

## **ANALISIS KESELAMATAN TERAS SILISIDA RSG-GAS DENGAN TINGKAT MUAT 4,8 g U/cc**

Endiah Puji Hastuti  
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN

### **ABSTRAK**

**ANALISIS KESELAMATAN TERAS REAKTOR RSG-GAS BERBAHAN BAKAR SILISIDA TINGKAT MUAT 4,8 g U/cc.** Telah dilakukan analisis keselamatan teras reaktor RSG-GAS berbahan silisida dengan tingkat muat 4,8 g U/cc. Analisis ini perlu dilakukan untukantisipasi penggunaan bahan bakar dengan tingkat muat tinggi di RSG-GAS. Analisis keselamatan dilakukan pada kondisi tunak dan transien, menggunakan program COOLOD-N dan PARET-ANL. Data input neutronik dihitung secara terpisah menggunakan program WIMS-D4 dan Batan-3diff, sedangkan perhitungan kinetika reaktor menggunakan perhitungan POKDYN. Hasil perhitungan fisika teras menunjukkan bahwa posisi kanal terpanas berada di kisi C-8 dengan faktor puncak daya sebesar 1,933. Analisis dilakukan pada kanal rerata dan kanal terpanas. Hasil analisis pada kondisi tunak menunjukkan bahwa margin keselamatan terhadap awal pendidihan inti sebesar 2,47, terjadi pada daya nominal 30MW. Transien akibat kehilangan aliran pendingin (LOFA) menunjukkan reaktor mengalami *scram* pada saat aliran mencapai 85% dengan temperatur pendingin, kelongsong dan bahan bakar (meat) masing-masing mencapai 87,9°C, 156,3°C dan 172.1°C. Ditinjau dari aspek keselamatan kecukupan pendingin dan perpindahan panas, reaktor RSG-GAS harus diturunkan setting dayanya agar dapat dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar silisida dengan tingkat muat 4,8 g U/cc.

Kata kunci: bahan bakar silisida, tingkat muat 4,8 g U/cc, PARET-ANL, tunak, transien.

### **ABSTRACT**

**SAFETY ANALYSIS OF THE RSG-GAS REACTOR CORE BY USING SILICIDE FUEL ELEMENT 4.8 g U/cc.** The safety analysis of RSG-GAS reactor core using 4.8 g U/cc fuel loading was done. This analysis is needed to anticipated usage of silicide high loading in RSG-GAS. The safety analysis was done at steady state and transient by using modified COOLOD-N for RSG-GAS and PARET-ANL. Neutronic input data calculated separately by using WIMS-D4 and Batan-3diff, while reactor kinetic calculation using POKDYN code. Reactor physic calculation result shows that C-8 is the hot channel position, with power peaking factor of 1.933. Analysis was carried out at average and hot channels. The results show that safety margin against flow instability is amount of 2.47 at nominal power of 30MW. Transient due to LOFA indicate that reactor will be *scram* when the flow reduce to 85%, while coolant, cladding and fuel meat temperatures each are 87.9°C, 156.3°C and 172.1°C respectively. From safety aspect point of view of safety, to operated RSG-GAS reactor by using silicide with 4.8 g U/cc fuel loading, the setting of nominal power must be reduce comparing with the existing nominal power.

Key words: silicide fuel, 4.8 g U/cc fuel loading, COOLOD-N, PARET-ANL, steady state, transient.

### **PENDAHULUAN**

Penggunaan bahan bakar uranium silisida dengan pengayaan rendah memungkinkan tingkat muat bahan bakar yang tinggi. Pada saat ini bahan bakar dengan tingkat muat 4,8 g U/cc telah digunakan di berbagai reaktor riset seperti reaktor JRR-4 di Jepang atau reaktor OPAL di Australia. Penggunaan bahan bakar dengan tingkat muat seperti ini akan memperpanjang masa tinggal bahan bakar di reaktor lebih lama dibandingkan dengan

tingkat muat yang lebih rendah. Konversi bahan bakar RSG-GAS direncanakan akan dilakukan secara bertahap. Strategi penggantian tahap pertama dilakukan dengan menggunakan uranium silisida dengan tingkat muat yang sama dengan bahan bakar uranium oksida yaitu 2,96 g U/cc atau 250 gr per elemen bakar. Pada tahap berikutnya direncanakan untuk mengganti bahan bakar dengan muatan 350 gr per elemen bakar atau dengan tingkat muat 4,8 g U/cc.

