

ANALISIS TERMOHIDROLIKA TERAS SILISIDA RSG-GAS PADA KONDISI KATUP ISOLASI TERTUTUP

Endiah Puji Hastuti *)

ABSTRAK

ANALISIS TERMOHIDROLIKA TERAS SILISIDA RSG-GAS PADA KONDISI KATUP ISOLASI TERTUTUP. Rencana penggantian elemen bakar RSG-GAS dari jenis oksida dengan tingkat muat $2,96 \text{ gr U/cm}^3$ menjadi silisida dengan tingkat muat $3,55 \text{ gr U/cm}^3$, memerlukan berbagai analisis jaminan keselamatan tak terkecuali dari segi termohidrolika. Jaminan keselamatan itu dilakukan melalui berbagai analisis termohidrolika dan dikerjakan berdasarkan urutan kecelakaan pada Bab 15 SAR-RSG-GAS. Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik termohidrolika teras silisida RSG-GAS, pada kondisi transien akibat tertutupnya katup isolasi primer tanpa sengaja. Analisis dikerjakan dengan bantuan paket program EUREKA 2/RR pada kondisi terparah di kanal terpanas. Analisis ini memerlukan kurva coast down pump. Kurva tersebut dibuat dengan asumsi empat puluh detik setelah trip masih tersedia LA sebanyak 16% dan 70 detik setelah trip LA berhenti sama sekali. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan LA ke teras, dengan asumsi adanya superposisi antara tertutupnya katup isolasi primer dan terjadinya penurunan LA pompa, sistem pendingin primer masih mampu menyediakan pendinginan yang mencukupi, sebelum terjadi pendinginan konveksi bebas.

ABSTRACT

THERMOHYDROLIC ANALYSIS OF THE SILICIDE CORE OF MPR-30 UNDER THE CLOSED ISOLATION VALVE CONDITION. The RSG-GAS fuel element conversion program from oxide with $2,96 \text{ gr U/cm}^3$, to silicide with $3,55 \text{ gr U/cm}^3$, fuel loading, is needed accidents analyzed from many kinds of view, not except from thermal hydraulic aspect. The safety assurance was done by various thermal hydraulic analyses and employed based on design basic accident sequence on RSG-GAS safety analysis report, chapter 15. The purpose of this accident analysis is to obtain the thermal hydraulic characteristic of the RSG-GAS silicide core in the transient condition due to inadvertent closure of the primary isolation valve. Using EUREKA-2/RR computer code, this accident did analysis in the worst case condition on hot channel. This analysis needed coast down pump profil. The curve is made by assumption an adequately high flow through the core (16% of the rated value) is still available 40s after scram and become zero at 70s after scram. By superposition assumption between closure of the primary isolation valve and the reduction of the pump flow rate, the results show that due to the flow reduction to the core before free convection occurred, the valve closure accident will be covered safely.

*) Peneliti di BPTR-P2TRR, Batan

PENDAHULUAN

Rencana BATAN untuk mengkonversi elemen bakar RSG-GAS semakin pasti, terlihat dari RENSTRA BATAN dan SARLITA P2TRR. Dalam program tersebut konversi hanya dilakukan pada jenis dan tingkat muat bahan bakar (*meat*) dan tidak ada perubahan mendasar pada sistem reaktor. Untuk mendukung rencana penggantian elemen bakar RSG-GAS dari jenis oksida dengan tingkat muat $2,96 \text{ gr U/cm}^3$ (250 gr U-235 per elemen bakar) menjadi silisida dengan tingkat muat $3,55 \text{ gr U/cm}^3$ (300 gr U-235 per elemen bakar), diperlukan adanya jaminan keselamatan dari segi termohidrolika. Jaminan keselamatan itu dilakukan melalui berbagai analisis termohidrolika dan dikerjakan berdasarkan urutan kecelakaan pada Bab 15 SAR RSG-GAS. Analisis yang diperoleh dari hasil perhitungan tersebut perlu dilakukan untuk memperoleh ijin pengoperasian reaktor dari pihak yang berwenang (BAPETEN).

