

ANALISIS TRANSIEN TERMOHIDROLIKA TERAS SILISIDA RSG-GAS AKIBAT HILANGNYA PENDINGIN PRIMER (LOFA)

Endiah Puji Hastuti

ABSTRAK

ANALISIS TRANSIEN TERMOHIDROLIKA TERAS SILISIDA RSG-GAS AKIBAT HILANGNYA PENDINGIN PRIMER (LOFA). Analisis terhadap disain termohidrolika teras silisida RSG-GAS pada kondisi transien dilakukan sesuai dengan model *design basic accident*. LOFA diasumsikan terjadi ketika laju alir pendingin berkurang hingga mencapai batas minimum yang mengakibatkan sistem proteksi reaktor bekerja. Analisis dilakukan dengan cara membuat pemodelan disain teras dalam bentuk pembagian kanal sesuai dengan faktor distribusi radial teras silisida. Selanjutnya perhitungan dilakukan dengan menggunakan paket program EUREKA-2/RR. Titik berat analisis dilakukan untuk mempelajari karakteristik keselamatan termohidrolika segera setelah reaktor scram karena sinyal akibat kurangnya laju alir dan setelah terjadi aliran balik akibat terbukanya katup sirkulasi alam. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada saat terjadi LOFA, scram terjadi 2,95 detik setelah awal kecelakaan. Suhu maksimum *meat*, kelongsong dan suhu keluaran pendingin pada kanal terpanas masing-masing adalah 147,83°C, 142,39°C dan 46,5°C dan DNBR minimum sebesar 1,16. Katup sirkulasi alam membuka pada detik ke 67,82 setelah awal scram terjadi. Suhu *meat* maksimum dan suhu kelongsong maksimum terjadi 73,10 detik setelah scram. Suhu maksimum pendingin keluar teras mencapai 78,36°C ketika 70,40 detik setelah scram dan DNBR minimum sebesar 1,74.

ABSTRACT

THERMAL HYDRAULICS TRANSIENT ANALYSIS FOR THE RSG-GAS CORE DESIGN DUE TO LOFA. Analysis for the thermal hydraulic silicide core design has been carried out as a design basic accident model. LOFA is assume to be occur while the primary flow rate reached to the minimal value, the signal will be initiated reactor protection system to work. The calculation model was developed by divided the core into channel group according with the silicide radial peaking factors. And then the analysis done by using EUREKA-2/RR program. The accident sequence has two important thermal hydraulic behaviors from safety point of view. One just after the reactor scram and the other is after natural circulation flaps open. The analysis results show that the reactor scram takes place 2.95 sec after the accident initiated. The fuel meat maximum temperature, fuel surface temperature and hot channel outlet coolant temperature each are 147.83°C, 142.39°C and 46.5°C, respectively, and the minimum DNBR is 1.16. The natural circulation flaps was opened at 67.82 second after the scram initiation time. The fuel meat and cladding reached to the maximum temperature 132.06°C and 131.21°C, respectively at 73.10 second after scram initiation. The maximum coolant outlet temperature reaches 78.36°C at 70.40 second and the minimum DNBR is 1.74.

PENDAHULUAN

Untuk mendukung rencana penggantian elemen bakar RSG-GAS dari

jenis oksida, U_3O_8 menjadi jenis silisida, U_3Si_2 perlu adanya jaminan keselamatan, salah satu diantaranya adalah dari segi termohidrolika. Jaminan keselamatan

yang diperoleh dengan cara menganalisis keselamatan teras reaktor tersebut selanjutnya akan digunakan sebagai data dukung, guna memperoleh ijin pengoperasian reaktor dari BAPETEN.

Hasil perhitungan neutronik yang dilakukan oleh Liem PH. dkk.^[1] menunjukkan kelayakan pemakaian elemen bakar silisida di teras RSG-GAS dengan tingkat muat 3,55 gU/cm³ dan 4,15 gU/cm³. Konversi ini akan memperpanjang waktu tinggal elemen bakar di teras, dari 25 hari (tingkat muat 2,96 gU/cm³) menjadi masing-masing 32 hari dan 37 hari. Dari analisis mengenai strategi konversi elemen bakar, pada tahap pertama direncanakan akan dilakukan konversi elemen bakar teras dari bahan bakar oksida dengan tingkat muat 2,96 gU/cm³ menjadi bahan bakar silisida dengan tingkat muat 3,55 gU/cm³.