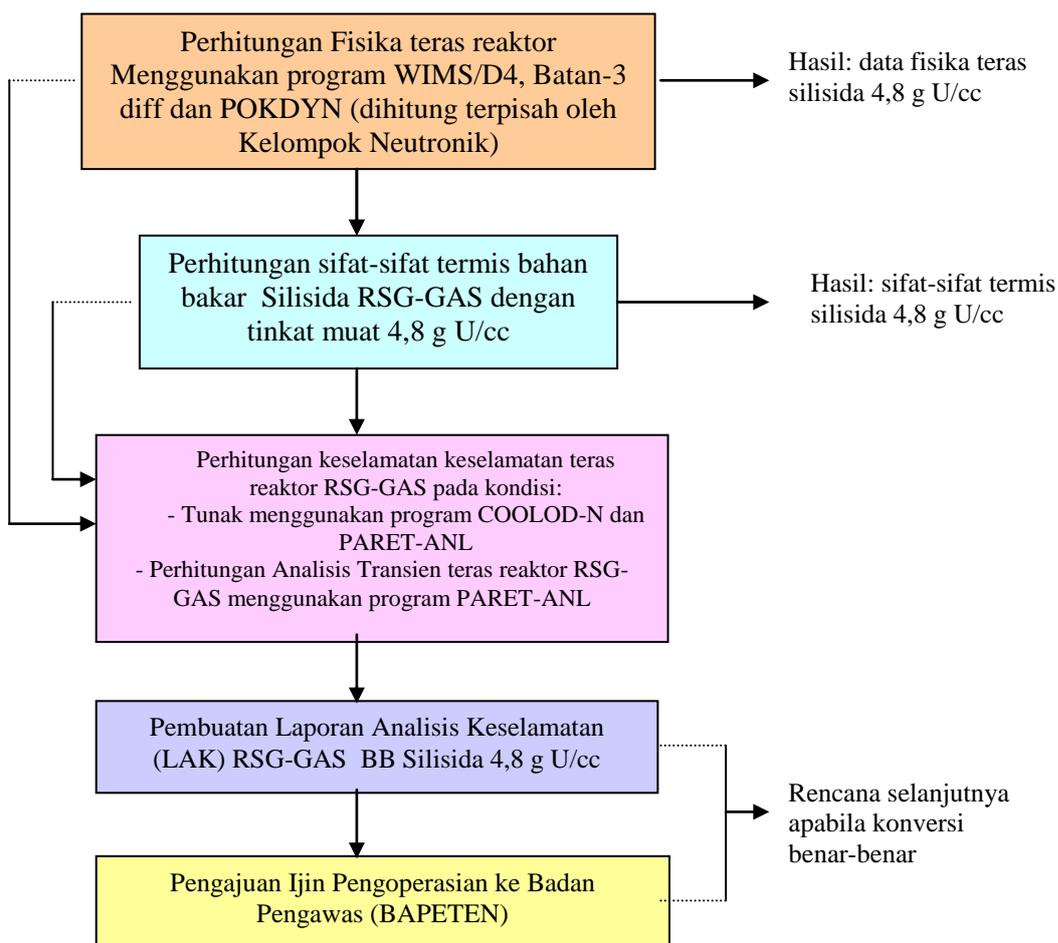
Adanya perubahan tingkat muat akan mengubah distribusi fluks dan parameter kinetika teras reaktor, demikian pula dengan sifat termal bahan bakar sehingga karakteristik reaktor pada saat tunak maupun transien perlu dianalisis. Serangkaian analisis keselamatan teras RSG-GAS yang akan dilakukan sebagai konsekuensi penggunaan bahan bakar dengan tingkat muat ini antara lain adalah analisis keselamatan termohidrolika pada kondisi tunak, analisis transien akibat LOFA dan kecelakaan reaktivitas. Analisis kecelakaan dilakukan berdasarkan kecelakaan desain dasar (*DBA=design basis accident*) yang dilakukan dengan model simulasi menggunakan paket program komputer COOLOD-N, dan PARET-ANL. Dalam simulasi ini dianalisis karakteristik teras RSG-GAS terhadap perubahan daya dan margin keselamatan masing-masing pada kondisi tunak, kecelakaan akibat hilangnya aliran pendingin (LOFA). Analisis dilakukan pada kanal rerata dan kanal panas. Parameter yang diamati antara lain adalah: perubahan daya, suhu pelat elemen bakar, suhu pendingin, reaktivitas dan margin keselamatan selama kondisi tunak maupun transien.