Pada penelitian yang lalu, telah berhasil diperoleh analisis transien karakteristik termohidrolika teras silisida pada saat terjadi LOFA^[1]. Selain itu dalam pembuatan laporan analisis keselamatan (LAK) juga mensyaratkan dibuatnya analisis mengenai kecelakaan yang diakibatkan oleh tertutupnya katup isolasi primer, sesuai dengan *design basic accident*. Sebagai kelanjutan penelitian yang telah dilakukan maka pada makalah ini akan dipaparkan hasil analisis dari model kecelakaan tersebut.

Pipa masukan dan keluaran sistem pendingin primer dilengkapi dengan dua buah katup isolasi secara *redundant* yang terletak di ruang katup. Pada kasus kecelakaan yang diakibatkan oleh karena terjadinya kebocoran pada sistem pendingin primer, waktu menutupnya katup tersebut harus dapat membatasi jumlah air yang keluar dari kolam reaktor. Sebaliknya apabila katup isolasi primer tiba-tiba menutup tanpa dikehendaki/tanpa sengaja, ketika reaktor sedang beroperasi pada daya nominal, maka laju alir (LA) pendingin primer ke teras perlahan-lahan akan berkurang dan akhirnya terhenti sama sekali. Analisis yang dilakukan di sini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik termohidrolika teras silisida RSG-GAS pada kondisi transien akibat tertutupnya katup isolasi primer tersebut. Analisis dikerjakan dengan bantuan paket program EUREKA-2/RR dengan menggunakan salah satu data masukan dari hasil perhitungan program DUST tentang penentuan kurva penurunan laju alir pendingin primer akibat tertutupnya katup isolasi pendingin primer tanpa sengaja.

TEORI

Program EUREKA-2/RR

EUREKA-2/RR adalah suatu paket program yang dikembangkan oleh *Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)*. Program ini digunakan untuk menganalisis karakteristik transien akibat kecelakaan termohidrolika dan reaktivitas pada teras reaktor riset berbahan bakar pelat, yang dioperasikan pada tekanan dan suhu rendah. Program perhitungan EUREKA-2/RR dilengkapi dengan persamaan-persamaan untuk menyelesaikan perhitungan kondisi transien dari segi netronik, karakteristik kecelakaan termohidrolika akibat hilangnya pendingin primer dan kecelakaan karena penyisipan reaktivitas^[2].

Program perhitungan EUREKA-2/RR menyelesaikan persamaan kesetimbangan massa dan energi, di mana dalam setiap volume dianggap terdiri dari fluida homogen satu dimensi, yang berisi fase uap dan fase cair dalam kesetimbangan termodinamika.

EUREKA-2/RR memerlukan data masukan khusus untuk menyelesaikan persamaan-persamaan kesetimbangan massa, momentum dan energi pada setiap volume dan *junction*. Untuk itu program ini dilengkapi dengan *subroutine* sebagai berikut:

1. DISSUE-3 : untuk menghitung faktor distribusi daya dan efek umpan balik reaktivitas, dimana masukan distribusi daya merupakan hasil perhitungan neutronik yang terlepas dari EUREKA-2/RR.
2. ICETEA-1 : digunakan untuk menghitung distribusi suhu pendingin pada setiap nodalisasi lempeng panas (*heat slab*).
3. PREDISCO-1 : untuk menghitung distribusi tekanan di dalam kanal pendingin.

SIMULASI MODEL KECELAKAAN

Simulasi kecelakaan kehilangan pendingin primer yang disebabkan oleh karena penutupan katup isolasi primer yang menutup secara tidak sengaja dimodelkan sebagai berikut. Pada saat teras reaktor yang berbahan bakar silisida sedang beroperasi pada kondisi tunak dengan daya $25\text{MW}^{[3]}$, tiba-tiba salah satu katup isolasi pendingin primer menutup tanpa sengaja. Kejadian yang mengakibatkan penurunan laju alir yang sangat lambat ini semula tidak diketahui, sampai kemudian terjadi trip dengan waktu tunda tertentu setelah/akibat adanya sinyal "laju alir massa di dalam sistem pendingin primer < 90%". Segera setelah katup mulai menutup, penurunan laju alir teras akan semakin cepat sebagai akibat adanya *coasting down pump*, yang diefektifkan oleh sistem proteksi kavitasi pompa^[4].