Perhitungan dan analisis termohidrolika elemen bakar silisida dengan tingkat muat 3,55 gr U/cm³ (300 gr U-235 per elemen bakar), pada kondisi tunak (*steady state*) telah selesai dilakukan. Analisis tersebut dikerjakan berdasarkan hasil perhitungan Neutronik pada tingkat muat tersebut. Selain analisis keselamatan termohidrolika teras pada kondisi tunak, diperlukan pula jaminan keselamatan pada saat transien. Analisis karakteristik termohidrolika teras silisida RSG-GAS pada saat transien, dilakukan dengan model *design basic accident*. Kecelakaan akibat LOFA diasumsikan terjadi ketika laju alir pendingin berkurang hingga mencapai batas minimum, yang mengakibatkan sistem proteksi reaktor bekerja^[2]. Analisis dilakukan dengan cara membuat pemodelan disain teras dalam bentuk pembagian kanal sesuai dengan faktor distribusi radial teras silisida. Selanjutnya perhitungan dilakukan dengan menggunakan paket program EUREKA-2/RR.

Titik berat analisis dilakukan untuk mempelajari dua kondisi kritis karakteristik keselamatan termohidrolika. Pertama adalah kondisi yang terjadi segera setelah reaktor *scram* (trip), karena sinyal akibat kurangnya laju alir, dan kondisi kritis kedua yaitu ketika terjadi aliran balik akibat terbukanya katup sirkulasi alam.

TEORI

Deskripsi Program

Program EUREKA-2/RR dikembangkan oleh *Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)*. Program ini digunakan untuk menganalisis kondisi kecelakaan transien yang terjadi pada reaktor berbahan bakar pelat yang dioperasikan dengan suhu dan tekanan rendah, seperti RSG-GAS^[3]. Program EUREKA-2/RR dilengkapi dengan kemampuan untuk menganalisis kondisi transien dari segi neutronik, karakteristik termohidrolika dan kecelakaan akibat penyesipan reaktivitas transien.

Pada analisis model, teras dapat dibagi dalam beberapa daerah (*region*) dimana setiap daerah memiliki pembangkitan panas, laju alir massa pendingin dan parameter hidrolika tersendiri. Daya reaktor dapat dihitung dari persamaan kinetika reaktor titik (*point kinetic reactor*) dengan umpan balik reaktivitas. Model perpindahan panas diselesaikan dengan pemecahan persamaan konduksi panas metode satu dimensi gayut waktu. Selain itu EUREKA-2/RR juga dilengkapi dengan korelasi perpindahan panas dengan rasio fluks panas pada akhir pendidihan inti (DNBR).

TATA KERJA/PEMODELAN

Untuk menganalisis kondisi transien laju alir akibat kehilangan

pendingin primer (LOFA), elemen bakar di teras RSG-GAS dikelompokkan menjadi 5 daerah berdasarkan nilai faktor puncak daya yang dimiliki oleh setiap posisi. Posisi-posisi iradiasi tidak termasuk di dalamnya. Setiap daerah tersebut dibagi lagi menjadi masing-masing sepuluh posisi aksial yang berupa lempeng panas (*heat slab*). Salah satu daerah yang merupakan kanal terpanas (*hot channel region*), mewakili kondisi terburuk dari seluruh posisi di teras. Pada perhitungan fluks panas pada kanal terpanas tersebut, digunakan faktor puncak daya aksial dan radial maksimum. Selain faktor faktor nuklir digunakan pula faktor ketidakpastian teknis (*engineering factors*) di kanal tersebut. Untuk memperoleh analisis yang teraman maka dalam pemodelan LOFA ini umpan balik reaktivitas tidak diperhitungkan.