Tujuan akhir dilakukannya analisis ini adalah untuk memperoleh ijin pengoperasian teras RSG-GAS berbahan bakar silisida dengan tingkat muat 4,8 g U/cc dari badan pengawas, sehingga dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan operasi reaktor RSG-GAS.

## **TEORI / METODE PERHITUNGAN**

Keuntungan penggunaan bahan bakar silisida dibanding dengan jenis oksida adalah kemungkinan peningkatan tingkat muat uranium di dalam matrik bahan bakar. Akibat tingkat muat yang tinggi ini adalah volume bahan bakar uranium silisida yang semakin besar, yang selanjutnya berdampak pada penurunan sifat termal bahan bakar dan kapasitas panasnya. Demikian pula dari hasil perhitungan puncak daya radial maupun aksial bahan bakar di dalam teras reaktor. Semua perubahan ini harus diakomodir dan diperhitungkan dengan teliti dalam analisis kanal panas, yang selanjutnya akan digunakan sebagai data input perhitungan keselamatan.

Program perhitungan COOLOD-N yang telah dimodifikasi untuk reaktor RSG-GAS, digunakan untuk menghitung perpindahan panas pada kondisi tunak dengan opsi bahan bakar silisida. Perhitungan panas, margin keselamatan dan massa satu dimensi dilakukan secara konduksi dan konveksi ke arah radial dan aksial. Nodalisasi arah radial dilakukan dalam 5 titik sedangkan ke arah aksial dapat dilakukan sebanyak 11 hingga 21 titik nodal. Sedangkan program perhitungan PARET-ANL digunakan untuk menghitung kondisi tunak maupun transien pada jenis kecelakaan LOFA dan RIA sesuai desain basis accident. Untuk lebih jelasnya maka langkah perhitungan dan data input yang digunakan dapat dilihat pada diagram alir berikut ini.



Gambar 1. Diagram alir perhitungan analisis keselamatan tras silisida 4,8 g U/cc

### **Margin Keselamatan reaktor RSG-GAS**

Terdapat berbagai jenis margin keselamatan. Pada reaktor berbahan bakar berbentuk pelat umumnya digunakan margin keselamatan terhadap awal terjadinya instabilitas aliran. Dalam analisis keselamatan untuk memperoleh kondisi yang paling aman maka kondisi

terparah yang dapat terjadi harus diperhitungkan secara hati-hati. Pada perhitungan ini digunakan analisis kanal panas dengan menggunakan hasil perhitungan faktor puncak daya baik radial maupun aksial maksimum yang mungkin terjadi. Kondisi pengoperasian reaktor terburuk (extrem) yang harus diperhitungkan dalam analisis ini adalah apabila daya reaktor melonjak hingga 14% dari daya nominalnya, hingga temperatur pendingin inlet mencapai 44,5°C dan laju alir hanya tersedia sebesar 85% dari nilai nominalnya. Sebagai pembatas dari hasil perhitungan tersebut adalah batas/margin keselamatan ( $S_{min}$ ) dan pembatas terhadap temperatur bahan bakar, kelongsong dan pendingin yang digunakan sesuai dengan ketentuan dalam laporan analisis keselamatan RSG-GAS, seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Margin Keselamatan RSG-GAS.

KONDISI	NILAI
$S_{min}$ kondisi tunak, 30 MW	3,38
$S_{min}$ kondisi transien	1,48
Daya lebih, 34,2 MW	2,67
Temperatur kelongsong maksimum awal siklus, °C.	145
Temperatur bahan bakar maksimum awal siklus, °C.	200

### Data Input

Data input utama yang digunakan antara lain ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Input perhitungan COOLOD-N dan PARET-ANL

PARAMETER	NILAI
Daya reaktor, MW	30 dan 34,2
Temperatur pendingin inlet, oC	44,5
Konduktivitas bahan bakar, W/m,K	45,4812
Kapasitas panas bahan bakar, J/g, K	
Temperatur 60°C	0,3605
Temperatur 600°C	0,4602
Faktor puncak daya radial maksimum	2.122
Faktor puncak daya aksial maksimum	1.933
Faktor fluks panas	1,2
Faktor Film	1,2
Faktor pendingin	1,167