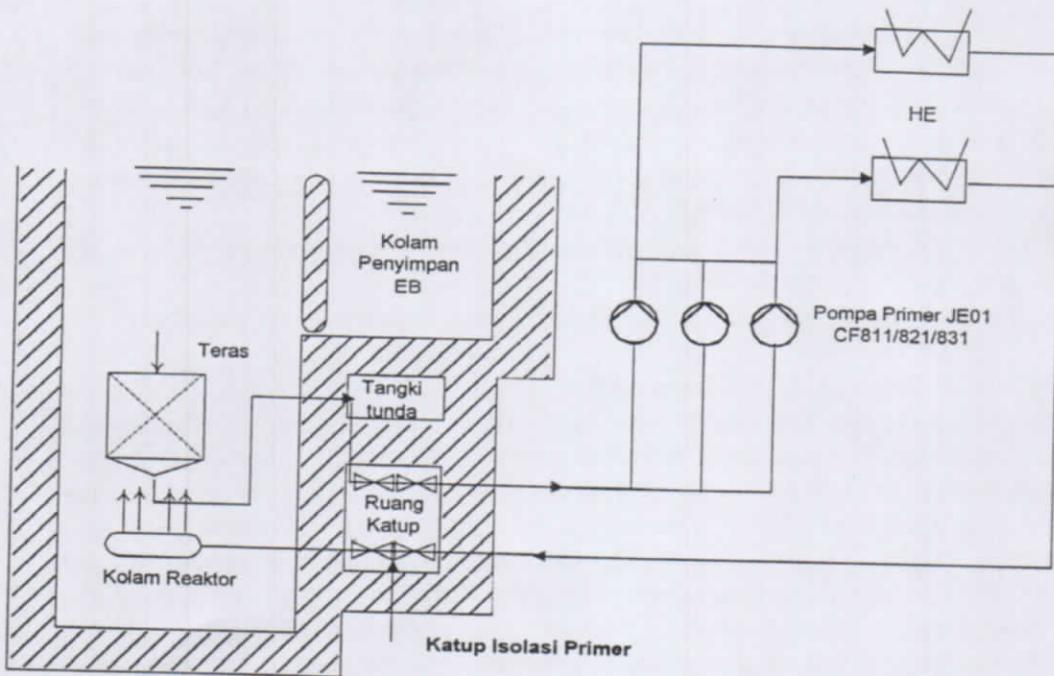
Laju penurunan aliran ke teras secara transien akibat tertutupnya katup isolasi primer secara tidak sengaja ditentukan dengan menggunakan hasil perhitungan program DUST yang dilakukan oleh pemasok RSG-GAS^[4]. Dalam penentuan laju penurunan aliran, program tersebut antara lain menggunakan karakteristik unjuk kerja pompa primer dan head pompa, sedangkan kecepatan rotasi penutupan katup dianggap konstan. Gambar diagram posisi katup sistem pendingin primer di dalam untai pendingin primer ditunjukkan oleh Gambar 1

TATA KERJA/PEMODELAN PERHITUNGAN

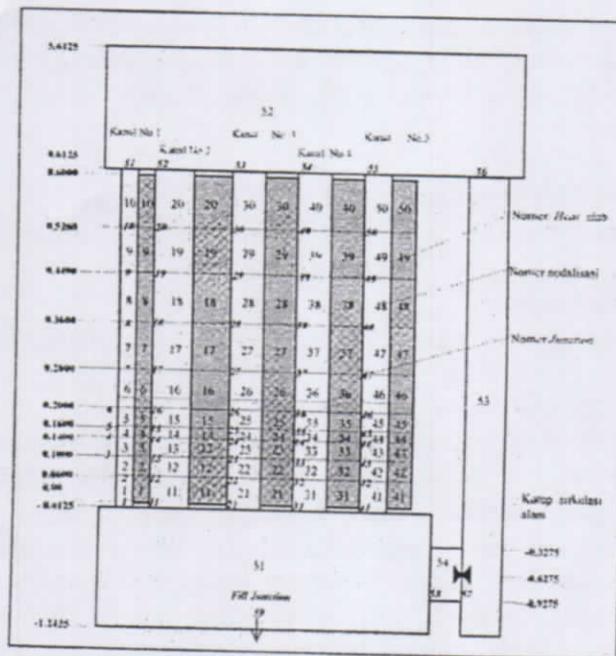
Dalam perhitungan dilakukan pemodelan teras reaktor yang dibagi menjadi 3 daerah (*zona*) yaitu :

