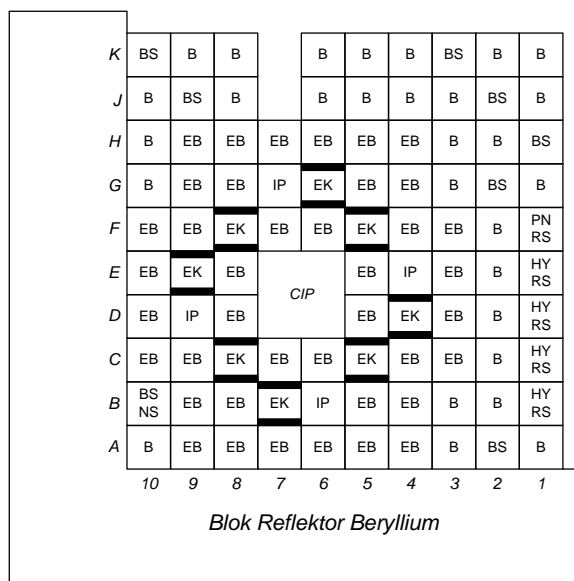
keselamatan operasi reaktor pada kegiatan di masa mendatang dan perubahan standar keselamatan di LAK RSG-GAS.

PARAMETER NEUTONIK OPERASI REAKTOR

Teras reaktor adalah bagian utama dari reaktor nuklir untuk menempatkan sumber neutron, elemen bakar, dan elemen kendali sehingga akan terjadi reaksi fisi yang terkendali. Dalam teras reaktor RSG-GAS yang berbentuk persegi, disediakan tempat untuk mengiradiasi sampel-sampel percobaan dan saluran-saluran pendinginan. Kolam dan teras reaktor RSG-GAS ditunjukkan dalam Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Kolam reaktor RSG-GAS (pandangan atas)



Gambar 2. Konfigurasi Teras Setimbang Silisida RSG-GAS

Konfigurasi teras RSG, sebelumnya teras U_3O_8 -Al dengan teras kerja pertama dioperasikan sejak tahun 1987 dan mengalami perubahan desain materi menjadi U_3Si_2 -Al. Teras uranium-silisida dibentuk dari teras setimbang uranium-oksida. Penggantian teras RGS-GAS berbahan-bakar uranium-oksida ke uranium-silisida dilakukan secara bertahap pada beberapa siklus operasi RSG-GAS. Bahan bakar uranium-silisida sekarang ini mempunyai muatan dan kerapatan yang sama dengan bahan bakar uranium-oksida, yaitu 2,96 gram/cm³. Penyisipan elemen bakar dan elemen kendali berbahan bakar uranium-silisida dimulai pada Teras 36 dan mencapai teras penuh U_3Si_2 -Al pada Teras 45.

Di dalam mengoperasikan reaktor, semua parameter operasi harus dijaga dan dikendalikan agar tidak melampaui batasan operasi yang dipersyaratkan. Batasan dan persyaratan operasi merupakan spesifikasi teknis yang telah didesain dan diuji fungsi, tertuang dalam Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS yaitu dengan membatasi harga variabel yang berkaitan dengan kinerja neutronik, termal, dan hidrolis teras dan membatasi harga variabel dari sistem yang terkait keselamatan. Faktor multiplikasi (k) dalam reaktor nuklir adalah hubungan yang menyatakan perubahan fraksi populasi neutron setiap generasi. Faktor multiplikasi di reaktor lebih sering diaplikasikan dalam kekritisan yang diberi harga sebagai reaktivitas.

Reaktivitas dapat bernilai positif, negatif, ataupun nol. Sehingga reaktivitas dipakai sebagai ukuran untuk menunjukkan seberapa jauh kondisi reaktor dari kondisi kritis. Reaktivitas merupakan besaran tanpa dimensi namun diberi satuan artificial $\Delta k/k$. Reaktivitas bisa berkurang karena atom bahan bakar, temperatur, tekanan, dan lain-lain. Posisi batang kendali mengatur dan mengamankan reaktivitas di teras pada awal operasi (*beginning of cycles, BOC*) dan di akhir operasi (*end of cycles, EOC*).

