

SIMULASI KOMPUTER SISTEM PENDINGIN SEKUNDER RSG-GAS

M. Dhandang Purwadi, Riyadi, Syafrul, Sutrisno

ABSTRAK

SIMULASI KOMPUTER SISTEM PENDINGIN SEKUNDER RSG-GAS. Keselamatan operasi dari RSG-GAS sangat bergantung kepada keandalan sistem dengan komponen-komponen pendukungnya. RSG-GAS mempunyai umur operasi cukup tua, dan karena itu komponen sistem pendingin telah mengalami degradasi. Dalam kondisi umur seperti ini, suatu rencana pembebanan terhadap sistem pendingin harus dievaluasi secara seksama sebelum dieksekusi. Untuk melakukan estimasi kondisi sistem pada suatu pembebanan tertentu, cara yang paling aman adalah dengan simulasi komputer. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi sistem pendingin sekunder RSG-GAS dengan program komputer CATHENA (Canadian Algorithm for THERmalhydraulics Network Analysis). Dengan simulasi ini diperoleh unjuk kerja sistem pendingin sekunder yang berupa sifat-sifat termohidrolika sistem pada suatu kondisi pembebanan.

ABSTRACT

THE COMPUTER SIMULATION OF RSG-GAS SECONDARY COOLING SYSTEM. The safety operation of RSG-GAS extremely depends on the reliability of the system and its components. Since the RSG-GAS operation age has an enough old, the cooling system components have been degrading. In this age condition, the operation plan that burdening the cooling system should be carefully evaluated before the plan is executed. The safely way to evaluate the heavy burden operation plan is utilize the computer simulation. In the current study, computer simulation of secondary cooling system of RSG-GAS has been carried out by the CATHENA (Canadian Algorithm for THERmalhydraulics Network Analysis) code. The result of this simulation is the performance of the secondary cooling system as the thermal-hydraulics characteristics of the system at the burdening operation plan.

PENDAHULUAN

Keselamatan dari pengoperasian reaktor nuklir sangat bergantung kepada keandalan sistem dan komponen yang mendukungnya. Reaktor Serba Guna GA.Siwabessy (RSG-GAS) sudah beroperasi cukup lama, yaitu lebih kurang sepuluh tahun. Dengan umur operasi yang hampir setengah umur disain ini, kinerja sistem dan komponen RSG-GAS tentu akan menurun. Penurunan kinerja ini akan mempengaruhi keandalan sistem secara keseluruhan. Disamping itu, adanya rencana untuk mengganti bahan bakar RSG-GAS menjadi bahan bakar jenis "Silisida" yang mempunyai kemampuan penyediaan energi yang lebih tinggi (karena tingginya densitas uranium yang dapat dikandung bahan bakar), pada kenyataannya upaya ini akan membawa konsekuensi pada pembebanan terhadap sistem dan komponen yang meningkat.

Sistem pendingin sekunder adalah suatu subsistem dari sistem pendingin RSG-GAS. Sistem ini berfungsi untuk mengambil energi panas dari sistem pendingin primer dan

membuangnya ke lingkungan. Subsistem pendingin sekunder merupakan subsistem utama, karena itu mempunyai umur operasional yang sama dengan teras RSG-GAS. Dengan umur yang sudah berusia sepuluh tahun, tentu saja sistem ini mengalami degradasi fungsi dan kinerjanya.

Sehubungan dengan umur RSG-GAS yang telah lanjut, perlu dilakukan analisis terhadap penurunan kemampuan sistem pendinginnya, terutama sistem pendingin sekunder yang hingga kini belum pernah dianalisis. Untuk menganalisis penurunan kinerja sistem tersebut, dan mengevaluasi kemampuan sistem pendingin sekunder dalam menerima beban mendatang dilakukan simulasi dengan menggunakan program komputer CATHENA (*Canadian Algorithm for THERmalhydraulics Network Analysis*) yang dikembangkan oleh *Atomic Energy of Canada Limited* (AECL). Dengan cara ini sistem sekunder pendingin RSG-GAS dapat dievaluasi secara aman dan seksama, karena tidak menggunakan sistem aktualnya sebagai bahan uji coba.