## HASIL DAN PEMBAHASAN

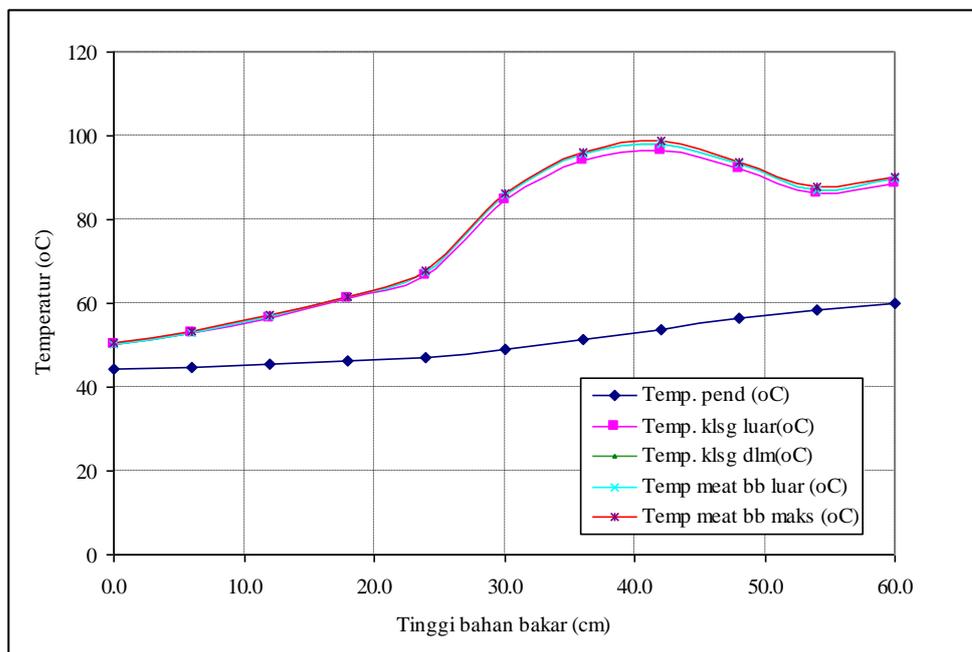
Hasil perhitungan keselamatan baik pada kondisi tunak maupun transien sesuai dengan diagram alir yang telah dijelaskan di atas dapat diuraikan sebagai berikut.

### Kondisi Tunak

Analisis keselamatan pada kondisi tunak dilakukan dengan menggunakan data input hasil perhitungan sifat-sifat termal bahan bakar silisida tingkat muat 4,8 g U/cc bahan bakar yang diproduksi oleh PT BANTEK. Analisis pada kondisi tunak dilakukan untuk mengetahui kondisi kanal pendingin pada kanal rerata dan kanal terpanas.

#### Kondisi tunak kanal rerata

Pada kondisi tunak di kanal rerata dianggap tidak terdapat penyimpangan, semua parameter operasi reaktor berjalan normal dan sesuai dengan nilai-nilai yang tertera di dalam laporan analisis keselamatan. Demikian pula dengan analisis kanal panas dianggap faktor ketidakpastian sebesar 1. Hasil perhitungan yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 2. temperatur pendingin, kelongsong bahan bakar dan bahan bakar masing-masing adalah sebesar 60,16°C, 96,59 °C, dan 98,7 °C. Profil ini mewakili seluruh bahan bakar di teras reaktor RSG-GAS yang memiliki kanal rerata.

