

STUDI INTRODUKSI RACUN DAPAT BAKAR KE DALAM TERAS RSG-GAS

Bambang Herutomo*), Tagor M. Sembiring**)

*)Pusat Elemen Bakar Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

**) Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

STUDI INTRODUKSI RACUN DAPAT BAKAR KE DALAM TERAS RSG-GAS. Telah dipelajari kemungkinan introduksi racun dapat bakar ke dalam teras RSG-GAS dalam rangka meningkatkan kinerja, kegunaan dan keselamatannya melalui stabilisasi distribusi aksial fluks neutron dan memperbesar reaktivitas *shut-down*. Hasil studi menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi racun dapat bakar gadolinium dalam bentuk dispersi dan strip (kawat) dengan harga reaktivitas sekitar 2,5 % dk/k dan 2,2 % dk/k mampu untuk mencapai tujuan tersebut. Dalam hal ini, gadolinium dalam bentuk dispersi digunakan untuk mengurangi efek penurunan reaktivitas akibat pembentukan racun xenon, dan gadolinium dalam bentuk strip digunakan untuk mengkompensasi penurunan reaktivitas akibat pembakaran bahan bakar.

ABSTRACT

STUDY ON BURNABLE POISON INTRODUCTION INTO THE CORE OF MULTIPURPOSE REACTOR GAS. The possibility to introduce burnable poison into the core of Multipurpose Reactor GAS have been studied in order to improve their performance, utilization and safety by stabilizing the axial neutron flux distribution and increasing shutdown reactivity. The study shows that utilization of the combination of gadolinium burnable poison in the form of dispersion and strip with reactivity worth of 2.5 % dk/k and 2.2 dk/k have a capability to achieve the above objectives. In this case, the burnable poison of gadolinium dispersion is used to reduce the effects of reactivity change due to xenon poison build up and the gadolinium strip is used to compensate the reactivity change due to fuel burn out.

PENDAHULUAN.

Racun dapat bakar adalah suatu material yang mempunyai sifat penyerap neutron termal yang kuat, seperti B-10, Cd-113, Sm-149, Gd-155, Gd-157 dan lain-lain yang dimasukkan ke dalam teras reaktor dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja dan keselamatan operasi reaktor. Ia dapat mengurangi reaktivitas lebih pada awal siklus, mengurangi reaktivitas yang diinvestasikan pada batang kendali, memperbaiki distribusi fluks neutron dan rapat daya dan lain-lain. Pertimbangan utama dalam memilih jenis racun dapat bakar yang akan digunakan adalah tidak mengganggu integritas elemen bakar, tidak menimbulkan pinalti reaktivitas pada akhir siklus dan radionuklida yang dihasilkan akibat reaksi serapan dengan neutron mempunyai umur yang pendek.

Makalah ini menyajikan hasil-hasil studi awal tentang kemungkinan introduksi racun dapat bakar ke dalam teras RSG- GAS dalam usaha memperbaiki kinerja operasi reaktor melalui stabilisasi distribusi aksial fluks neutron dari awal siklus sampai dengan akhir siklus.

Studi ini dilatar belakangi pada kenyataan bahwa reaktivitas hilang (pada RSG-GAS) akibat pembakaran bahan bakar selama satu siklus (30 MW, 25 EFPD) adalah sebesar 3 % dk/k atau 0,12 % dk/k per-hari. Untuk mengkompensasi penurunan reaktivitas tersebut agar reaktor dapat beroperasi kontinyu pada daya tetap selama satu siklus biasanya dilakukan dengan mengatur posisi batang kendali (menarik). Akibat perubahan posisi batang kendali tersebut adalah bergesernya distribusi aksial fluks neutron dan kondisi ini biasanya tidak diinginkan karena menimbulkan ketidak-tentuan yang besar pada dosis iradiasi (produksi Radioisotop, silikon doping dan lain-lain). Racun dapat bakar yang diintroduksi juga dimaksudkan untuk mengurangi penurunan reaktivitas yang besar yang terjadi pada awal siklus (3,5 % dk/k) sebagai akibat terbentuknya racun xenon, dan juga untuk menghindari terjadinya puncak-puncak daya akibat perbedaan reaktivitas yang besar antara bahan bakar segar yang baru dimasukkan ke dalam teras dengan bahan bakar yang

telah terbakar. Selain itu, racun dapat bakar yang diintroduksi akan meningkatkan reaktivitas *shut down* pada awal siklus sehingga reaktor bertambah aman.