Pembangkitan daya reaktor pada analisis disain teras silisida dianggap seluruhnya berasal dari elemen bakar.
Data Masukan yang Digunakan

Tabel 1 Sifat-sifat fisis pelat elemen bakar

PARAMETER	BAHAN BAKAR	KELONGSONG
Densitas, g/cm ³	5,67	2,70
Kapasitas Panas, kcal/m ³ °C	391,57(10°C)	326,85(10°C)
	409,67(100°C)	426,85(100°C)
	449,88(1000°C)	526,85(1000°C)
Konduktivitas Panas, kcal/m.jam.°C	74,81	185,73

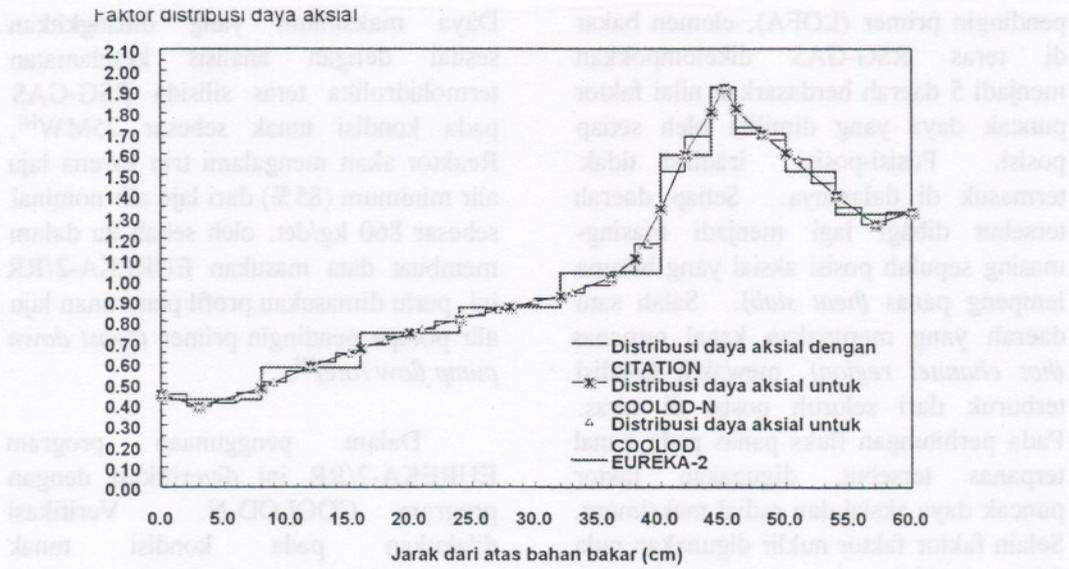
Distribusi daya aksial

Distribusi daya aksial teras silisida RSG GAS dihitung dengan menggunakan program perhitungan neutronik 3 dimensi

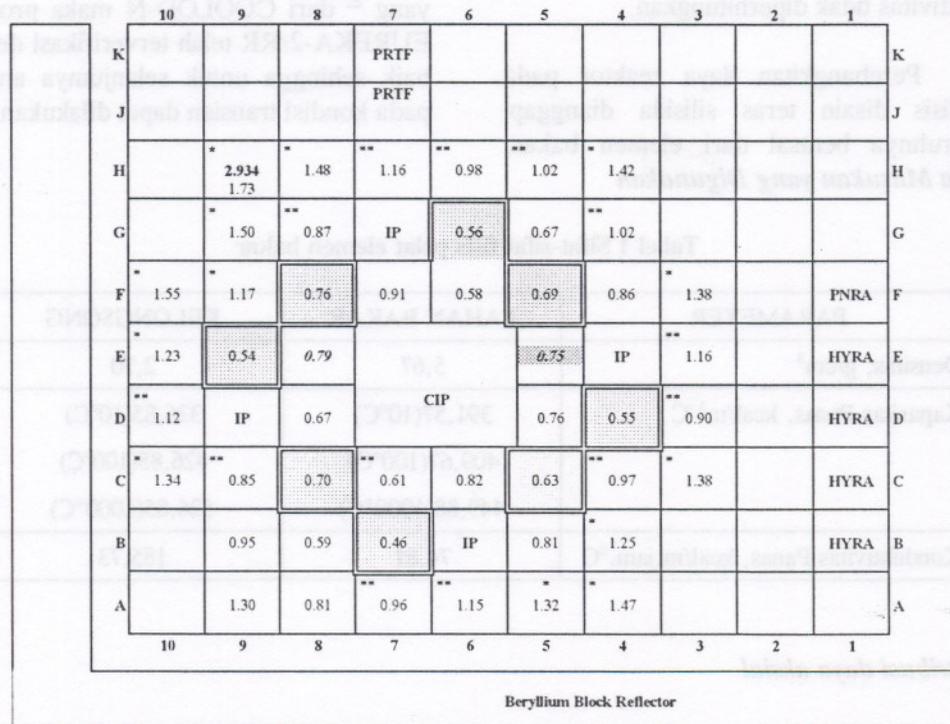
Daya maksimum yang dibangkitkan sesuai dengan analisis keselamatan termohidrolika teras silisida RSG-GAS pada kondisi tunak sebesar 25MW^[1]. Reaktor akan mengalami trip karena laju alir minimum (85%) dari laju alir nominal sebesar 860 kg/det. oleh sebab itu dalam membuat data masukan EUREKA-2/RR ini, perlu dimasukan profil penurunan laju alir pompa pendingin primer (*coast down pump flow rate*)^[2].