CATHENA adalah program komputer untuk menganalisis suatu sistem yang memiliki proses yang berkaitan dengan masalah termal dan hidrolika dengan melalui simulasi^[1]. Untuk dapat mensimulasikan sistem dengan program komputer ini, sistem nyata harus dimodelkan ke dalam sistem maya yang ekuivalen. Dalam pemodelan ini variabel minor, yang dianggap tidak penting pengaruhnya, dieliminasi. Dengan demikian dapat diperoleh penyederhanaan yang logis dan model akhirnya dapat disimulasikan dalam komputer melalui data masukan.

PEMODELAN JARINGAN TERMOHIDROLIKA DALAM CATHENA

Sebagaimana tercermin pada kepanjangan dari nama CATHENA, maka dengan mudah dapat dimengerti bahwa program komputer ini dirancang untuk dapat digunakan sebagai *tool* untuk menganalisis jaringan sistem dari sudut pandang termal dan hidroliknya. RSG-GAS sebagai suatu sistem adalah merupakan suatu jaringan termohidrolika dengan komponen subsistemnya yang utama berupa pipa, katup, pompa, dan penukar panas (reaktor nuklir dapat dimodelkan sebagai penukar panas).

Untuk menjelaskan program komputer CATHENA secara ringkas, berikut ini akan diuraikan tentang aspek teoritis, numerik dan pemodelan yang dapat dilakukan di dalamnya.

Teori

Dalam merepresentasikan aliran dua fasa, model hidrodinamika yang digunakan dalam CATHENA adalah model aliran satu dimensi dengan dua komponen fluida dalam kondisi tak-setimbang (*non equilibrium*)^[2]. Pada model tersebut, masing-masing fasa fluida akan memiliki tiga buah *conservation equation* (persamaan kekekalan) sebagai berikut:

1. Persamaan kekekalan massa,
2. Persamaan kekekalan momentum,
3. Persamaan kekekalan energi.

Dengan demikian untuk setiap model yang mempunyai kondisi air dalam dua fasa (fasa cair dan fasa gas) akan mempunyai enam persamaan kekekalan. Penyelesaian numerik terhadap

persamaan kekekalan tersebut dilakukan dengan metode beda hingga (*finite difference method*)^[2]. Dalam perhitungan numerik komponen jaringan termohidrolika dibagi menjadi satu nodal atau lebih.

Pemodelan dalam CATHENA

Dalam menyelesaikan persamaan kekekalan, pemipaan sistem jaringan termohidrolika dipisahkan-pisahkan atas beberapa "model komponen". Model komponen yang tersedia pada CATHENA adalah^[3]:

1. komponen pipa
2. komponen sambungan-T
3. komponen volume
4. komponen tangki
5. komponen penampung (*reservoir*)

Dengan tersedianya lima buah model komponen ini, pemodelan suatu pemipaan jaringan termohidrolika belum dapat diekspresikan dengan baik. Karena itu, di antara dua model komponen dapat diletakkan "model koneksi komponen"^[3]. Dengan cara ini semua model komponen dapat dirangkai sebagaimana rangkaian dalam pemipaan jaringan termohidrolika yang aktual. Pada titik lokasi di antara dua model komponen dapat diletakkan koneksi komponen dengan bentuk model sebagai berikut

1. Koneksi komponen biasa
2. Model sistem koneksi bertahanan (*elbow, reducer, enlargement* dlsb.)
3. Model sistem pompa
4. Model sistem katup
5. Model sistem kebocoran/pelepasan (*break/discharge*)
6. Model sistem pemisah fasa (*separator*)

Ketersediaan model koneksi komponen ini memungkinkan pengguna CATHENA untuk merangkai model-model komponen menjadi suatu kesatuan sistem jaringan termohidrolika yang saling sambung menyambung.