METODE

Pengalaman introduksi racun dapat bakar ke dalam teras reaktor DIDO dan PLUTO (UK) menunjukkan bahwa gabungan racun dapat bakar gadolinium dalam bentuk dispersi (dialokan ke dalam material kelongsong) dan bentuk strip atau kawat (ditempelkan di bagian luar elemen bakar) memiliki kinerja yang baik untuk stabilisasi distribusi aksial fluks neutron. Dalam hal ini, racun dapat bakar gadolinium dalam bentuk dispersi adalah digunakan untuk mengurangi penurunan reaktivitas akibat pembentukan racun xenon (short term effect) sedangkan bentuk strip/kawat untuk mengkompensasikan penurunan reaktivitas akibat pembakaran bahan bakar (long term effect). Keuntungan penggunaan racun dapat bakar bentuk strip/kawat ini adalah terjadinya efek *self shielding* yang besar dan mekanisme serapan neutron dimulai dari permukaan strip/kawat. Keunikan racun dapat bakar jenis ini adalah penurunan reaktivitasnya berjalan secara linier.

Dalam studi ini pengalaman di atas diadopsi dan sebagai langkah awal dilakukan perhitungan secara sederhana untuk mengetahui karakteristik perubahan reaktivitas teras RSG-GAS selama satu siklus (30 MW, 25 EFPD) sebagai akibat introduksi racun dapat bakar. Metode perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Untuk introduksi racun dapat bakar yang didispersikan secara merata dalam bahan bakar atau kelongsong, maka penurunan reaktivitas teras sebagai fungsi derajat bakar dapat didekati dengan persamaan: (tanpa adanya efek *self shielding* dan ditinjau hanya untuk neutron thermal saja).

$$P(t) = P(0) (1 - B.t)^R \quad (1)$$

Dalam hal ini, $P(t)$ adalah reaktivitas pada saat t , $P(0)$ adalah reaktivitas pada saat awal siklus, B adalah fraksi laju pembakaran bahan bakar, t adalah waktu, dan R adalah perbandinganampang lintang serapan mikroskopis racun dan bahan bakar.

Sedangkan untuk racun dapat bakar strip, penurunan reaktivitas *worth*-nya akibat pembakaran oleh neutron thermal adalah sebanding

dengan pengurangan diameter (jari-jari) efektifnya, yaitu

$$R(t)/R(0) = 1 + (A/D) [\Phi_0/(B.R(0))] \ln(1 - B.t) \quad (2)$$

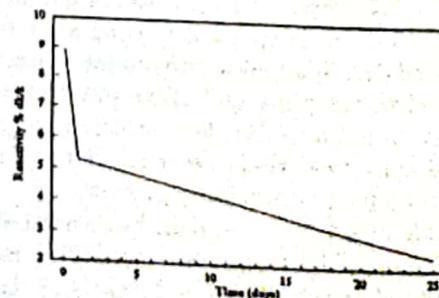
Dalam hal ini, $R(t)$ adalah jari-jari efektif strip pada saat t , $R(0)$ adalah jari-jari efektif strip pada saat $t = 0$, A adalah konstanta (untuk racun dapat bakar gadolinium harganya adalah $2,133 \times 10^{-22}$), D adalah densitas racun, Φ_0 adalah fluks neutron thermal pada saat $t = 0$, B adalah fraksi laju pembakaran bahan bakar.

