

KAJIAN MODIFIKASI SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR RSG-GAS

Oleh: Sriawan
sriawan@batan.go.id

ABSTRAK

KAJIAN MODIFIKASI SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR RSG-GAS. Kegagalan pompa pendingin sekunder berkontribusi kuat terhadap penundaan pengoperasian reaktor. Pengisian air kedalam pemipaan jalur pendingin sekunder yang terganggu yang merupakan syarat utama sebelum reaktor dioperasikan kembali membutuhkan waktu yang lama kurang lebih 1 jam. Terlebih lagi jika kegagalan terjadi diakhir siklus operasi, pengaktifan kembali operasi reaktor membutuhkan waktu lebih lama karena harus menunggu racun Xe-135 yang naik tajam setelah pemadaman reaktor dan mencapai kesetimbangan dengan durasi waktu 24 jam. Untuk menghindari kejadian tersebut pengoperasian reaktor perlu didukung oleh sistem dan komponen yang handal, yang mampu memberikan respon cepat terhadap gangguan yang timbul. Makalah ini mengkaji bagaimana cara mengendalikan gangguan akibat gagalnya salah satu pompa pendingin sekunder dan bagaimana cara yang cepat untuk mengatasinya agar operasi reaktor tidak tertunda. Kajian dilakukan dengan cara memodifikasi sistem pemipaan pendingin sekunder, yaitu memindahkan jalur pipa yang tidak digunakan untuk dipasang sebagai pipa penghubung pada kedua sisi tekan pompa antara jalur 1 dan jalur 2. Dari hasil kajian diperoleh data waktu pengisian air kedalam jalur pemipaan sekunder yang terganggu adalah 4,7 menit. Waktu pengisian air kedalam jalur pemipaan sekunder yang terganggu diakhir siklus, sebelum modifikasi adalah 24 jam. Disimpulkan bahwa dengan memodifikasi sistem pemipaan sekunder penundaan pengoperasian reaktor dapat dihindari dan kelancaran operasi reaktor RSG-GAS dapat dipertahankan.

Kata kunci: pompa sekunder; gangguan; modifikasi

ABSTRACT

STUDY ON MODIFICATION OF THE SECONDARY COOLING SYSTEM OF THE REACTOR RSG-GAS. Failure of the secondary cooling pump is deemed having strong contribution to the delay of reactor operation. Feeding of cooling water to the disturbed line of secondary system, at which it constitute of primary factor to the reactor operation, needs more or less 1 hour period. Even it needs longer time of 24 hours when it occurs at the end of reactor operation cycles. Due to it should wait until Xe-135 reach equilibrium. To avoid this operation delay reactor operating system should be supported by reliable components that are able to provide quick response to system failure. This paper assesses how to manage disturbance of failure of one secondary pump fastly in order to avoid reactor operation delay. Assessment is carried out by modifying of piping line of secondary cooling system and it is done by removing unusable pipe line and installing it as connection pipe at an intake section of secondary pump located between line 1 and 2. From this assessment gained that feeding of water to the failed secondary piping just finish in 4,7 minutes and it consider far shorter compare to that of before piping modification of 24 hours. It is concluded that by doing modification of secondary system piping, reactor operation delay may be avoided to keep reactor operation sustainable.

Key words: secondary pump; disturbance; modification.

PENDAHULUAN

Pengoperasian reaktor pada akhir siklus teras merupakan pengoperasian yang harus diwaspadai terutama pada saat terjadi gangguan operasi. Pada akhir siklus reaktivitas lebih teras sudah tidak mampu lagi mengkompensasi reaktivitas negatif Xe¹³⁵ yang melaju cepat sesaat setelah pemadaman reaktor. Agar reaktor dapat dioperasikan kembali, pengendalian gangguan harus dilakukan dengan cepat, lebih cepat dari laju peningkatan reaktivitas negatif Xe¹³⁵. Apabila pengendalian gangguan berlangsung lambat, operasi reaktor harus ditunda. Pengoperasian kembali reaktor hanya dapat dilakukan setelah aktivitas Xe¹³⁵ meluruh dan waktu mati terlampaui. Waktu mati adalah waktu dimana reaktor tidak bisa dioperasikan karena reaktivitas

Xenon¹³⁵ yang terbentuk lebih besar dari pada core acces.