1. Plenum atas (bagian atas)
2. Daerah teras (*core*), tidak termasuk elemen iradiasi dan posisi iradiasi (CIP, IP dll)
3. Plenum bawah (bagian bawah)

Teras dimodelkan dalam pembagian titik kanal/nomor-nomor segmen aksial seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2. Dalam pemodelan tersebut daerah teras dibagi menjadi lima kanal (*channel*), yaitu kanal-1 (kanal terpanas), kanal 2, kanal 3 dan kanal 4 merupakan kelompok elemen bakar yang terbagi sesuai dengan pengelompokan faktor puncak daya radial sedangkan kanal 5 adalah kumpulan elemen kendali. Setiap kelompok kanal dibagi lagi menjadi 10 segmen aksial yang terdiri atas *node*, *slab*, *junction*, dimana setiap lempeng panas mempunyai pembangkitan panas dan volume yang berbeda.



Gambar 1. Diagram letak katup isolasi primer.



Gambar 2. Model teras RSG-GAS pada kecelakaan tertutupnya katup isolasi pendingin primer, menggunakan program EUREKA-2/RR

Untuk memenuhi kondisi batas penurunan laju alir di dalam untai pendingin primer RSG-GAS, maka di dalam analisis dinamis segera setelah katup isolasi primer tertutup, reduksi aliran akan dipercepat oleh penurunan laju alir dari kedua pompa primer yang sedang bekerja. Untuk memperoleh analisis keselamatan pada kondisi terparah, analisis dilakukan pada kondisi terburuk. Untuk itu diperlukan beberapa asumsi. Asumsi yang diambil berkaitan dengan kasus kecelakaan akibat tertutupnya katup primer tanpa sengaja adalah sebagai berikut :

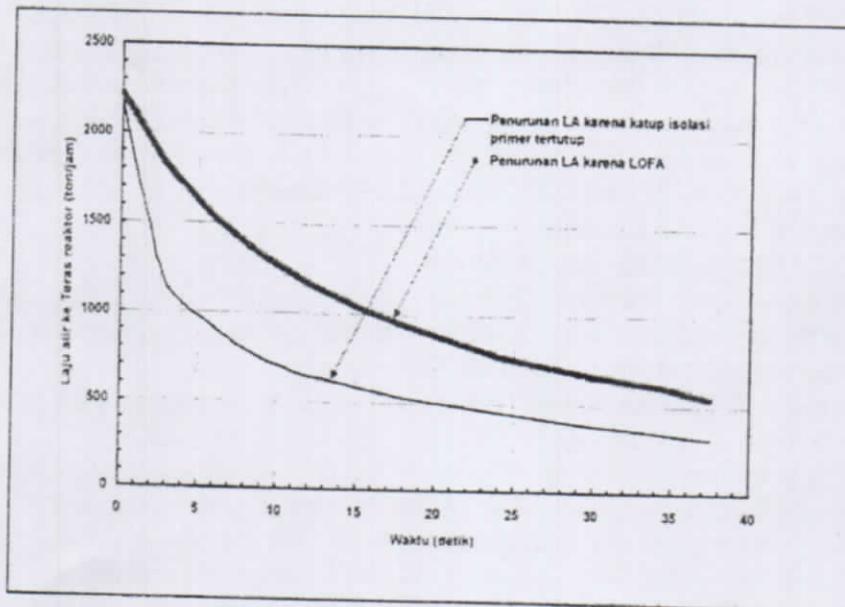
1. Keempat katup menutup secara simultan.
2. Ketika katup-katup tersebut menutup maka dianggap LA kedua pompa pendingin primer juga menurun secara simultan, sehingga terjadi reduksi LA pendingin secara maksimum.
3. Empat puluh (40) detik setelah trip masih ada LA yang mendinginkan teras sebanyak 16%.