Setiap batang kendali memberikan efek reaktivitas negatif. Reaktivitas (-) teras pada saat seluruh batang kendali dimasukkan penuh (*fully inserted*) disebut *shutdown margin*, harga ini ditentukan sedemikian sehingga teras masih dalam keadaan subkritis meskipun batang kendali yang memiliki reaktivitas terbesar gagal masuk yang disebut kriteria *stuck-rod*. Sedangkan reaktivitas total batang kendali adalah nilai padam total sebagai perbedaan *range* antara nilai reaktivitas lebih (+) dan nilai reaktivitas padam (-). Sedangkan reaktivitas lebih merupakan reaktivitas bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya secara stabil dalam kurun waktu sesuai desain, yang juga sebanding dengan laju perubahan jumlah bahan bakar di teras.

Tabel berikut ini menampilkan desain parameter kritis RSG-GAS yang mengacu pada LAK Rev. 10.1 untuk teras Silisida.

Tabel 1. Parameter kritis Operasi RSG-GAS

| No | Parameter | Satuan | Nilai | Keterangan |
|-----|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------|-------------|
| 1. | Jenis bahan bakar | U ₃ Si ₂ Al, pengkayaan 19,75%, kerapatan 2,96% | | |
| 2. | Jumlah EB | plat | 40 | (21 plat U) |
| 3. | Jumlah EK | plat | 8 | (15 plat U) |
| 4. | Panjang siklus | hari/MWD | 22,51 / 675,5 | Daya 30 MW |
| 5. | Fraksi bakar rerata BOC | % | 25,57 | |
| 6. | Fraksi bakar rerata EOC | % | 32,48 | |
| 7. | Fraksi bakar desainmaks | % | 59,56 | maks 59,59 |
| 8. | Reaktivitas lebih awal siklus | % | 7,77 | maks 10,9 |
| 9. | Reaktivitas total BK | % | 14,58 | |
| 10. | Margin reaktivitas padam | % | -2,87 | |
| 11. | Fluks n thermal rerata CIP | n/cm ² s | 2,3e+14 | |

Dari tabel di atas tersirat bahwa desain neutronik teras dan parameter kritis RSG-GAS harus senantiasa dihitung, dikaji, dan dikendalikan untuk pemanfaatan yang efisien, selamat, dan sesuai ketentuan.

KENDALI PARAMETER NEUTRONIK SISTEM PROTEKSI REAKTOR

Pengoperasian RSG-GAS yang benar harus mengacu kepada batasan-batasan dan persyaratan keselamatan operasi RSG-GAS yang telah ditetapkan di dalam LAK. Reaktor dirancang tetap aman meskipun ada sistem atau komponen yang tidak berfungsi/gagal. Batasan dan persyaratan operasi RSG-GAS (dengan pendinginan paksa) meliputi parameter daya maksimal reaktor 34,2 MW, faktor daya radial maksimal 2,6 dan faktor daya axial 1,6¹⁾. Parameter Daya reaktor menunjukkan besarnya energi panas dan radiasi yang dibangkitkan setiap satuan waktu. Sehingga periode kenaikan dan maksimal pembangkitannya dideteksi secara akurat melalui SPR, Sistem proteksi reaktor.

Batas keselamatan operasi RSG-GAS ini ditetapkan untuk variabel-variabel yang dapat diamati yang berkaitan dengan unjuk kerja 9 variabel proses, yaitu:

Kerapatan fluks neutron, Laju dosis- γ di dalam sistem pendingin primer, Posisi katup isolasi primer, Tinggi permukaan air kolam reaktor, Laju aliran dalam sistem pendingin primer, Suhu pada keluaran penukar panas, Tegangan pada busbar daya darurat, Laju dosis- γ di dalam sistem venting kolam reaktor, dan Penutupan sirip sirkulasi alam.

Jika salah satu sistem mendeteksi sinyal keselamatan yang melampaui batas keselamatan maka SPR melalui sistem 6 kontak (pemegang batang kendali)

memancing reaktor atau menjatuhkan batang kendali secara serentak yang disebut scram.

Seting parameter neutronik RSG-GAS yang terkendali oleh SPR diwakili variabel kerapatan fluks neutron, yaitu JKT01-03, sistem logic JRE/F/G, dan pengaruh N-16 JAC01 sebagai perangkat lain dari parameter reaktivitas.