Dalam penggunaan program EUREKA-2/RR ini diverifikasi dengan program COOLOD-N. Verifikasi dilakukan pada kondisi tunak menggunakan asumsi kanal terpanas. Apabila suhu maksimum bahan bakar, kelongsong dan pendingin yang dihitung dengan EUREKA-2/RR memberikan hasil yang \geq dari COOLOD-N maka program EUREKA-2/RR telah terverifikasi dengan baik sehingga untuk selanjutnya analisis pada kondisi transien dapat dilakukan ^[3].

BATAN-3DIF[1]. Data yang terbagi dalam nodalisasi aksial tersebut kemudian diubah dalam bentuk undak, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Distribusi daya aksial pada perhitungan teras Silisida RSG-GAS



- * : Kanal nomor 1 (Hot channel),
- * : Kanal nomor 2,
- ** : Kanal nomor 3) tanpa bayangan
- : Kanal nomor 4, dengan bayangan
- : Kanal nomor 5 (elemen kendali)

Gambar 2. Pembagian faktor puncak daya radial teras Silisida RSG-GAS

Distribusi daya radial

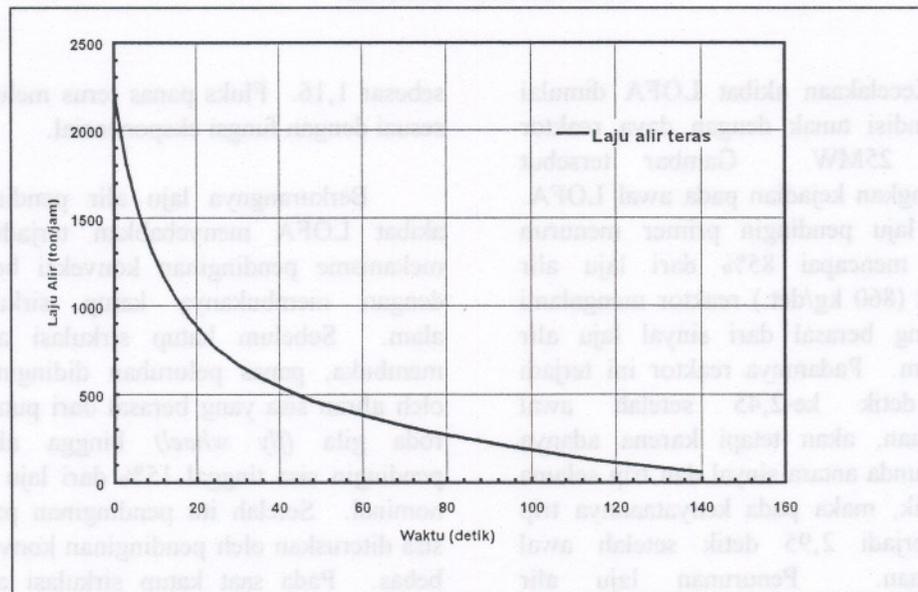
Faktor puncak daya radial elemen bakar dan elemen kendali yang dihitung dengan program perhitungan BATAN-3DIF, dibagi dalam 5 kelompok. FA dan FR tertinggi berlokasi di H9 berisi 1 pelat pendingin dan satu kanal pendingin. Elemen kendali dimasukkan dalam 1 kelompok dan elemen bakar sisanya dibagi ke dalam 3 kelompok seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