Untuk menghindari kejadian tersebut pengoperasian reaktor perlu didukung oleh komponen dan sistem peralatan yang handal, yang tahan terhadap gangguan dan dilengkapi dengan cara pengoperasian yang mempunyai respon cepat untuk mengatasi gangguan.

Pompa pendingin sekunder merupakan komponen penting dari sekian banyak komponen yang ada di RSG-GAS. Kegagalan operasi pompa pendingin sekunder dapat menyebabkan tertundanya jadwal operasi reaktor. Oleh karena itu keandalan pengoperasian pompa pendingin sekunder harus selalu dijaga.

Berdasarkan pengalaman pengoperasian reaktor diketahui bahwa kegagalan pompa pendingin

sekunder berkontribusi kuat terhadap kegagalan pengoperasian reaktor. Penyebabnya adalah pengaktifan pompa cadangan atau pengoperasian kembali pompa yang terganggu membutuhkan waktu cukup lama, membiarkan reaktivitas negatif Xe^{135} bertambah besar dan berakibat tertundanya operasi reaktor.

Makalah ini mengkaji bagaimana cara mengendalikan gangguan akibat gagalnya salah satu pompa pendingin sekunder dan bagaimana cara yang cepat dan tepat untuk mengatasinya agar operasi reaktor tidak tertunda dan tetap memperhatikan keselamatan operasi.

Kajian dilakukan dengan cara mempelajari deskripsi sistem pendingin sekunder, memperkirakan berapa besar volume air yang berkurang ketika pompa mati, melakukan pengukuran laju alir baik pada sistem jalur 1 maupun jalur 2, mempelajari desain pemipaan, dan melakukan analisis dengan membuang jalur pipa yang tidak diperlukan agar pengoperasian pompa cadangan atau pengoperasian pompa yang terganggu lebih cepat.

Dengan kajian ini diharapkan dapat diperoleh solusi untuk mengatasi gangguan pengoperasian pompa pendingin sekunder, sehingga meskipun terjadi gangguan keandalan operasi reaktor tidak terganggu dan pengoperasian reaktor tetap berlangsung dengan selamat dan aman.

DESKRIPSI SISTEM

Sistem pendingin sekunder adalah sistem yang berfungsi sebagai pengambil panas terakhir untuk instalasi reaktor. Panas yang dibangkitkan di teras reaktor, diambil oleh sistem primer dipindahkan melalui penukar panas dan dibuang ke atmosfer menggunakan menara pendingin beraliran udara paksa. Sistem ini direncanakan mampu membuang panas teras total sebesar 33.000 kW, dengan mempertahankan temperatur air pendingin primer yang kembali ke kolam reaktor tidak melebihi 42 °C.¹¹

Fluida sistem pendingin sekunder adalah air yang diambil langsung dari sistem penyediaan air setempat tanpa pengolahan lanjut. Sistem terdiri dari 2 jalur pemipaan yang masing-masing bagian 50%, terdiri dari 3 pompa (1 pompa sebagai cadangan), alat penukar kalor, saringan mekanik, dan 2 blok menara pendingin.

Ketiga pompa pendingin mempunyai tipe dan fungsi yang sama. Setiap unit terdiri dari pompa proses

digerakkan oleh motor melalui sambungan kopling sentrifugal. Bagian-bagian pompa yang berhubungan dengan air (*runner, casing* dll.) terbuat dari *cast iron* yang diperkuat dengan *stainless steel*. Rumah pompa dilengkapi saluran *venting* dan saluran *drainage*. Manometer tekanan terdapat pada sisi hisap dan sisi keluar pompa. Motor listrik dirancang untuk beroperasi pada 80% tegangan fasenya. Setiap motor dilengkapi dengan indikator kecepatan putaran.

Sistem menara pendingin mempunyai 7 rangkaian menara pendingin, ditempatkan diatas kolam yang terbuat dari beton dan dibagi menjadi 2 blok sejajar masing-masing terdiri dari 3 rangkaian dan 4 rangkaian. Rangkaian-rangkaian ini merupakan tipe film pendingin, udara dihisap secara paksa dari bawah ke atas oleh *blower* menara pendingin, ke sistem pendistribusian air yang terdapat pada bagian atas. Udara akan terhirup melalui celah-celah udara yang terdapat pada dinding menara, dan terbawa keatas bersama-sama butir-butir air yang berupa film melalui kipas-kipas, dan kemudian jatuh ke bawah ke kolam menara pendingin setelah temperaturnya berkurang. Diantara kedua blok menara pendingin terdapat celah yang dipergunakan untuk mengontrol dan merawat. Gambar bagan sistem pendingin sekunder RSG-GAS seperti terlihat Gambar 1.