Reaktivitas juga dipengaruhi oleh bahan lain yang masuk ke teras yang disebut dengan sampel iradiasi. Sampel yang akan diiradiasi mendapat pengendalian secara administratif berupa ijin dan analisis keselamatannya terutama reaktivitasnya terhadap operasi reaktor.

METODOLOGI

Metode untuk mengkaji karakter parameter kritis operasi RSG-GAS diperoleh dengan cara merekapitulasi data dan mengevaluasi terhadap kesesuaian operasi teras silisida meliputi massa ²³⁵U, waktu operasi, daya dan energi terbangkitkan serta unjuk kerja batang kendali.

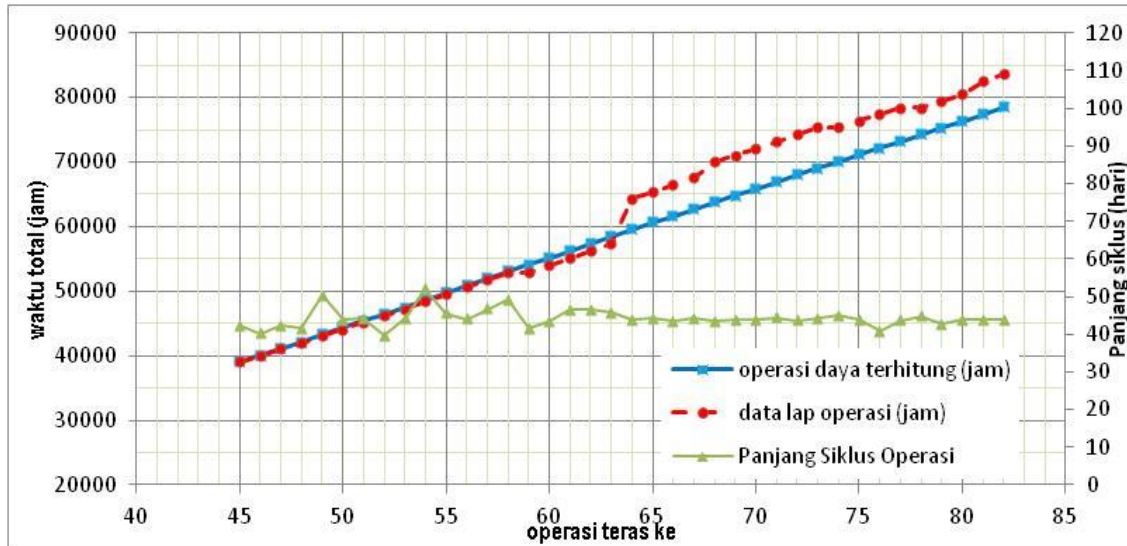
Hasil rekapitulasi disajikan dalam beberapa table dan grafik untuk diidentifikasi serta mencari karakterisasi dalam kaitannya dengan keselamatan operasi. Hasil kajian dijadikan masukan terhadap kajian keselamatan parameter neutronik dan aktualisasi LAK berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Waktu Operasi; Waktu operasi total hingga teras 82 adalah 83.635,37 jam yang diperoleh dengan menjumlahkan waktu periode operasi mulai teras oksida, sedangkan hasil penghitungan waktu pada operasi daya tinggi hingga teras 82 adalah 78.417,18 jam. Dari gambar 3, terlihat bahwa ada lonjakan data pada teras operasi ke 64, seharusnya lama operasi

daya hingga teras 64 adalah 59.521,63 jam. Lama operasi daya setiap operasi teras silisida, sebagai berikut: operasi terpendek 951,18 jam pada teras 52, operasi terpanjang 1.248,40 jam pada teras 54, dan waktu operasi daya rerata adalah 1.061,52 jam atau

44,23 hari. Waktu operasi tiap teras ini dibatasi 45 hari pada daya 15 MW. Data ini dapat digunakan untuk koreksi perhitungan kinerja RSG yang menggunakan alokasi total waktu. Data waktu operasi ditampilkan dengan grafik 1.