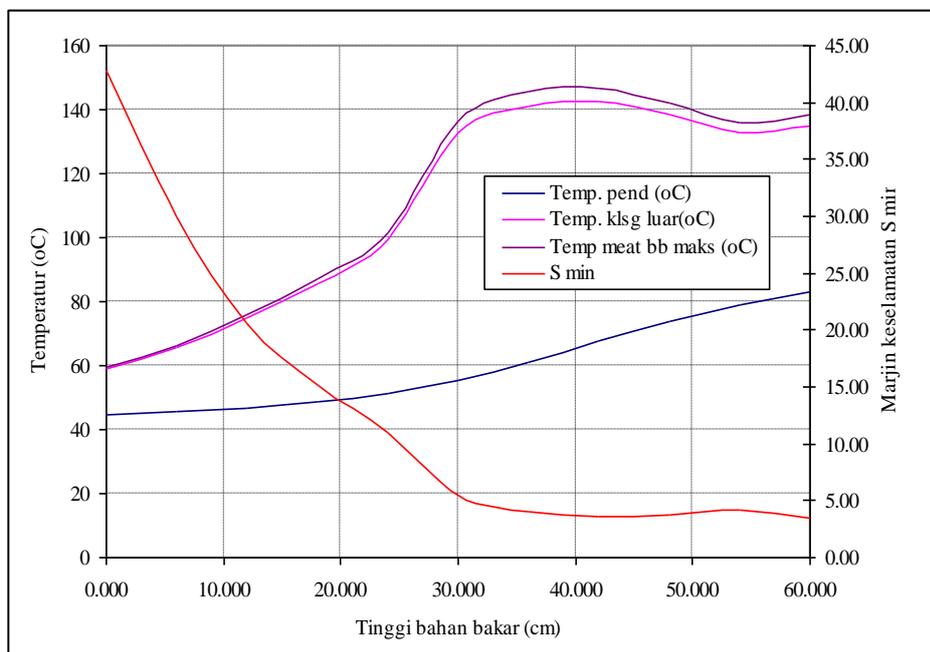


Gambar 2. Profil temperatur pada kanal terpanas, daya 30 MW

#### Kondisi tunak kanal terpanas

Kondisi terparah terjadi pada kanal terpanas. Analisis ini diperlukan untuk memperkirakan kondisi yang terparah yang mungkin terjadi, dengan memperhitungkan terdapat faktor ketidakpastian baik dari aspek fisika teras maupun teknis pada kanal tersebut. Hasil analisis pada kanal ini akan membatasi tingkat daya yang diijinkan.

Hasil perhitungan pada kanal terpanas bahan bakar silisida dengan tingkat muat 4,8 g U/cc ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar tersebut menunjukkan profil temperatur pendingin, kelongsong, bahan bakar dan margin keselamatan terhadap instabilitas aliran sepanjang kanal bahan bakar. Terdapat perbedaan temperatur yang cukup tinggi apabila dibandingkan dengan profil pada kanal rerata. Hal ini disebabkan karena dengan memperhitungkan faktor-faktor kanal panas dan ketidakpastian teknis (saat fabrikasi), fluks panas yang dibangkitkan menjadi 4,6 kali dibandingkan dengan nilai reratanya. Temperatur pendingin, kelongsong, bahan bakar dan margin keselamatan terparah masing-masing adalah sebesar 83,23°C, 142,31°C, 146,78°C dan 3,57. Dibandingkan dengan margin keselamatan yang terdapat pada Tabel 1, maka parameter pada kanal terpanas ini masih memenuhi batasan yang diperbolehkan. Laju alir pendingin yang melewati kanal masih mampu memindahkan panas yang dibangkitkan oleh bahan bakar silisida dengan tingkat muat 4,8 g U/cc.