Karakteristik parameter termohidrolika serta batas keselamatan selama kondisi transien diamati pada kanal terpanas (*hot channel*). Data faktor-faktor nuklir yang digunakan dalam perhitungan ini menggunakan hasil perhitungan distribusi faktor puncak daya aksial dan radial teras silisida RSG-GAS dengan tingkat muat 3,55 g-U/cm³[5]. Salah satu data masukan yang cukup penting di sini adalah pembuatan kurva profil penurunan LA pendingin sesuai dengan asumsi yang telah diambil di atas, sedangkan data lainnya adalah sebagai berikut :

Daya reaktor	:	25	MW
Laju pendingin	:	46,54	m ³ /jam/E.B.
Suhu inlet teras	:	44,5	°C
Tekanan inlet	:	2,036	Kg/cm ²
Faktor-faktor teknis :			
Faktor kenaikan suhu pendingin (Fb)	:	1,167	
Faktor kenaikan fluks panas (Fh)	:	1,200	
Faktor kenaikan suhu Film (Ff)	:	1,260	
Faktor ketidakpastian (Fu)	:	1,200	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh aspek analisis keselamatan akibat menutupnya katup isolasi primer diperlukan data untuk mengisi tabel volume kanal. Data tersebut dibuat dengan terlebih dahulu membuat profil LA pendingin transien. Profil tersebut dibuat dengan mengasumsikan pada kondisi tunak teras didinginkan dengan LA pendingin primer nominal. Empat puluh detik setelah trip masih tersedia LA sebanyak 16% dan 70 detik setelah trip LA berhenti sama sekali. Profil penurunan LA pendingin ditunjukkan oleh Gambar 3. Pada gambar tersebut terlihat bahwa dibandingkan dengan LOFA maka LA yang mendinginkan teras lebih kecil. Hal ini disebabkan karena efektifnya sistem proteksi kavitas pompa akibat terdetesnya kondisi masukan pompa yang tidak stabil.



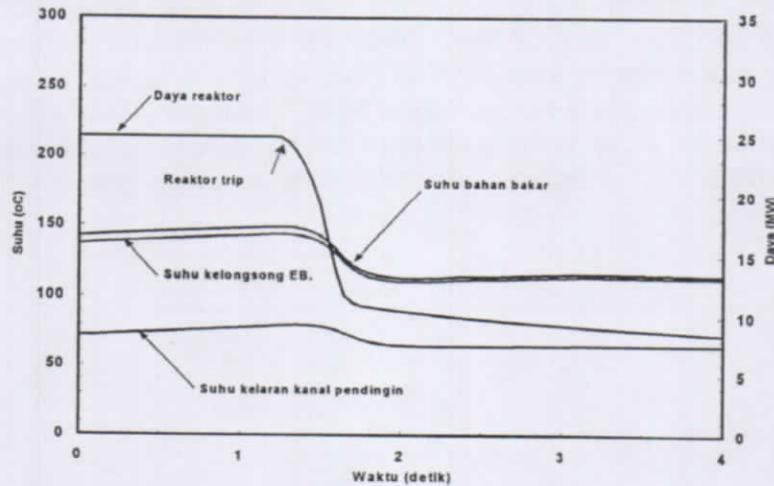
Gambar 3. Profil kurva penurunan laju alir pompa primer.

Pengamatan terhadap karakterisasi suhu bahan bakar dan pendingin serta batas keselamatan dilakukan pada beberapa *event* (peristiwa) yang dianggap cukup kritis, yaitu ketika tertutupnya katup isolasi primer belum terdeteksi dan ketika trip terjadi hingga sebelum katup sirkulasi alam membuka. Kondisi transien pada masing-masing peristiwa ditunjukkan oleh hasil perhitungan dan digambarkan dalam bentuk kurva-kurva sebagai fungsi waktu.