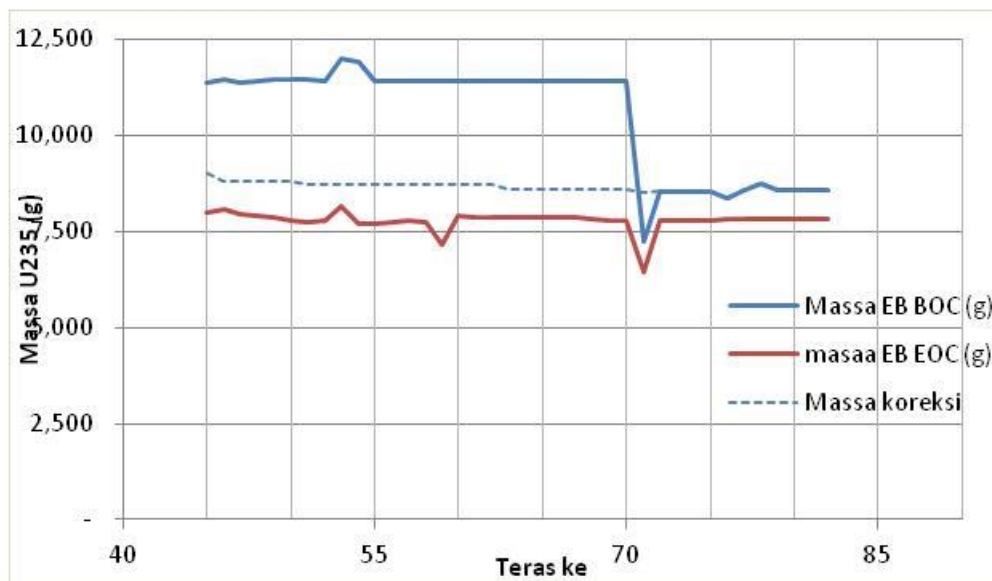


Gambar 3. Grafik Waktu Operasi Daya Total Teras Silisida RSG-GAS

Massa ²³⁵U di Teras;

Selama teras Silisida terdapat perubahan jumlah bahan bakar tersedia di awal teras yaitu teras silisida awal (T-45) hingga teras ke 70 rata-rata 11.448,88 g sedangkan dari teras 71 hingga kini rata-rata tersedia 8.442,52 g dan pada teras 71 titik massa terkecil saat BOC yaitu 7.233,12 g. Perubahan ini disebabkan oleh kesalahan input data, tetapi telah terkoreksi mulai teras ke 71.

Jumlah ²³⁵U pada teras setimbang Oksida adalah ± 8.700 g (yang akan dikaji lebih lanjut). Sisa massa Uranium terendah diakhir siklus EOC (antara T-45 s/d T-70) adalah 7.140,51 g pada teras ke 59 dan (antara T-71 s/d T-82) adalah 6.456,16 g pada teras ke 71 dan rata-rata massa ²³⁵U teras EOC Silisida, yaitu 7.685 g. Grafik berikut, pada Gambar 4 menampilkan data massa uranium teras silisida.