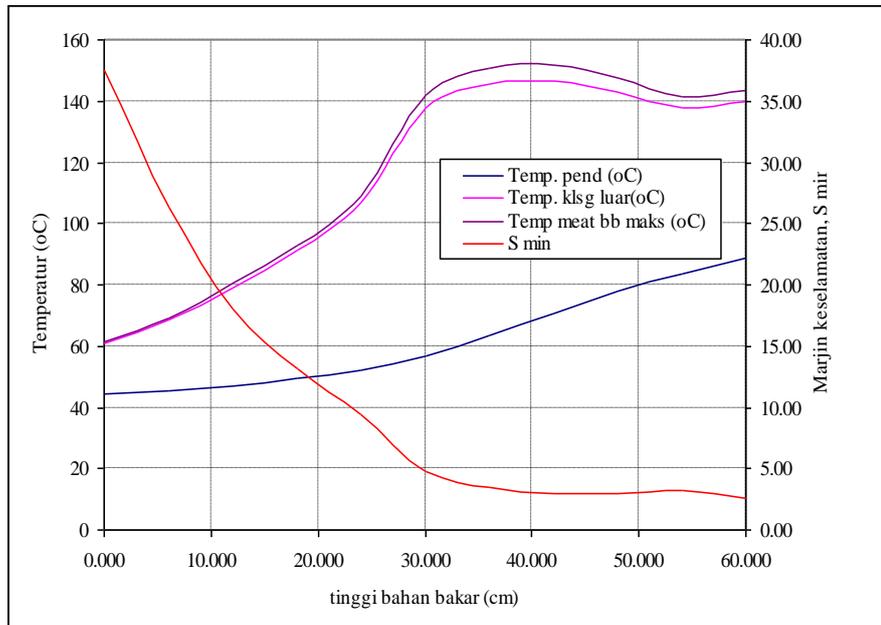


Gambar 3. Profil temperatur pada kanal rerata, daya 30 MW

***Kondisi tunak kanal terpanas daya lebih 34,2MW***

Untuk mengetahui kondisi kanal terpanas pada daya lebih disimulasikan daya reaktor mencapai 114% dari daya nominalnya atau sebesar 34,2 MW. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4. Parameter maksimum pada kanal terpanas untuk temperatur pendingin, kelongsong, bahan bakar dan margin keselamatan terparah masing-masing

adalah sebesar 88,64°C, 146,81°C, 150,58°C dan 2,93. Hasil perhitungan ini masih menggunakan laju alir sebesar 100% dari laju alir nominal.



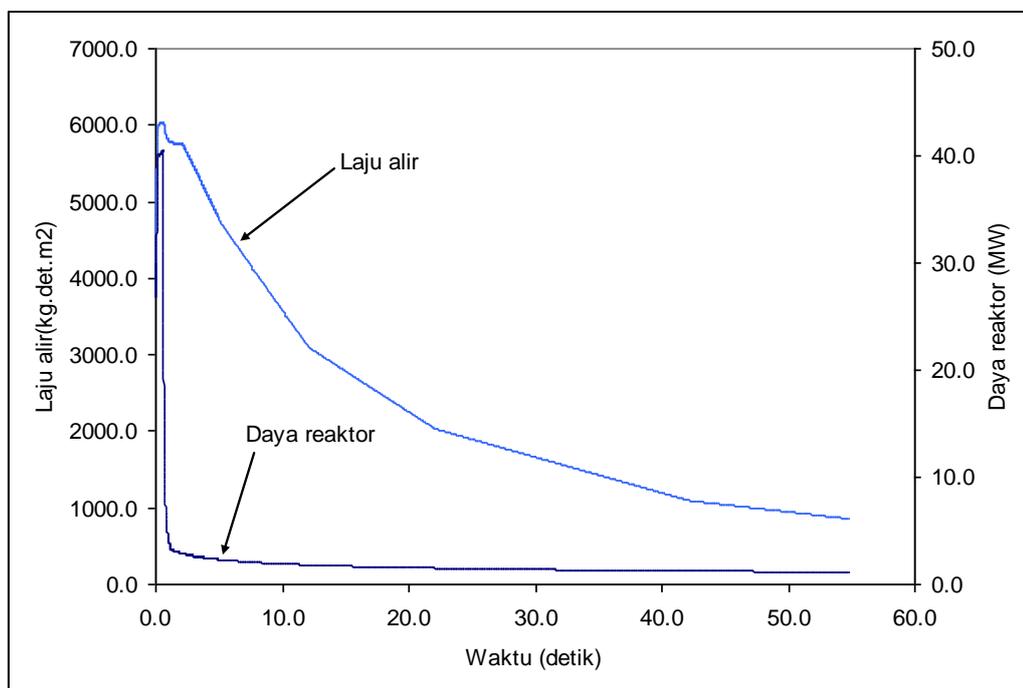
Gambar 4. Profil temperatur pada kanal terpanas, daya 34,2 MW