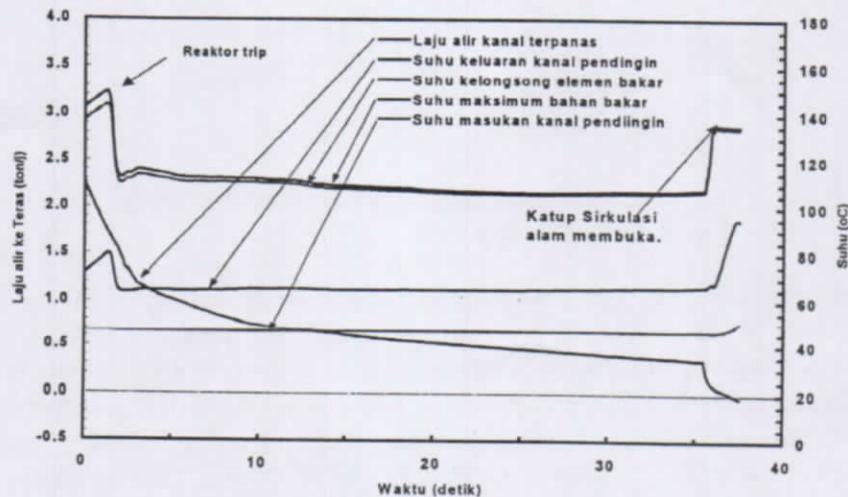
Teras didinginkan oleh pendingin primer dengan debit aliran sebesar 2216,85 ton/jam. Katup mulai menutup pada $t=0$. Laju alir yang mendinginkan panas yang dibangkitkan elemen bakar secara perlahan berkurang. Kejadian ini baru terdeteksi oleh sinyal "Katup Isolasi primer tertutup" 1,25 detik kemudian, debit air yang mendinginkan teras telah berkurang hingga tersisa 1692,24 ton/jam. Adanya waktu tunda antara sinyal dan trip maka reaktor trip, yang ditandai oleh jatuhnya batang kendali baru terjadi 0,5 detik kemudian. Pada kejadian awal ini suhu bahan bakar, suhu permukaan kelongsong dan pendingin masing-masing telah mencapai $143,82^{\circ}\text{C}$, $149,19^{\circ}\text{C}$ dan $79,81^{\circ}\text{C}$. Pada saat ini telah terjadi pendidihan inti yang ditunjukkan oleh suhu awal pendidihan inti (T_{ONB}) sebesar $129,69^{\circ}\text{C}$ dan batas keselamatan terhadap akhir pendidihan inti (MDNBR) mencapai nilai minimumnya 1,09 (Gambar 4).

Dengan adanya asumsi terjadinya superposisi antara tertutupnya katup isolasi primer dan terjadinya penurunan LA pompa, maka kurang lebih pada 15 detik pertama, penurunan LA ke teras didominasi oleh penurunan LA pompa. Akibatnya debit air pendingin menurun dengan sangat deras. Sesaat sebelum terjadi aliran balik akibat terbukanya katup sirkulasi alam, momen inersia pompa masih menghasilkan debit aliran sebesar 313,58 ton/jam. Debit aliran sebesar ini digunakan untuk mendinginkan peluruhan daya reaktor yang tersisa sebesar 2,862MW. Kemampuan pengambilan

panas sisa LA pendingin terhadap peluruhan panas ditunjukkan oleh suhu kanal pendingin, suhu kelongsong dan suhu bahan bakar terpanas yang terjadi pada kanal terpanas masing-masing $94,53^{\circ}\text{C}$, $134,29^{\circ}\text{C}$ dan $135,35^{\circ}\text{C}$. Batas keselamatan terhadap akhir pendidihan inti mencapai 2,11. Kondisi transien suhu kanal pendingin dan elemen bakar serta LA yang mendinginkan kanal elemen bakar, sejak reaktor mengalami trip, hingga 37,5 detik setelah reaktor trip ditunjukkan oleh Gambar 5