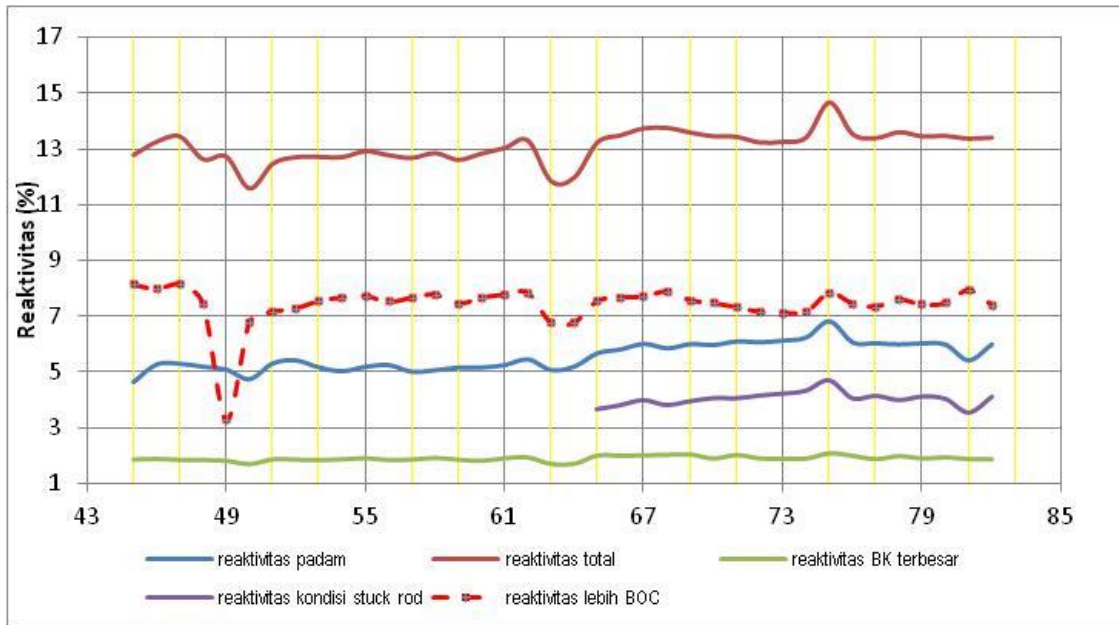


Gambar 4. Grafik Jumlah Massa ²³⁵U Teras Silisida RSG-GAS

Reaktivitas;

Reaktivitas lebih teras RSG rata-rata adalah 7,41%, tertinggi ketika teras ke-47 yaitu 8,14% dan terendah pada teras 49, yaitu 3,27%. Reaktivitas lebih merupakan data kebutuhan untuk melakukan operasi, namun demikian populasi neutron ini masih dapat dikendalikan (atau reaktor dapat dipadamkan)

dengan nilai reaktivitas total BK yang mencapai harga rata-rata 13,08% walaupun salah satu BK terbesar macet (stuck rod). Nilai stuck rod tertinggi yaitu 4,72% di teras 75 dan rata-rata pada teras Silisida adalah 4,05%. Grafik harga reaktivitas RSG ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.

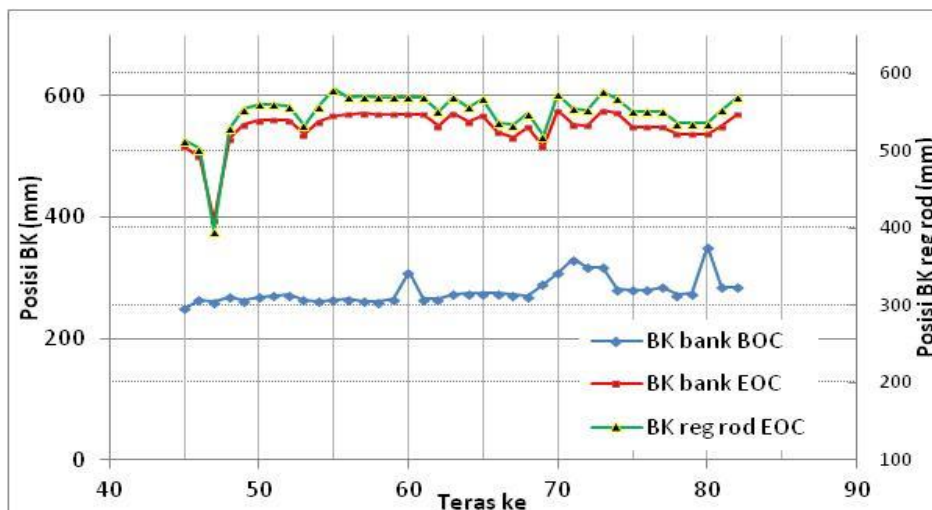


Gambar 5. Grafik Reaktivitas Teras Silisida RSG-GAS

Posisi Batang Kendali;

Posisi BK di awal siklus (BOC) berada rata-rata pada 278,74 mm dan terendah 250 mm pada teras ke 45, artinya reaktivitas yang dihasilkan bahan bakar awal siklus ketika itu sangat besar. Sedangkan posisi BK di akhir siklus cenderung lebih tinggi yaitu rata-