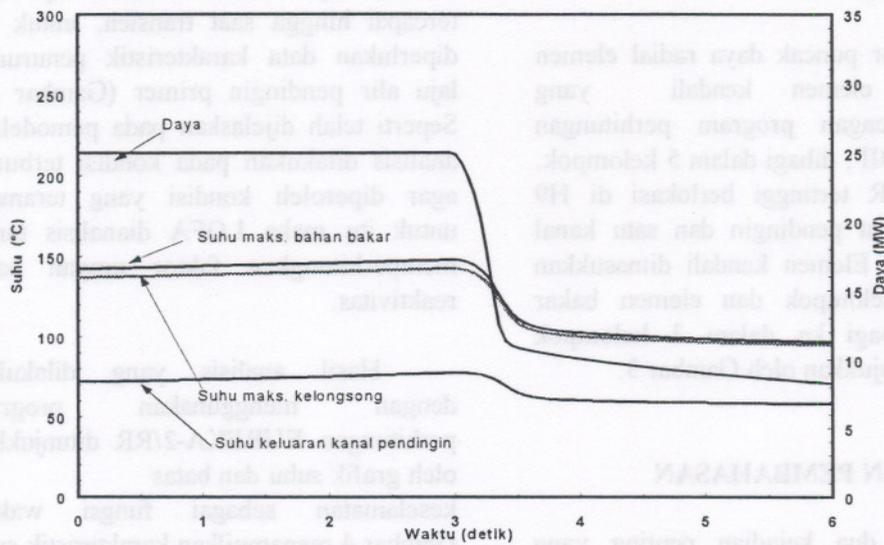
Ada dua kejadian penting yang perlu diamati pada analisis kecelakaan akibat LOFA yaitu: segera setelah reaktor trip/terpancung dan pada saat katup sirkulasi alam membuka. Analisis

dimulai sejak kondisi tunak laju alir tercapai hingga saat transien, untuk itu diperlukan data karakteristik penurunan laju alir pendingin primer (Gambar 3). Seperti telah dijelaskan pada pemodelan, analisis dilakukan pada kondisi terburuk agar diperoleh kondisi yang teraman, untuk itu maka LOFA dianalisis tanpa memperhitungkan faktor umpan balik reaktivitas.

Hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan program perhitungan EUREKA-2/RR ditunjukkan oleh grafik suhu dan batas keselamatan sebagai fungsi waktu. Gambar 4 menampilkan karakteristik suhu pendingin dan kelongsong elemen bakar pada saat awal terjadinya kecelakaan sebagai fungsi waktu



Gambar 3. Kurva penurunan laju alir pendingin primer teras RSG-GAS.



Gambar 4. Karakteristik kanal terpanas pada disain teras Silisida RSG-GAS Pada saat awal kecelakaan

Kecelakaan akibat LOFA dimulai saat kondisi tunak dengan daya reaktor sebesar 25MW. Gambar tersebut menerangkan kejadian pada awal LOFA. Ketika laju pendingin primer menurun hingga mencapai 85% dari laju alir nominal (860 kg/det.) reaktor mengalami trip yang berasal dari sinyal laju alir minimum. Padamnya reaktor ini terjadi pada detik ke-2,45 setelah awal kecelakaan, akan tetapi karena adanya waktu tunda antara sinyal dan trip selama 0,5 detik, maka pada kenyataannya trip baru terjadi 2,95 detik setelah awal kecelakaan. Penurunan laju alir mengakibatkan pendinginan elemen bakar berkurang selama kurun waktu tersebut, sehingga meningkatkan suhu pendingin maupun elemen bakar, yang merupakan kondisi kritis pertama. Suhu bahan bakar (*meat*), suhu kelongsong dan suhu keluaran kanal pendingin masing-masing adalah 147,83°C, 142,39°C dan 46,5°C. Nilai rasio akhir pendidihan inti minimum pada saat reaktor trip adalah