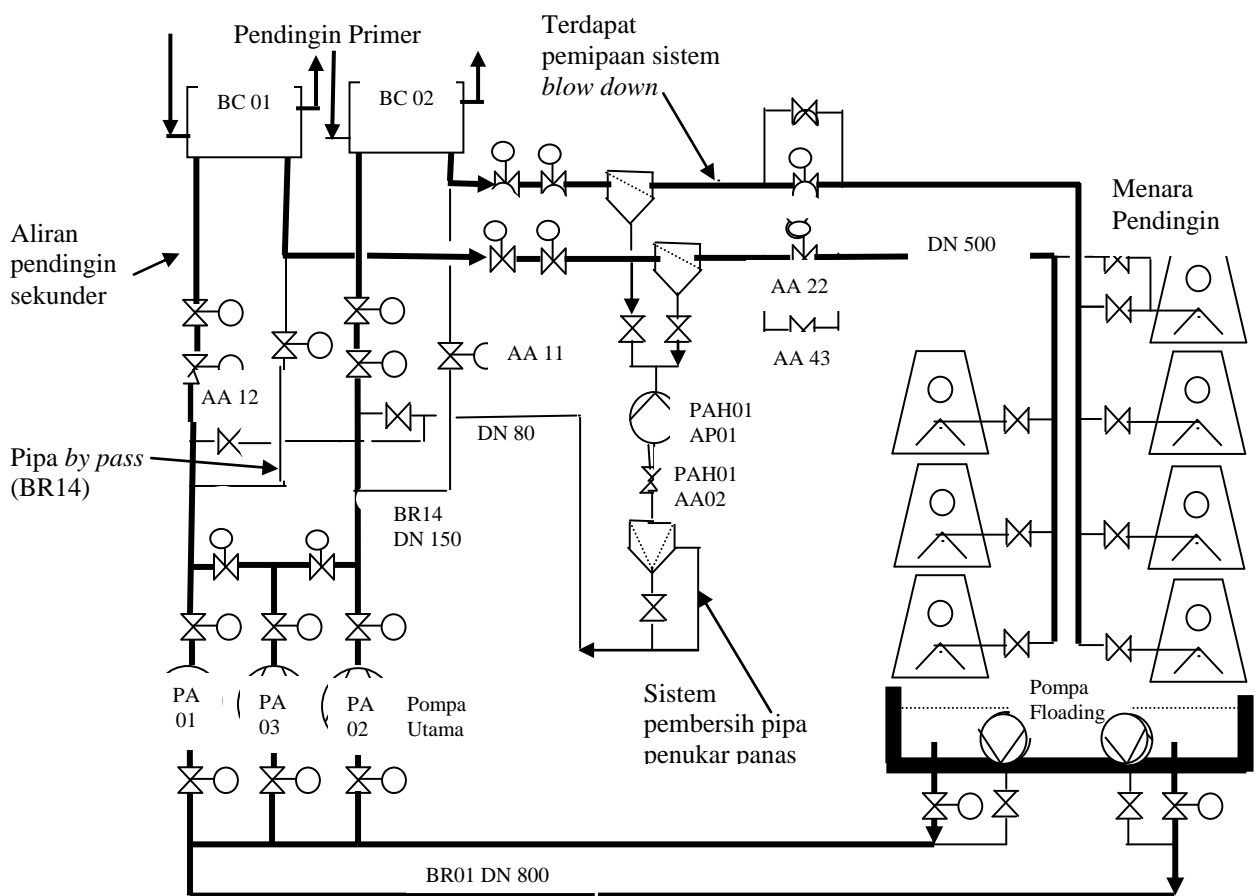
Sistem pendingin sekunder hanya boleh dijalankan jika kolam menara pendingin telah diisi air sampai pada batas operasinya yaitu > 4 meter. Masing-masing pompa dirancang untuk beban 50% dari beban total dan tidak diizinkan mengoperasikan sistem dengan lebih dari 2 pompa. Pompa ke 3 disediakan untuk cadangan.