Selain "model komponen" dan "model koneksi komponen" yang telah disebutkan di atas, CATHENA menyediakan pula beberapa "model sistem khusus" yang dapat diaplikasikan pada model komponen. Model sistem khusus yang dimaksud dan model komponen yang dapat diaplikasikan padanya adalah sebagai berikut

Model sistem khusus

1. *Boiling length average critical heat flux,*
2. Kinetika reaktor nuklir
3. *Crept pressure tube,*
4. *Delay line,*
5. *Emergency Cooling Injection Accumulator,*
6. Penukar panas,
7. Kesetimbangan panas,

Untuk mengatur atau mengendalikan suatu model sistem selama simulasi, CATHENA menyediakan opsi "Model Pengaturan Sistem". Dengan opsi ini, selama simulasi berlangsung suatu model sistem dapat dikendalikan sesuai kebutuhan misalnya, pembukaan atau penutupan katup atau daya reaktor nuklir dapat diatur waktunya. Model pengaturan sistem dapat berupa tabel maupun program, bahkan model pengaturan ini dapat diprogram dengan instruksi FORTRAN primitif.

Disamping model-model yang telah dijelaskan di atas, untuk mengantisipasi kerumitan pemodelan sistem yang di dalamnya terdapat proses perpindahan panas, CATHENA menyediakan paket untuk memodelkan proses perpindahan panas dengan rinci. Paket model tersebut adalah *GENeralized Heat Transfer Package* (GENHTP)^[4]. Dengan paket ini, proses perpindahan panas dalam alat penukar panas dan teras reaktor nuklir akan dapat dimodelkan dengan baik.

PEMODELAN SISTEM PENDINGIN SEKUNDER RSG-GAS

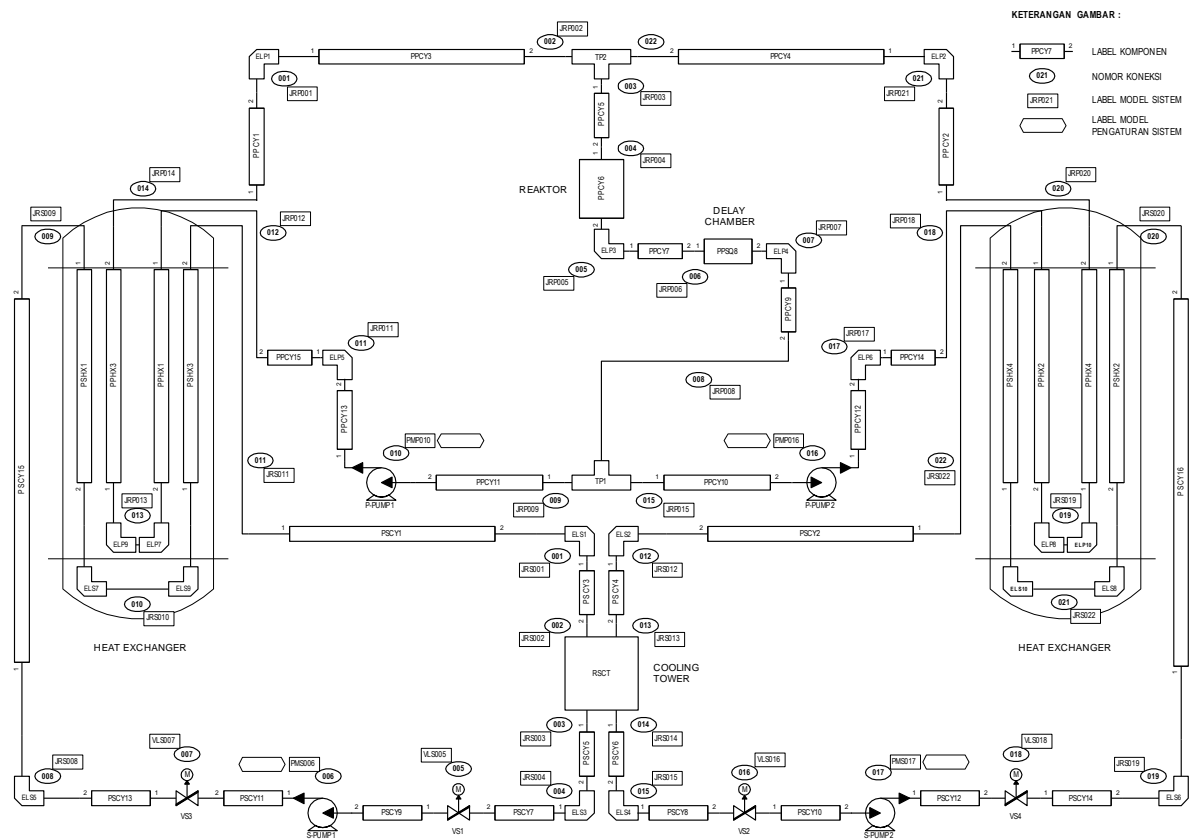
Dalam proses modelisasi sistem sekunder RSG-GAS, pertama kali yang perlu dilakukan