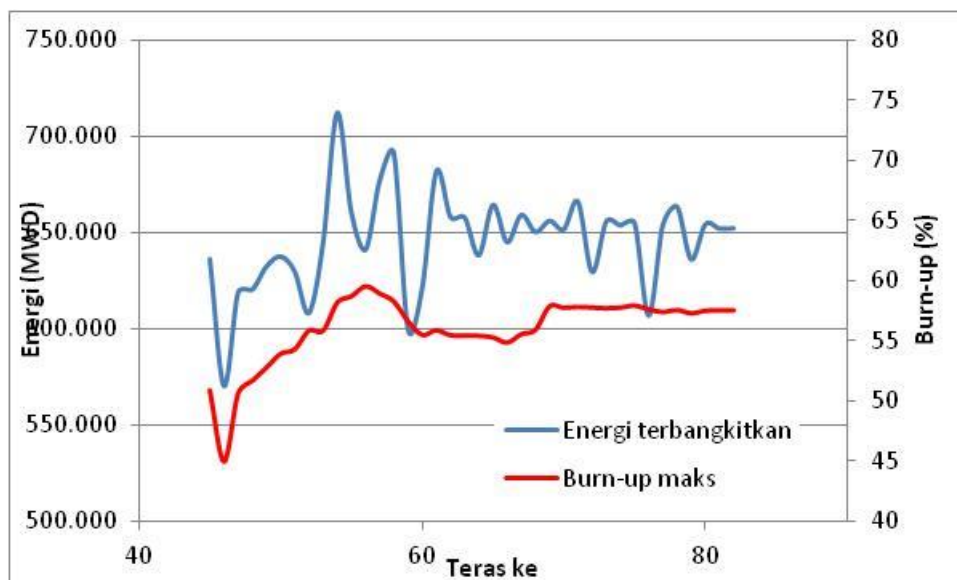
rata 548 mm dan tertinggi 576 mm pada teras operasi ke 73. BK *all-bank* dan BK *reg-rod* pada dasarnya serentak, *reg-rod* rata-rata berbeda sedikit lebih tinggi yaitu 1 mm dan selisih tertinggi 4 mm yaitu 580 mm pada teras 55. Gambaran posisi BK ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Karakter Posisi BK Teras Silisida RSG-GAS

Energi dan Fraksi Bakar;
 Setiap operasi, energi terbangkitkan dapat dihitung dengan mengalikan daya terhadap waktu operasi. Sehingga energi yang dihasilkan tergantung kepada kebutuhan pemanfaatan iradiasi/percobaan, daya, dan waktu. Energi terbangkitkan tertinggi, yaitu 712 MWD pada operasi teras ke 54 dan terendah 570 MWD pada teras ke 46. Energi akan tergantung pada waktu pengoperasian, akan tetapi desain keselamatan untuk energi teras Silisida dibatasi 675,5 MWD. Hingga kini energi terbangkitkan rata-rata 645,9 MWD. Energi yang dihasilkan diperkirakan akan berpengaruh terhadap fraksi bakar yang terjadi. Semestinya, bila energi dibangkitkan besar maka fraksi bakar juga besar atau fraksi bakar

di teras selanjutnya sebagai konsekuensi pola manajemen teras. Fraksi bakar tertinggi di akhir siklus selalu diperoleh dari posisi B7, yaitu EK yang telah melalui 8 siklus. Fraksi bakar tertinggi adalah 59,59% pada teras operasi ke 56. Fraksi bakar tertinggi ini dijadikan sebagai batasan maksimal fraksi bakar yang diijinkan, agar selanjutnya harga ini tidak terlampaui. Dari grafik terlihat bahwa pada awal operasi teras silisida fraksi bakar berada di bawah 50%, hal ini karena pada data laporan operasi yang tersaji; data yang tertampil belum di teras EOC (masih 1 siklus lagi), yaitu antara teras 45 s/d teras 50. Grafik hubungan energi dan fraksi bakar ditampilkan pada Gambar 7.