Pompa-pompa pendingin sekunder adalah pompa sentrifugal 1 tingkat dengan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Sebelum pompa memikul beban, motor diputar sampai tercapai putaran operasi, kemudian secara otomatis kopling masuk memutar pompa untuk memikul beban. Untuk menghindari pembebanan yang tiba-tiba terhadap pompa, sebelum pompa dijalankan, 2 buah katup sisi keluar pompa yaitu PA01AA12 dan PA02AA12 dikondisikan dalam keadaan tertutup. Setelah putaran mencapai 80%, katup-katup tersebut akan otomatis membuka. Jika katup-katup tersebut gagal membuka dalam waktu 80 detik maka pemutus arus akan otomatis mematikan motor penggerak pompa.

Tabel 1. Spesifikasi pompa pendingin sekunder RSG-GAS¹¹

No.	Deskripsi	Satuan	Harga/keterangan
1	Tipe pompa	-	Sentrifugal, 1 tingkat
2	Diameter pipa sisi masuk	Mm	600
3	Diameter pipa sisi keluar	Mm	500
4	Kapasitas aliran	m ³ /jam	1950

7	Head Total	M	28
8	Daya motor PA01 AP01 / PA02 AP01	kwatt	220
9	Kecepatan putaran motor	Rpm	1480
10	Tegangan	Volt	380
11	Fase	-	3
12	Frekuensi	Hz	50
13	Faktor daya	-	0,86
14	Tekanan operasi sisi hisap	Bar	□ 0,28
15	Tekanan operasi sisi tekan	Bar	□ 3



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Pendingin Sekunder RSG-GAS.

Sistem pendingin sekunder RSG-GAS dilengkapi dengan subsistem-subsistem yang berfungsi untuk menjaga unjuk kerja sistem dan untuk mencegah penurunan integritas komponen-komponennya. Dibawah ini akan diuraikan secara singkat 4 subsistem yang berhubungan dengan system pengoperasian pompa pendingin sekunder.

1. Sistem pompa *floating*.

Sistem ini mempunyai 2 fungsi yaitu:

- Untuk mengisi seluruh jalur utama pipa pendingin sekunder dengan air, agar pada saat pompa utama dijalankan (*start-up*) tidak terjadi hentakan (*water hammer*) pada pipa tekan terutama pada pipa yang mempunyai elevasi tinggi.
- Berfungsi untuk mensirkulasi air kolam menara pendingin pada saat pompa utama tidak beroperasi, agar bahan kimia yang ditambahkan untuk mencegah korosi, lumut, pengkerakan, dan lain-lain bisa selalu terdistribusi secara merata pada seluruh jalur utama pipa.

2. Sistem *blow-down*

Sistem ini berfungsi secara otomatis membuka katup pembuangan untuk membuang air pendingin sekunder bila konduktivitas air telah melampaui harga batas yang diizinkan, dan menutup kembali apabila konduktivitas air sudah kembali ke harga batas normal.

3. Sistem pembersih pipa penukar panas.

Alat penukar panas yang digunakan di RSG-GAS adalah tipe *shell and tube*, dimana sistem pendingin sekunder pada sisi *tube* menggunakan 816 batang pipa tiap laluan dengan diameter masing-masing 22 mm. Untuk mencegah timbulnya pengkerakan pada pipa tersebut maka digunakan sistem pembersih pipa alat penukar panas dengan melewati bola-bola *spong* (bola

berserabut yang bisa mengempot) kedalam pipa-pipa secara kontinyu pada saat sistem pendingin sekunder beroperasi.

4. Sistem pemantau radiasi

Dalam alat penukar panas terdapat 2 macam air yang tidak diizinkan terjadi kontak secara langsung. Pada saat reaktor beroperasi air panas pada sistem pendingin primer mempunyai tingkat radiasi tinggi. Apabila terjadi kebocoran pada pipa-pipa alat penukar panas ada kemungkinan air pendingin primer masuk ke sistem pendingin sekunder. Apabila hal ini terjadi maka alat pemantau radiasi yang dipasang pada sisi keluar alat penukar panas mendeteksi adanya radiasi, dan bila tingkat radiasi melewati harga batas, alat pemantau radiasi secara otomatis memberikan perintah untuk menutup katup-katup isolasi alat penukar panas sekaligus mematikan pompa dan operasi reaktor. Dengan demikian air pendingin sekunder yang terkontaminasi tidak keluar ke menara pendingin sehingga pencemaran lingkungan melalui sistem pendingin dapat dicegah.