Dalam perhitungan digunakan data sebagai berikut :

- data tampang lintang serapan mikroskopis adalah 4000 barn untuk B-10, 31000 barn untuk CD-133, 66000 barn untuk Sm-149, 61000 barn untuk Gd-155, 254000 barn untuk Gd-157, dan 580 barn untuk U-235;
- fluks neutron thermal RSG-GAS diambil sebesar $2,0 \times 10^{14}$ n/cm²-s;
- kehilangan bahan bakar (U-235) akibat pembakaran per-siklus adalah 8 %;
- reaktivitas lebih RSG-GAS pada saat awal siklus (dingin, tanpa xenon) adalah 9,2% dk/k. Reaktivitas sebesar ini yang akan digunakan untuk mengkompensasi penurunan reaktivitas akibat temperatur operasi sebesar 0,3 % dk/k, pembentukan racun xenon sebesar 3,5 % dk/k, pembakaran bahan bakar sebesar 3 % dk/k, eksperimen sebesar 2 % dk/k dan untuk keperluan pengendalian reaktor sebesar 0,4 % dk/k.

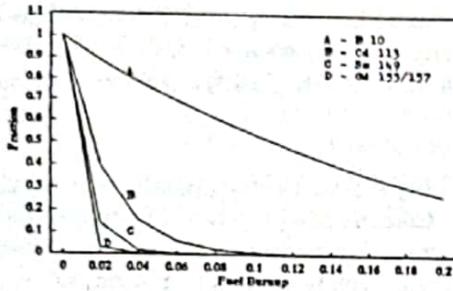
HASIL DAN PEMBAHASAN

Jika diasumsikan bahwa keseimbangan racun xenon tercapai dalam satu hari setelah reaktor operasi (start up) dan penurunan reaktivitas akibat pembakaran bahan bakar merupakan fungsi linier terhadap derajat bakar, maka karakteristik reaktivitas RSG-GAS sebagai fungsi waktu dalam siklus seimbang (30 MW, 25 EFPD) dapat digambarkan sebagai berikut :



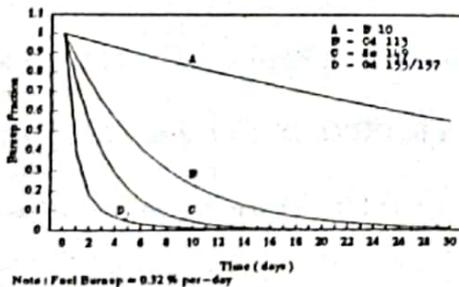
Gambar 1. Karakteristik perubahan reaktivitas RSG-GAS dalam siklus seimbang (30 MW, 25 EFPD).

Dari persamaan (1), faktor $(1-B.t)^R$ menunjukkan karakteristik laju pembakaran racun dapat bakar tipe dispersi. Untuk racun dapat bakar B-10, Cd-113, Sm-149 dan Gd-155/157 laju pembakarannya sebagai fungsi fraksi bahan bakar yang terbakar dapat dilihat pada Gambar 2.



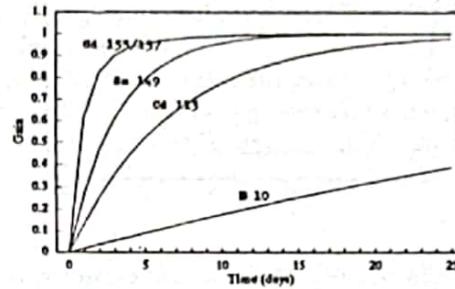
Gambar 2. Karakteristik pembakaran racun dapat bakar B-10, Cd-113, Sm-149, Gd-155/157 sebagai fungsi fraksi bahan bakar yang terbakar.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa B-10 memiliki laju pembakaran yang paling kecil sedangkan Gd-155/157 memiliki laju pembakaran yang paling besar. Karena pembakaran bahan bakar di RSG-GAS dalam satu siklus hanya sebesar 8 %, maka racun dapat bakar yang paling cocok adalah Sm-149 dan Gd-155/157 karena akan habis terbakar sebelum siklus berakhir sehingga tidak memberikan pinalti reaktivitas di akhir siklus (lihat Gambar 3).