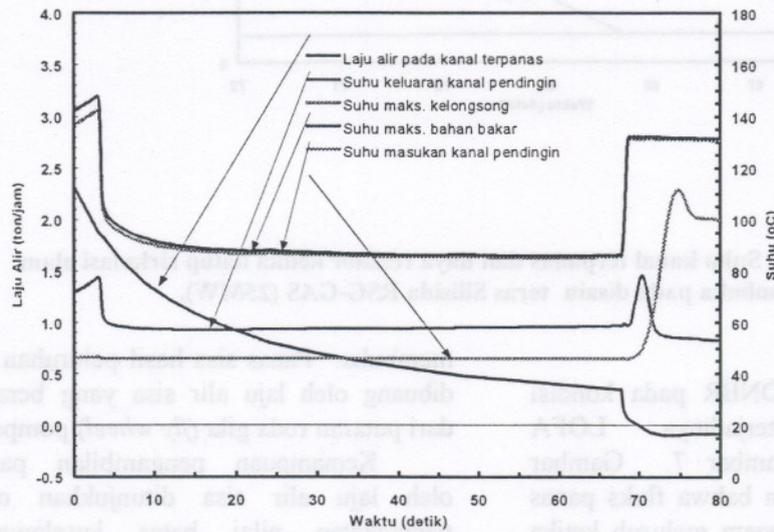
sebesar 1,16. Fluks panas terus meluruh sesuai dengan fungsi eksponensial.

Berkurangnya laju alir pendingin akibat LOFA menyebabkan terjadinya mekanisme pendinginan konveksi bebas dengan membukanya katup sirkulasi alam. Sebelum katup sirkulasi alam membuka, panas peluruhan didinginkan oleh aliran sisa yang berasal dari putaran roda gila (*fly wheel*) hingga aliran pendingin sisa tinggal 15% dari laju alir nominal. Setelah itu pendinginan panas sisa diteruskan oleh pendinginan konveksi bebas. Pada saat katup sirkulasi alam membuka maka terjadi aliran balik, terbukanya katup sirkulasi alam terjadi pada detik ke-67,82 setelah awal reaktor trip. Pendinginan elemen bakar yang semula berlangsung dengan mekanisme konveksi paksa dari atas ke bawah berubah menjadi pendinginan konveksi bebas, yang berlangsung dari bawah ke atas. Aliran pendingin di dalam kanal menjadi terhenti sesaat. Setelah gaya

apung dari pendinginan konveksi bebas tersebut mampu mengatasi gaya dorong yang tersisa dari aliran pendinginan konveksi paksa, maka pendinginan berlangsung dari bawah ke atas. Meskipun daya reaktor meluruh pada saat transien, akan tetapi aliran pendingin yang sempat terhenti sesaat, telah menyebabkan suhu kelongsong dan bahan bakar serta

pendingin meningkat kembali. Keadaan ini merupakan kondisi kritis kedua.

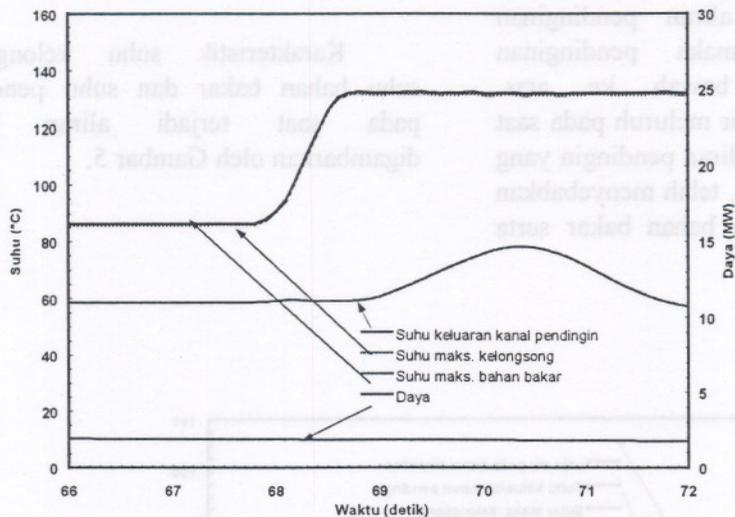
Karakteristik suhu kelongsong, suhu bahan bakar dan suhu pendingin pada saat terjadi aliran balik, digambarkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Karakteristik kanal terpanas dan laju alir saat transien pada disain teras Silisida RSG-GAS.