Model tujuan aplikasi

model komponen pipa
 model GENHTP (penukar panas)
 model komponen pipa
 model komponen pipa
 model komponen penampung
 model komponen pipa
 model komponen pipa

adalah mendata dan memahami parameter dari seluruh komponen sistem sekunder. Dari data komponen ini, dapat dilakukan pengamatan terhadap komponen yang dalam aspek termal dan hidrodinamika mempunyai fungsi sama, kemudian komponen-komponen berfungsi sama tersebut dapat digabungkan. Jadi dalam langkah pemodelan ini, pada hakekatnya kita dituntut untuk membuat model ekuivalen dari sistem nyata yang jauh lebih sederhana sehingga mudah ditangani oleh program komputer CATHENA.

Pemodelan sistem pendingin sekunder RSG-GAS harus dilakukan tanpa mengabaikan sistem pendingin primernya, karena sistem primer dan sekunder, dipandang dari aspek termal, saling berhubungan (bila dipandang dari aspek hidrolika kedua sistem ini terpisah). Seperti telah dijelaskan pada bab Pendahuluan, titik berat dari penelitian ini adalah analisis terhadap sistem pendingin sekunder. Oleh karena itu dalam pemodelan sistem sekunder RSG-GAS, sistem pendingin primer turut dimodelkan tetapi dengan pemodelan yang sangat sederhana. Dalam analisis ini, pemodelan sistem pendingin RSG-GAS yang digunakan adalah seperti terlihat pada Gambar 1. Pada gambar tersebut, reaktor nuklir hanya dimodelkan sangat sederhana, yaitu sebagai pipa yang menerima panas dari luar.



Gambar 1. Pemodelan sistem pendingin RSG-GAS

Berbeda dengan sistem pendingin primer, pemodelan sistem pendingin sekunder yang menjadi titik fokus pada penelitian ini terlihat lebih rinci.

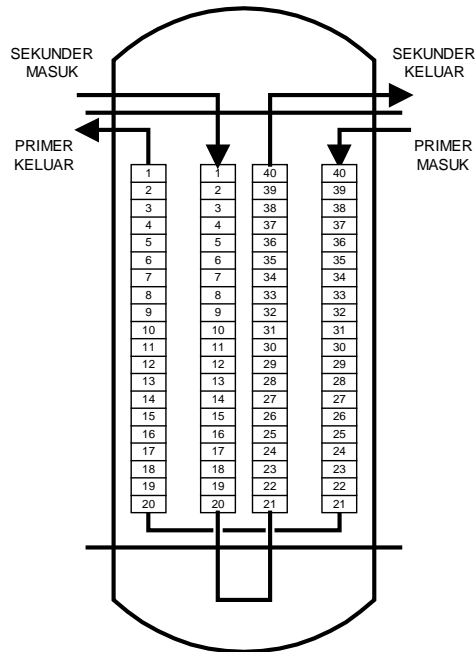
Bila model telah terdefiniskan, maka langkah berikutnya adalah menterjemahkan model tersebut ke dalam bentuk data masukan dari program komputer CATHENA. Daftar masukan dari sistem pendingin RSG-GAS untuk program komputer CATHENA cukup banyak, karena itu tidak ditampilkan dalam makalah ini.

HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Dalam simulasi diasumsikan sistem pendingin RSG-GAS dioperasikan secara bersamaan. Nilai awal yang diperlukan adalah tekanan dan temperatur pada setiap nodal yang ada. Selain dalam bentuk tekanan dan temperatur, nilai awal dapat pula berupa tekanan dan entalpi (fasa cair dan atau gas). Tahapan waktu yang digunakan per

langkah adalah 0.001 detik. Simulasi dimulai dari 0.000 detik hingga waktu tak hingga, artinya bila kondisi sudah tunak (*steady state*) simulasi berhenti dengan sendirinya.