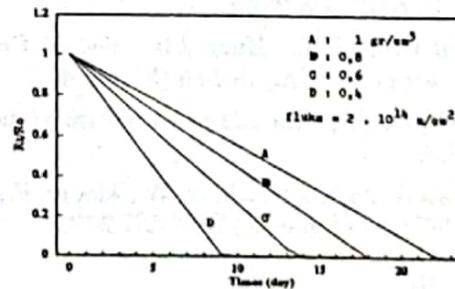
Gambar 3. Karakteristik pembakaran racun dapat bakar selama satu siklus di RSG-GAS.

Untuk mereduksi penurunan reaktivitas akibat pembentukan racun xenon diperlukan suatu racun dapat bakar yang mempunyai laju pembakaran besar sehingga dapat memberikan gain reaktivitas selama pembentukan racun xenon menuju keseimbangan. Dari Gambar 4 terlihat bahwa racun dapat bakar Gd-155/157 (bentuk dispersi) cocok digunakan untuk maksud ini.



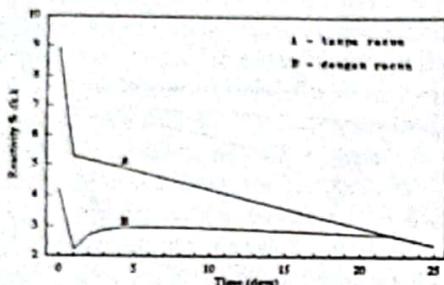
Gambar 4. Tipikal gain reaktivitas teras selama satu siklus akibat pembakaran racun dapat bakar.

Menurut pengalaman introduksi racun dapat bakar di DIDO dan PLUTO (UK) bahwa penggunaan racun dapat bakar dalam bentuk strip/kawat (diameter 1,7 mm) sangat efektif untuk mengkompensasi penurunan reaktivitas akibat pembakaran bahan bakar. Pada Gambar 5 dapat dilihat karakteristik pembakaran racun gadolinium strip sebagai fungsi densitas gadolinium sebesar 1 gr/cm^3 memenuhi persyaratan untuk diintroduksi di RSG-GAS.



Gambar 5. Karakteristik laju pembakaran racun gadolinium strip berbagai densitas selama satu siklus di RSG-GAS.

Dari hasil optimasi didapat bahwa gabungan racun dapat bakar gadolinium dalam bentuk dispersi dan strip yang masing-masing memiliki harga reaktivitas sebesar 2,2 % dk/k dan 2,5 % dk/k menunjukkan kinerja yang baik selama siklus di RSG- GAS seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Karakteristik reaktivitas RSG-GAS sebagai hasil introduksi racun dapat bakar gadolinium dispersi sebesar 2,2 % dk/k dan gadolinium strip sebesar 2,5 % dk/k.

Dengan introduksi racun dapat bakar yang memiliki reaktivitas *worth* seperti di atas, maka reaktivitas lebih teras RSG-GAS pada awal siklus berkurang menjadi 4,5 % dk/k. Penurunan reaktivitas lebih ini akan meningkat-

kan/memperbesar reaktivitas *shut down*, yaitu dari 5,3 % dk/k menjadi 10,0 % dk/k sehingga reaktor semakin bertambah aman.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil studi secara umum dapat disimpulkan bahwa penggunaan kombinasi racun dapat bakar gadolinium dalam bentuk dispersi dan strip yang masing-masing memiliki reaktivitas sebesar 2,2 % dan 2,5 % mampu untuk memperbaiki kinerja operasi RSG-GAS seperti berkurangnya pergeseran distribusi aksial fluks neutron dan meningkatnya reaktivitas *shut-down*.