### Kondisi Transien LOFA

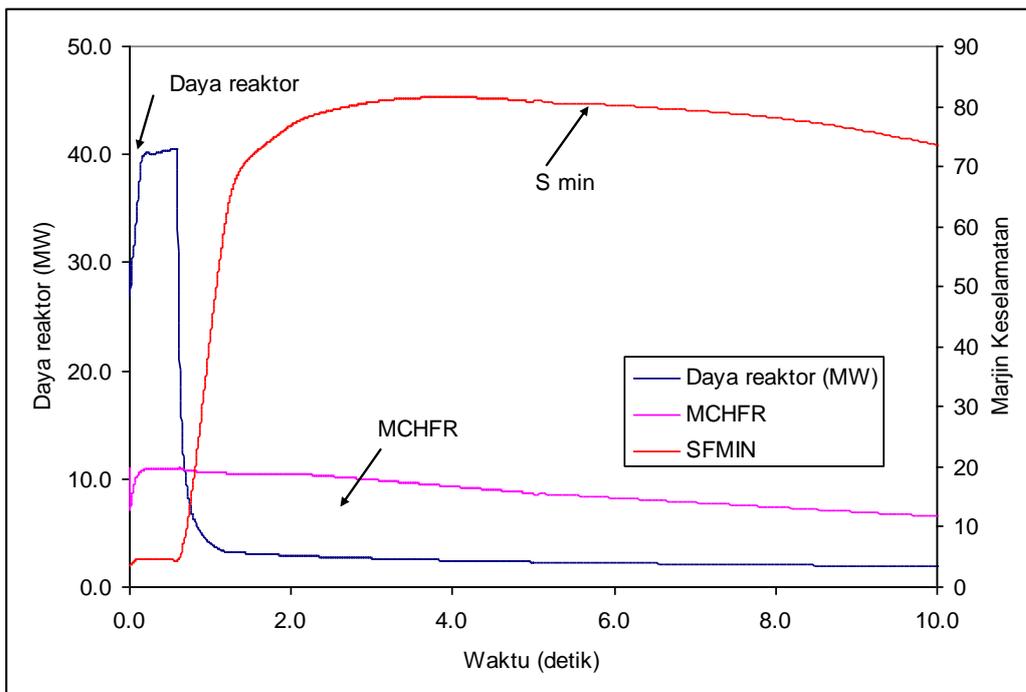
Analisis keselamatan teras reaktor RSG-GAS berbahan bakar silisida dengan tingkat muat 4,8 g U/cc saat transient diamati pada kecelakaan akibat kehilangan aliran pendingin primer (*LOFA=loss of flow accident*). Analisis transient jenis LOFA bertujuan untuk mengetahui karakteristik temperatur di kanal terpanas pada saat terjadinya kecelakaan akibat kanal tidak memperoleh kecukupan aliran pendingin. Analisis ini dilakukan dengan simulasi perhitungan dimana pompa pendingin primer disimulasi tidak dapat memasok/menyirkulasi pendingin. Kejadian tersebut dibatasi dengan reaktor padam secara otomatis apabila laju pendingin primer hanya 85% dari nilai nominalnya. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan profil penurunan laju pendingin primer (*coast down pump*) RSG-GAS yang diperoleh dari hasil eksperimen, demikian pula dengan nilai reaktivitas batang kendali sebagai fungsi tinggi penarikan.

Hasil perhitungan dengan menggunakan daya awal 30 MW dan asumsi reaktor telah dioperasikan selama 24 hari. Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa temperatur dan margin keselamatan pada saat awal transient merupakan kondisi terparah. Transien akibat kehilangan aliran pendingin (*LOFA*) menunjukkan reaktor mengalami *scram* pada saat aliran mencapai 85% dengan temperatur pendingin, kelongsong dan bahan bakar