Pada detik ke-73,10 suhu bahan bakar dan kelongsong masing-masing mencapai suhu maksimum sebesar $132,06^{\circ}\text{C}$ dan $131,21^{\circ}\text{C}$. Suhu pendingin maksimum sebesar $78,36^{\circ}\text{C}$ tercapai pada detik ke-70,40 setelah awal trip dan nilai rasio akhir pendidihan inti sebesar 1,74. Setelah kondisi kritis kedua ini tercapai,

berangsur-angsur suhu kanal terpanas menurun kembali dan mencapai kondisi setimbang. Kronologi kecelakaan akibat hilangnya pendingin primer secara keseluruhan sejak kondisi tunak hingga kondisi setimbang setelah katup sirkulasi alam membuka, ditunjukkan oleh Gambar 6

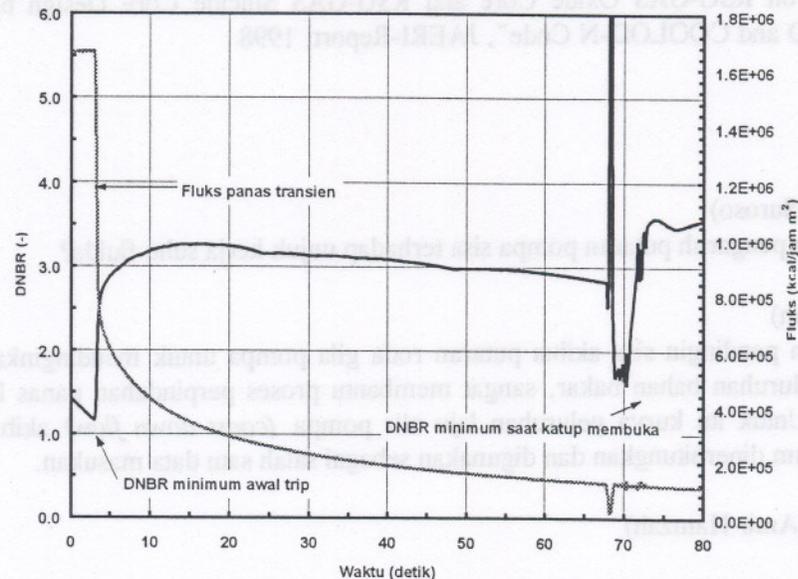


Gambar 6. Suhu kanal terpanas dan daya reaktor ketika katup sirkulasi alam membuka pada disain teras Silisida RSG-GAS (25MW).

Karakteristik DNBR pada kondisi tunak hingga terjadinya LOFA ditunjukkan oleh Gambar 7. Gambar tersebut menunjukkan bahwa fluks panas yang dibangkitkan segera meluruh ketika reaktor mengalami trip karena sinyal laju alir minimum. Pada saat yang sama batas keselamatan terhadap DNBR mencapai nilai minimum 1,16. Fluks panas pada kondisi transien terus meluruh secara eksponensial sebagai fungsi waktu, hingga reaktor mengalami kondisi kesetimbangan kedua setelah katup sirkulasi alam

membuka. Panas sisa hasil peluruhan ini dibuang oleh laju alir sisa yang berasal dari putaran roda gila (*fly wheel*) pompa.

Kemampuan pengambilan panas oleh laju alir sisa ditunjukkan oleh peningkatan nilai batas keselamatan DNBR. Sesaat ketika terjadi aliran balik karena terbukanya katup sirkulasi alam, nilai batas keselamatan mengalami osilasi dan mencapai nilai minimum 1,74. Pengambilan panas peluruhan oleh aliran balik ternyata meningkatkan nilai batas DNBR ke tingkat yang lebih aman.



Gambar 7. Nilai DNBR dan fluks panas transien pada LOFA disain teras Silisida RSG-GAS (25MW).