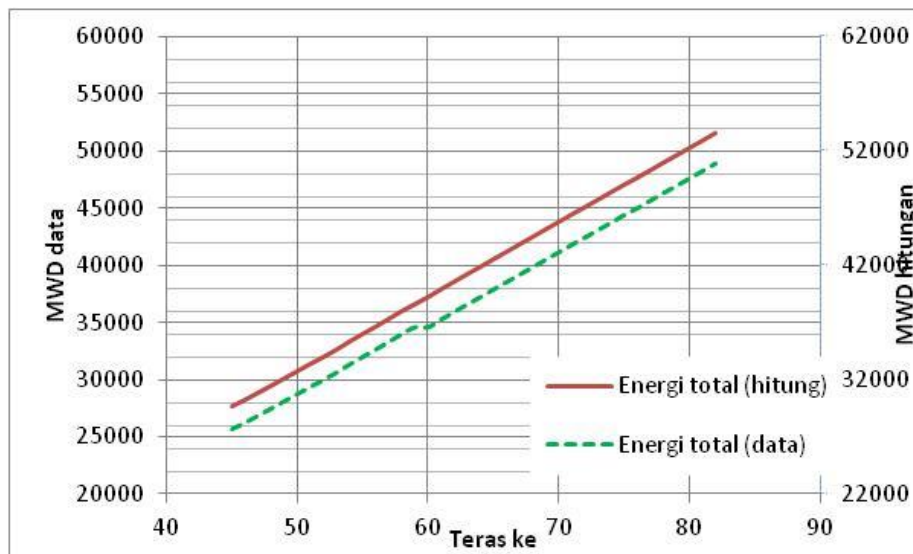


Gambar 7. Grafik Energi dan Fraksi bakar ²³⁵U maks Teras Silisida RSG-GAS

Total Energi;

Energi total yang terbangkitkan hingga akhir teras ke 82 tahun 2013 adalah 51.544,516 MWD. Data ini diperoleh dengan menjumlahkan energi yang dihasilkan tiap teras operasi. Jika teras oksida telah membangkitkan 27.010,14 MWD maka teras Silisida hingga teras 82 telah beroperasi

membangkitkan 24.544,28 MWD. Data ini dapat digunakan sebagai bahan untuk mengendalikan parameter lain, misalnya meninjau umur absorber dan berilium reflektor atau material lain di teras. Grafik penambahan energi yang dihasilkan dalam MWD dari teras silisida ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Total Energi terbangkitkan RSG-GAS hingga teras ke 82

Dari tampilan rekapitulasi data yang diperoleh ternyata tidak secara keseluruhan data akurat, terkadang ada inkonsisten dalam perhitungan/ penyajian. Sehingga perlu kiranya pemeriksaan dan

review hasil operasi secara menyeluruh pada kajian selanjutnya. Namun demikian karakterisasi parameter neutronik dalam operasi reaktor dapat dirangkum sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter Neutronik RSG Selama Operasi Teras Silisida, Hasil Rekapitulasi Data Laporan Operasi PRSG

| No | Parameter | Satuan | Nilai |
|-----|---------------------------------------------|------------|-----------------------|
| 1. | Panjang operasi 1 teras daya tinggi, rerata | hari / MWD | 1062 jam = 44 / 645,5 |
| 2. | Fraksi bakar rerata BOC | % | 25,57 |
| 3. | Fraksi bakar rerata EOC | % | 32,48 |
| 4. | Fraksi bakar maks rerata | % | 56,01 |
| 5. | Reaktivitas lebih awal siklus rerata | % | 7,41 |
| 6. | Reaktivitas total BK rerata | % | 13,08 |
| 7. | Margin reaktivitas padam rerata | % | 5,56 |
| 8. | Reaktivitas stuckrod rerata | % | 4,05 |
| 9. | Massa ²³⁵ U BOC rerata | g | 8.442 |
| 10. | Massa ²³⁵ U EOC rerata | g | 7.685 |
| 11. | Posisi BK all-bank BOC rerata | mm | 278,7 |
| 12. | Posisi BK all-bank EOC rerata, tertinggi | mm | 548, 576 |

Parameter neutronik lainnya, misalnya fluks, fluens, PPF, K_{eff} , dan margin keselamatan akan menjadi target kajian selanjutnya.

yang terkait massa ²³⁵U, daya, dan waktu operasi; dan reaktivitas yang terkait juga terhadap jumlah massa ²³⁵U dan posisi batang kendali.

KESIMPULAN

Telah diperoleh karakterisasi parameter neutronik teras Silisida RSG-GAS yang dievaluasi sejak teras awal silisida (teras 45) hingga teras 82. Dengan waktu operasi 40.337 jam dan energi 24.544 MWD, karakter parameter kritis yang penting untuk keselamatan ditentukan pada parameter fraksi bakar

PUSTAKA

1. SBKO-BK, PRSG, Laporan Analisis Keselamatan (LAK) RSG-GAS Rev. 10.1, No. Ident.: RSG.KK.01.01.63.11, PRSG, Serpong, 2011.
2. Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS, PRSG.