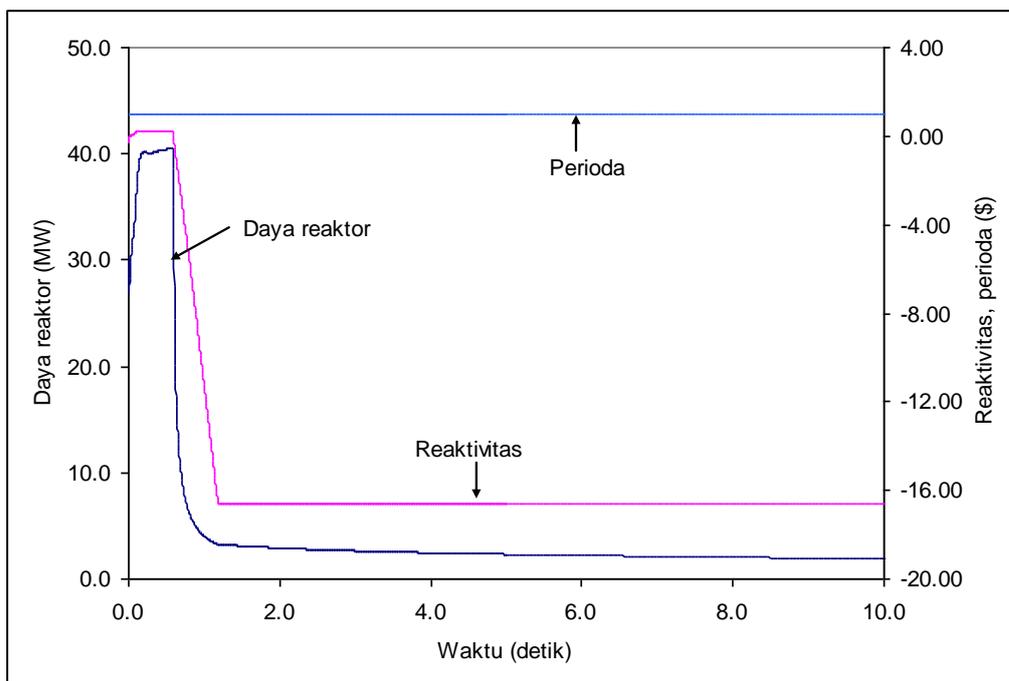
(*meat*) masing-masing mencapai 87,9°C, 156,3°C dan 172.1°C. Dibandingkan dengan batasan temperatur RSG-GAS berbahan oksida maka temperatur *meat* masih mampu menahan panas yang ditimbulkan mengingat bahan bakar uranium silisida mempunyai ketahanan panas yang lebih baik. Temperatur kelongsong ( $AlMg_2$ ) yang tidak berbeda antara bahan bakar oksida dan silisida telah melampaui batasan parameter tersebut di LAK. Kenaikan temperatur kelongsong ini disebabkan sifat konduksi bahan bakar silisida dan faktor pembangkitan daya yang lebih besar, pada kondisi telah terjadi dua fasa akibat pendidihan inti di beberapa titik akibat pendidihan inti. Demikian pula margin keselamatan mencapai 2,47. Nilai ini juga telah melampaui margin yang ditetapkan. Meskipun demikian kejadian ini berlangsung dengan sangat cepat karena reaktor langsung terproteksi dengan scram. Profil penurunan daya reaktor dan margin keselamatan pada saat transien terjadi pada detik-detik awal. Hasil perhitungan simulasi LOFA tersebut dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 5. Karakteristika daya reaktor dan laju alir saat LOFA



Gambar 6. Marjin keselamatan saat transien LOFA



Gambar 7. Transien reaktivitas saat LOFA

**KESIMPULAN**

Dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan pada desain teras alternatif RSG-GAS berbahan bakar silisida 4,8 g U/cc menunjukkan bahwa apabila reaktor RSG-GAS akan dioperasikan menggunakan bahan bakar jenis tersebut maka sebaiknya tidak

dioperasikan pada daya nominal 30 MW, melainkan harus direduksi dayanya.

### **Ucapan Terima kasih**

Terima kasih disampaikan kepada rekan-rekan Lily Suparlina, Surian pinem, Tagor MS, Pujianto MS, Suparjo yang telah memberikan masukan dan diskusi intensif sehingga penelitian ini selesai sesuai dengan rencana.

### **DAFTAR PUSTAKA**

1. Lily Suparlina dan Tagor M,S ,”Manajemen RSG-GAS Berbahan Bakar Silisida 4,8 g U/cc”, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklur Indonesia, Vol, **IV**, 4 Agustus 2003
2. Surian Pinem, Tagor Sembiring, Analisis Parameter Kinetik Teras Silisida Kerapatan 4,8 g U/cc RSG-GAS, Prosiding Hasil Penelitian P2TRR Tahun 2005, ISSN 0854-5278.
3. BATAN, *Safety Analysis Report of the Indonesian Multipurpose Reactor GA-Siwabessy*, Rev.8, Maret 1999.
4. WOODRUFF, W.L., 1984, “*A User Guide for the Current ANL Version of the PARET Code*”, NESC.
5. J.E. Matos and J.L. Snelgrove, IAEA Tec.Doc No. 643, *Research Reactor Core Conversion Guidebook*, RERTR Program, Argonne National Laboratory.
6. KAMINAGA, COOLOD-N : A Computer Code for the Analysis of Steady State Thermal Hydraulics in Plate Type Research Reactor, February 1994.