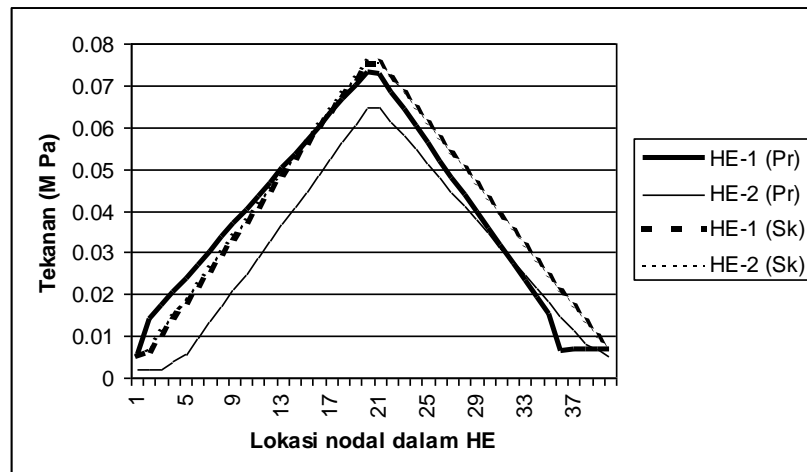
Dalam simulasi ini, nilai tekanan dan entalpi pada setiap nodal per langkah tahapan waktu dapat diketahui hasilnya. Disamping parameter pokok tersebut, CATHENA secara otomatis mencetak nilai fraksi uap, kualitas uap dan kecepatan aliran dari satu model komponen ke model komponen lainnya. Karena itu output CATHENA akan cukup banyak bila ditampilkan seluruhnya pada makalah ini. Dengan pertimbangan tersebut, pada makalah ini hanya akan ditampilkan hasil perhitungan pada alat penukar panas. Pemilihan ini didasarkan pada anggapan bahwa kebenaran pemodelan jaringan terhidrolika sistem pendingin RSG-GAS akan lebih mudah diamati pada alat ini karena alat penukar panas adalah merupakan *interface* tranfer energi dari sistem pendingin primer RSG-GAS ke sistem pendingin sekunder RSG-GAS.



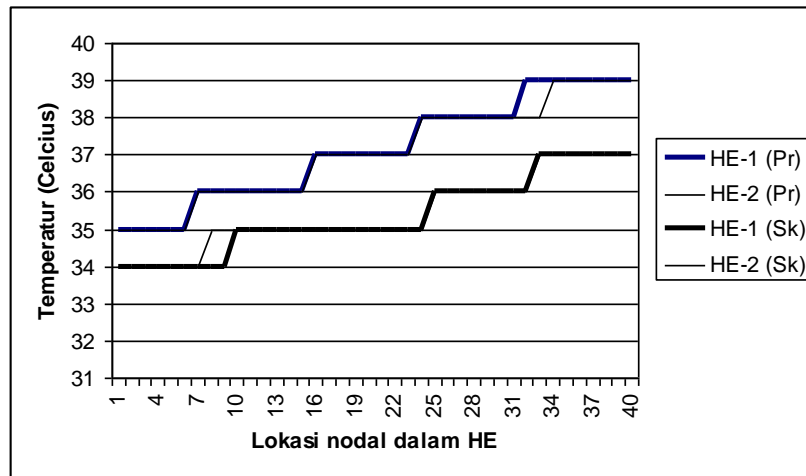
Gambar 2. Nodalisasi pada model alat penukar panas (*heat exchanger*, HE)

Dengan pemodelan yang telah dilakukan simulasi berjalan selama 0.7 detik dalam 73 tahapan waktu (73 *time steps*). Setelah selang waktu simulasi selama 73 tahap simulasi terhenti karena terdapat peringatan kesalahan simulasi.