Saran

Studi yang dilakukan masih berupa studi pendahuluan, begitu pula tentang metode perhitungan yang digunakan masih sangat sederhana sehingga hasil-hasil yang didapat masih mempunyai ketidak-tentuan yang besar. Untuk itu, dalam studi selanjutnya perhitungan yang lebih teliti (dengan paket program komputer) dan beberapa eksperimen dalam teras reaktor perlu dilakukan.

Ucapan Terima Kasih.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Mr. NORMAN W. CRICK (purnakarya fisika-wan reaktor DIDO dan PLUTO, UK) yang dengan senang hati memberikan saran, ajaran dan beberapa acuan yang berkaitan dengan racun dapat bakar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Crick, N. W., "Komunikasi Pribadi".
2. Crick, N. W., The use of burnable poisons in DIDO and PLUTO Reactors, UKEA AERE-M 2186.
3. Crick, N. W., The Irradiation of eight Mk 5/4 fuel elements poisoned with cadmium in DIDO", UKEA AERE-M 2369.
4. Bormann, H. J., Burnable poisons, Concepts and Operational Experience 1972/1973, MTR Operators Meeting, Julich (May 2-4).
5. Crick, N. W., The use of cadmium as burnable poison in DIDO, DIDO Physics Note No. 46, UKEA.
6. Constantine, G., Crick, N. W., Moore, P., The introduction of linear burnable poison strips into Mk 5/7 fuel elements, RSC CN-282.

DISKUSI

Kurnia Putranto:

1. Apakah juga dilakukan perhitungan teras dalam analisis anda ?
2. Bagaimana reaktivitas batang kendali dalam hal ini? Apakah kondisinya tetap?

Bambang Herutomo:

1. Hasil perhitungan berlaku secara global atau keseluruhan karakteristik reaktivitas dalam teras RSG. Distribusi reaktivitas untuk setiap elemen bakar di dalam teras belum dihitung.
2. Posisi batang kendali tidak diperhitungkan karena studi ini adalah untuk mencari berapa besar reaktivitas racun dapat bakar yang akan di investasikan pada teras. Studi mentronik akan dilakukan dimasa yang akan datang.

Lily Suparlina:

Apa yang dimaksud dengan dalam satu siklus (25 EFPD) terjadi penurunan reaktivitas sebesar 3,5 %. Apa akibatnya bila pada akhir siklus reaktivitas < 9,2 % ?

Bambang Herutomo:

Penurunan reaktivitas sebesar 3,5 % adalah berasal dari pembentukan racun Xe pada kondisi seimbang (tercapai \pm 24 jam setelah start up operasi daya penuh).

Untuk RSG - GAS reaktivitas pada akhir siklus selalu < 9,2 % karena adanya efek pembakaran bahan bakar yang dalam satu siklus adalah sekitar 3 % (kehilangan reaktivitas). Dalam kondisi dingin (tanpa racun Xe dan tanpa eksperimen), besarnya reaktivitas teras RSG - GAS pada akhir siklus adalah sekitar 6,2 %.

Martias Nurdin:

Dengan tetapnya ^{235}U di dalam elemen bahan bakar, penempatan *burnable poison* akan memberikan atau dapat memberikan pinalti justru diawal operasi. Bagaimana dan apa *burnable poison* yang dipakai?

Bambang Herutomo:

Salah satu tujuan penggunaan racun dapat bakar adalah mengurangi reaktivitas lebih awal siklus. Hal ini bermanfaat untuk meningkatkan keselamatan operasi (pada saat start up) dan menghemat reaktivitas batang kendali (batang kendali dapat digunakan lebih lama). Untuk RSG-GAS telah diajukan untuk menggunakan racun Gd 155/157 dalam bentuk dispersi (dialokan di material kelongsong maupun plat sisi) dan dalam bentuk kawat/strip yang direncanakan ditempelkan di pelat sisi.