Ditinjau dari batasan keselamatan suhu maupun batas keselamatan terhadap rasio akhir pendidihan inti, maka kondisi kritis pertama yang terjadi sesaat setelah reaktor mengalami trip, lebih berbahaya daripada setelah terjadi aliran balik. Hal ini disebabkan karena kemampuan pengambilan fluks panas sisa pada awal trip, dimana daya reaktor sisa masih besar (sebagai fungsi waktu), lebih kecil apabila dibandingkan dengan kemampuan pengambilan panas sisa saat katup sirkulasi alam membuka. Meskipun demikian kondisi kritis pertama ini masih menunjukkan kondisi keselamatan yang mencukupi.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis transien yang dilakukan terhadap keselamatan reaktor akibat kehilangan pendingin primer (LOFA) pada disain teras silisida, diperoleh kesimpulan sebagai berikut: kondisi kritis pertama yang terjadi sesaat setelah reaktor mengalami trip merupakan kondisi yang terburuk dari rangkaian kondisi transien akibat LOFA. Karakteristik termohidrolika dan nilai rasio akhir pendidihan inti, disain teras silisida RSG-GAS akibat LOFA, masih memenuhi batas kriteria keselamatan yang dipersyaratkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. LIEM PENG HONG, BAKRI ARBIE, T.M. SEMBIRING, PRAYOTO, "Fuel Management Strategy for the New Equilibrium Silicide Core Design of RSG-GAS (MPR-30)", Nuclear, Eng and Design, No. 180 pg. 207-219, 1998.
2. Anonym, "Safety Analysis Report of the Indonesian Multipurpose Reactor GA-Siwabessy", Rev.7, BATAN, Sept. 1989.

3. N.OHNISHI,et.al., "EUREKA-2/RR: A Computer code for the Reactivity Accident Analysis in a Water Cooled Reactor", JAERI-M-84-074, 1984.
4. ENDIAH PUJI HASTUTI and MASANORI KAMINAGA, "Blockage Channel Analysis on RSG-GAS Oxide Core and RSG-GAS Silicide Core Design by Using COOLOD and COOLOD-N Code", JAERI-Report, 1998

DISKUSI

Pertanyaan (Suroso)

Seberapa jauh pengaruh putaran pompa sisa terhadap unjuk kerja suhu fluida?

Jawab (Endiah)

Adanya aliran pendingin sisa akibat putaran roda gila pompa untuk mendinginkan panas sisa hasil peluruhan bahan bakar, sangat membantu proses perpindahan panas ke fluida pendingin. Untuk itu kurva peluruhan laju alir pompa (*coast down flow*) akibat sinyal aliran minimum diperhitungkan dan digunakan sebagai salah satu data masukan.

Pertanyaan (Amir Hamzah)

1. Mengapa reaktivitas feed back tidak diperhitungkan, kalau dilihat dari grafik terlihat bahwa terjadi penambahan temperatur yang cukup tinggi yang berarti reaktivitas temperatur cukup besar dimana ini menjadikan reaktivitas feedback.
2. Mengenai kesimpulan pertama, bagaimana unjuk kerja elemen bakar silisida, apa masih aman? Dan bagaimana bila dibandingkan dengan Oksida.

Jawab: (Endiah)

1. Seperti diketahui umpan balik reaktivitas akan memberikan pengaruh pada daya reaktor. Daya reaktor saat transien justru menjadi lebih rendah apabila umpan balik reaktivitas diperhitungkan sehingga marjin/batas keselamatannya menjadi besar. Sedangkan analisis keselamatan bertujuan untuk mencapai kondisi *severe accident*, oleh sebab itu umpan balik reaktivitas tidak diperhitungkan.
2. Unjuk kerja elemen bakar silisida yang terjadi segera setelah reaktor trip (kondisi kecelakaan terburuk pada awal kecelakaan), setelah reaktor berbahan bakar silisida yang dioperasikan pada daya 25MW, masih memenuhi kriteria marjin/batas keselamatan yang diperbolehkan. Secara umum apabila dibandingkan dengan teras oksida maka marjin keselamatan teras silisida dari segi termohidrolika, lebih baik.