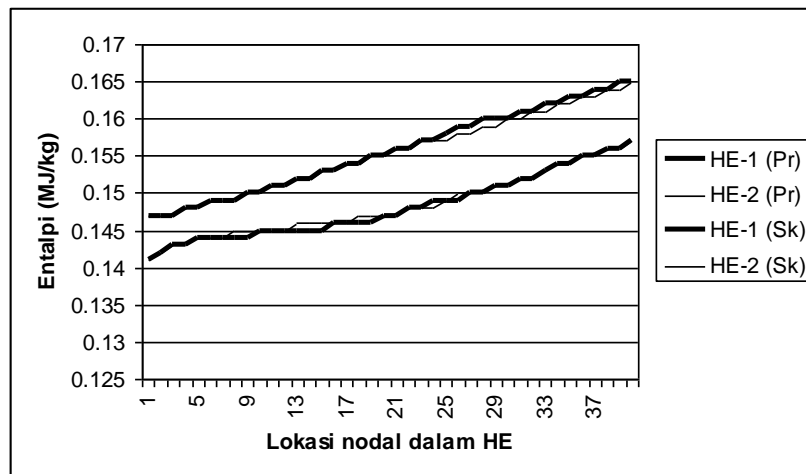
Kesalahan simulasi yang dimaksud adalah terdapatnya nilai entalpi gas pada suatu nodal (No.20) pada sisi pendingin primer alat penukar panas yang berada diluar batas minimum dari kemampuan analisis CATHENA.



Gambar 3. Tekanan air pada alat penukar panas (*heat exchanger*, HE)



Gambar 4. Temperatur air dalam alat penukar panas (heat exchanger, HE)



Gambar 5. Entalpi air dalam alat penukar panas (heat exchanger, HE)

Nilai entalpi gas pada nodal tersebut adalah 2.47 MJ/kg, sedangkan batas kemampuan tabel uap yang ada pada CATHENA adalah 2.5 MJ/kg. Bagaimana bentuk distribusi tekanan, temperatur dan entalpi air di alat penukar panas (sesuai dengan nodalisasi model alat penukar panas dalam Gambar 2) setelah 73 tahapan waktu diperlihatkan

pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5. Sebagai perbandingan, dalam Tabel 1 ditampilkan beberapa parameter alat penukar panas yang digunakan pada RSG-GAS. Nilai parameter tersebut diperoleh dari acuan [5] dan hasil simulasi dengan program komputer CATHENA.

Tabel 1. Karakteristik alat penukar panas (HE) RSG-GAS

Parameter	Nilai		Satuan
	SAR ⁵	Hasil Simulasi	
Kemampuan alat penukar panas	16200	-	kW
Temperatur air masuk HE pada sisi primer	49	39	°C
Temperatur air keluar HE pada sisi primer	40	35	°C
Temperatur air masuk HE pada sisi sekunder	32	34	°C
Temperatur air keluar HE pada sisi sekunder	40	37	°C
Tekanan operasi HE pada sisi primer masuk	0.14	0.006946	MPa
Tekanan operasi HE pada sisi primer keluar	0.09	0.005674	MPa
Tekanan operasi HE pada sisi sekunder masuk	0.04	0.006408	MPa
Tekanan operasi HE pada sisi sekunder keluar	0	0.005196	MPa
Laju alir air dalam HE pada sisi sekunder	430	-	kg/s
Laju alir air dalam HE pada sisi sekunder	485	-	kg/s
Penurunan tekanan di HE pada sisi primer	0.05	0.001272	MPa
Penurunan tekanan di HE pada sisi sekunder	0.04	0.001272	MPa

Dari Tabel 1, terlihat bahwa tekanan air pada sisi primer masuk (lokasi nodal nomor 40) sangat kecil, yaitu 0.006946 MPa. Demikian juga pada sisi primer keluar, yaitu pada lokasi nodal nomor 1. Penurunan tekanan operasi baik pada sisi primer maupun sekunder adalah 0.001272. Dengan membandingkan nilai parameter tersebut terhadap nilai yang terdapat dalam acuan [5], maka dapat disimpulkan bahwa simulasi yang berlangsung pada kondisi transien, dan simulasi berhenti sebelum kondisi tunak (*steady state*). Dengan demikian nilai parameter yang diperoleh dari hasil simulasi komputer jauh lebih rendah dari nilai parameter yang tercantum dalam acuan [5]. Kesimpulan ini didukung pula oleh data dari parameter lain, yaitu temperatur air pada HE baik pada sisi primer maupun sekunder dan perubahan entalpinya. Bila diperhatikan dari Gambar 5, perubahan entalpi pada sisi primer dan sekunder hanya 0.018 MJ/kg dan 0.016 MJ/kg. Bila besaran ini dikalikan dengan laju alir dalam acuan [5], hanya akan diperoleh daya perpindahan energi panas lebih-kurang 8000 kW saja. Kondisi perpindahan energi panas yang terakhir ini sangat mendukung kesimpulan bahwa simulasi berhenti pada kondisi transien sebelum mencapai kondisi tunak.