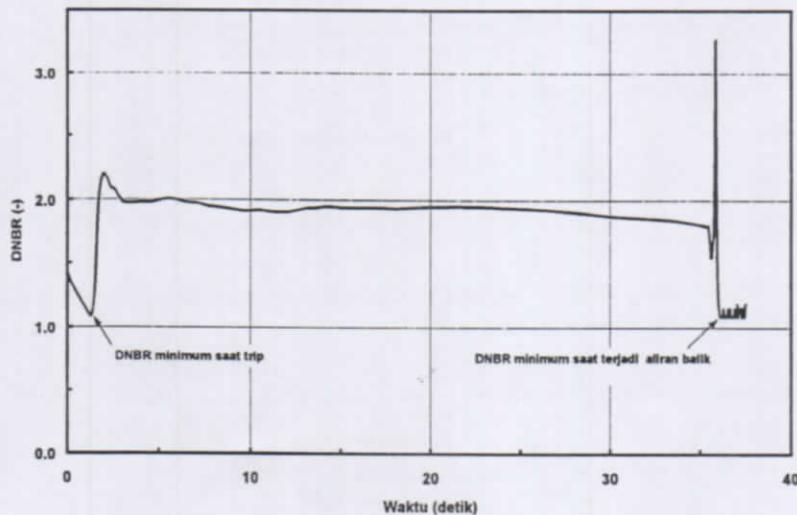


Gambar 4. Karakteristik transien suhu bahan bakar dan daya reaktor sejak katup tertutup hingga sesaat setelah reaktor trip.



Gambar 5. Karakteristik transien suhu dan penurunan laju pendingin sejak katup tertutup hingga sesaat sebelum katup sirkulasi alam membuka.

Pada analisis keselamatan pengurangan laju alir karena tertutupnya katup isolasi primer tanpa disengaja ini, koefisien void maupun koefisien umpan balik reaktivitas tidak diperhitungkan. Dengan demikian diperoleh hasil analisis yang dianggap paling aman karena daya reaktor mencapai maksimum saat simulasi kecelakaan, tanpa terpengaruh dengan adanya umpan balik reaktivitas. Batas kesematan terhadap akhir pendidihan inti pada saat transien ditunjukkan oleh Gambar 6. Pada saat mulai terjadi pengurangan laju alir, nilai DNBR mulai menurun dan mencapai nilai minimumnya sebesar 1,09 pada detik ke 1,25. Trip reaktor menyebabkan daya menurun, akan tetapi penurunan debit aliran masih mampu mendinginkan penurunan daya reaktor, sehingga pada saat ini nilai DNBR meningkat mencapai kurang lebih 2, selama kurun waktu 37,5 detik. Nilai DNBR minimum dalam perhitungan pada saat terjadi katup sirkulasi alam membuka menjadi tidak stabil, disebabkan parameter suhu pendingin sesaat terjadi aliran balik, berubah-ubah.



Gambar 6. Karakteristik transien batas keselamatan terhadap akhir pendidihan inti akibat tertutupnya katup isolasi pendingin primer.

Ditinjau dari suhu keluaran kanal pendingin, suhu kelongsong dan suhu bahan bakar maksimum pada awal siklus masing-masing 74,4°C, 145°C dan 175°C, yang menjadi salah satu parameter pembatas pada disain transien termohidrolika^[4]. Pada saat DNBR mencapai 1,09; telah terjadi aliran dua fase, ditunjukkan dengan terlampauinya suhu awal pendidihan inti sehingga akibatnya pada fase ini suhu keluaran kanal pendingin meningkat melebihi parameter pembatas. Akan tetapi suhu maksimum kelongsong dan bahan bakar belum melampaui parameter pembatas disain. Hal ini membuktikan bahwa penurunan LA ke teras, dengan asumsi adanya superposisi antara tertutupnya katup isolasi primer dan terjadinya penurunan LA pompa, masih mampu menyediakan pendinginan yang mencukupi, sebelum terjadi transisi pendinginan konveksi bebas.

KESIMPULAN

Dari analisis terhadap karakteristik penurunan kemampuan pengambilan panas sistem pendingin primer, sebagai akibat tertutupnya katup isolasi primer tanpa sengaja, penurunan LA ke teras masih mampu menyediakan pendinginan yang mencukupi, sebelum terjadi transisi pendinginan konveksi bebas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bpk. Iman Kuntoro yang telah mengoreksi makalah, rekan Tagor Malem Sembiring yang telah membantu dalam penyediaan data perhitungan neutronik dan rekan Asnul Sufmawan yang telah membantu menyelesaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ENDIAH PUJI HASTUTI, *Analisis Transien Termohidrolika Teras Silisida RSG-GAS Akibat Hilangnya Pendingin Primer (LOFA)*, Prosiding Seminar Hasil Penelitian PRSG Tahun 1998/1999, ISSN 0854-5278, Serpong 4-5 Mei 1999.
2. 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.
3. 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
4. BATAN, *Safety Analysis Report of the Indonesian Multipurpose Reactor GA-Siwabessy*, Rev.8, Maret 1999.
5. 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.