Dugaan atau kesimpulan bahwa dalam simulasi tidak tercapai kondisi tunak, sangat mudah difahami bila melihat Gambar 3, 4 dan 5. Pada gambar tersebut terlihat jelas bahwa distribusi tekanan, temperatur dan entalpi dalam alat penukar panas belum halus kurvanya.

Masalah yang timbul adalah mengapa simulasi berhenti sebelum mencapai kondisi tunak. Telah dikemukakan di atas bahwa simulasi berhenti

karena entalpi air berada dibawah nilai minimum dari entalpi yang mampu disimulasikan oleh program CATHENA. Dari analisis sementara, penyebab yang paling mungkin adalah pemodelan sistem pendingin RSG-GAS belum sempurna dan masih terdapat kesalahan. Untuk mengatasi masalah ini, perlu penelitian lebih lanjut tentang pemodelan RSG-GAS, sehingga dapat diperoleh model yang seksama dan kemudian akan menjadikan simulasi pada program komputer CATHENA mendekati kondisi realistik sistem yang aktual.

KESIMPULAN

Telah dilakukan pemodelan sistem pendingin RSG-GAS untuk simulasi komputer. Pemodelan dilakukan untuk mengevaluasi sistem pendingin sekunder, karena itu pemodelan sistem pendingin primer sangat disederhanakan, terutama pemodelan teras reaktor. Pemodelan dilakukan untuk mempersiapkan data masukan program komputer CATHENA.

Simulasi dilakukan dari kondisi transien hingga kondisi tunak. Hasil simulasi menunjukkan bahwa simulasi pada program komputer CATHENA berhenti sebelum mencapai kondisi tunak. Terhentinya simulasi terjadi karena batas minimum entalpi air terlampaui. Dari kenyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi tidak akurat.

Keakuratan hasil simulasi sangat bergantung pada model yang dibuat, kesalahan hasil simulasi dari acuan [5] (SAR Rev. 8) kemungkinan besar disebabkan oleh kesalahan model. Karena itu pemodelan sistem pendingin RSG-GAS harus

dilakukan dengan baik agar diperoleh model yang simulasinya dapat dipercaya. benar-benar ekivalen sistem nyata, sehingga hasil

DAFTAR PUSAKA

1. RICHARDS, D.J. et.al., "CATHENA Primer", *Thermalhydraulics Branch CATHENA Document*, THB-CD-011.
2. BEUTHE T.G., HANNA B.N, "CATHENA MOD-3.5b/Rev 0 *Theoretical Manual*", *Safety Thermahydraulics Branch*, Whiteshell Lab., Manitoba, 1999.
3. HANNA B.N., et.al., "CATHENA MOD-3.5c/Rev 0 *Input Reference*", *Safety Thermahydraulics Branch*, Whiteshell Lab., Manitoba, 1999.
4. HANNA B.N., et.al., "CATHENA MOD-3.5c/Rev 0 *GENHTP Input Reference*", *Safety Thermahydraulics Branch*, Whiteshell Lab., Manitoba, 1999.
5. ANONIM, "MPR-30 *Safety Analysis Report Rev. 8*", *Chap.5, Vol.2, Multi Purpose Research Reactor* GA Siwabessy – BATAN, Jakarta, 1999.

DISKUSI

Pertanyaan : (Teguh Sulistyo)

Hasil simulasi yang dituangkan dalam bentuk tabel/grafik, saran saya sumbu X dan Y perlu dituliskan pengertiannya/penjelasannya.

Jawaban : (Dr. Dhandang P.)

Karena keterbatasan ruang, terpaksa label sumbu X dihilangkan, Mohon dimaklumi tetapi dalam gambar aslinya dimakalah semua label sumu tertulis.