TATA KERJA

1. Memperkirakan berapa besar volume air yang berkurang ketika pompa mati dan memperhitungkan berapa volume air yang harus diisikan kembali ke sistem pemipaan agar diperoleh tekanan pada alat pengukur tekanan PA01/PA02 CP04 mengindikasikan $> 0,8$ bar.
2. Melakukan pengukuran laju alir baik pada sistem jalur 1 maupun sistem jalur 2, pada kondisi normal operasi dan pada kondisi katup *by-pass* dibuka.
3. Mempelajari desain pemipaan dan cara-cara pengoperasian pompa.
4. Melakukan analisis dengan membuang jalur-jalur pipa yang tidak diperlukan dan menambah/memindah pipa tersebut agar sistem

pengoperasian pompa cadangan atau pengoperasian pompa yang terganggu dapat berlangsung lebih cepat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data gangguan pengoperasian pendingin sekunder RSG-GAS, diperoleh data frekuensi penundaan operasi reaktor akibat kelambatan penanganan gangguan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Kegagalan operasi satu pompa pendingin sekunder yang mengganggu operasi reaktor dari siklus operasi 65 s/d 84³¹.

Tanggal	Pompa yang mati	Akibat gangguan	Keterangan
15-03-2009	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO66/05/2009
18-04-2009	Pompa 1	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO66/07/2009
15-11-2009	Pompa 1	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO69/05/2009
06-12-2009	Pompa 1	Operasi reaktor turun ke daya 7,5 MW	IO69/07/2009
14-12-2009	Pompa 1	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO69/08/2009
05-02-2010	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO70/04-2010
16-02-2010	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO70/05/2010
19-02-2010	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO70/05/2010
06-03-2010	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO70/06/2010
12-03-2010	Pompa 2	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO70/07/2010
22-03-2010	Pompa 2	Operasi reaktor dihentikan	IO70/08/2010
16-05-2010	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO71/04-2010
23-05-2010	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO71/05/2010
27-05-2010	Pompa 2	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO71/05-2010
20-06-2010	Pompa 2	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO71/07/2010
16-08-2010	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO72/03/2010
07-11-2010	Pompa 2	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO73/01-B/2010
15-01-2011	Pompa 2	Operasi reaktor dihentikan	IO73/07/2011
13-03-2011	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO74/03/2011
08-08-2011	Pompa 1	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO75/07/2011
16-10-2011	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO76/04/2011
30-10-2011	Pompa 2	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO76/05/2011
13-11-2011	Pompa 2	Operasi reaktor dihentikan	IO76/06/2011

21-11-2011	Pompa 2	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO76/07/2011
11-12-2011	Pompa 2	Operasi reaktor dihentikan	IO77/01-B/2011
26-02-2012	Pompa 1	Operasi reaktor dihentikan	IO77/07/2012
02-07-2012	Pompa 2	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO79/02/2012

Tabel 2: Kegagalan operasi satu pompa pendingin sekunder yang mengganggu operasi reaktor dari siklus operasi 65 s/d 84³¹. (Lanjutan)

03-10-2012	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO80/01-C/2012
04-11-2012	Pompa 2	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO80/05/2012
01-04-2013	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO82/05/2013
23-06-2013	Pompa 2	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO83/02/2013
19-10-2013	Pompa 3	Operasi reaktor dihentikan	IO84/02/2013
11-11-2013	Pompa 3	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO84/04/2013
26-11-2013	Pompa 2	Operasi reaktor turun ke daya rendah	IO84/05/2013*

*IO adalah Instruksi Operasi

Operasi tertunda karena desain mengharuskan bila terjadi kegagalan pada satu jalur, pompa pada jalur yang lain harus dimatikan terlebih dahulu untuk dilakukan pengisian air ke jalur pemipaan yang terganggu, agar kedua pompa dapat dioperasikan kembali secara bersamaan, dikarenakan:

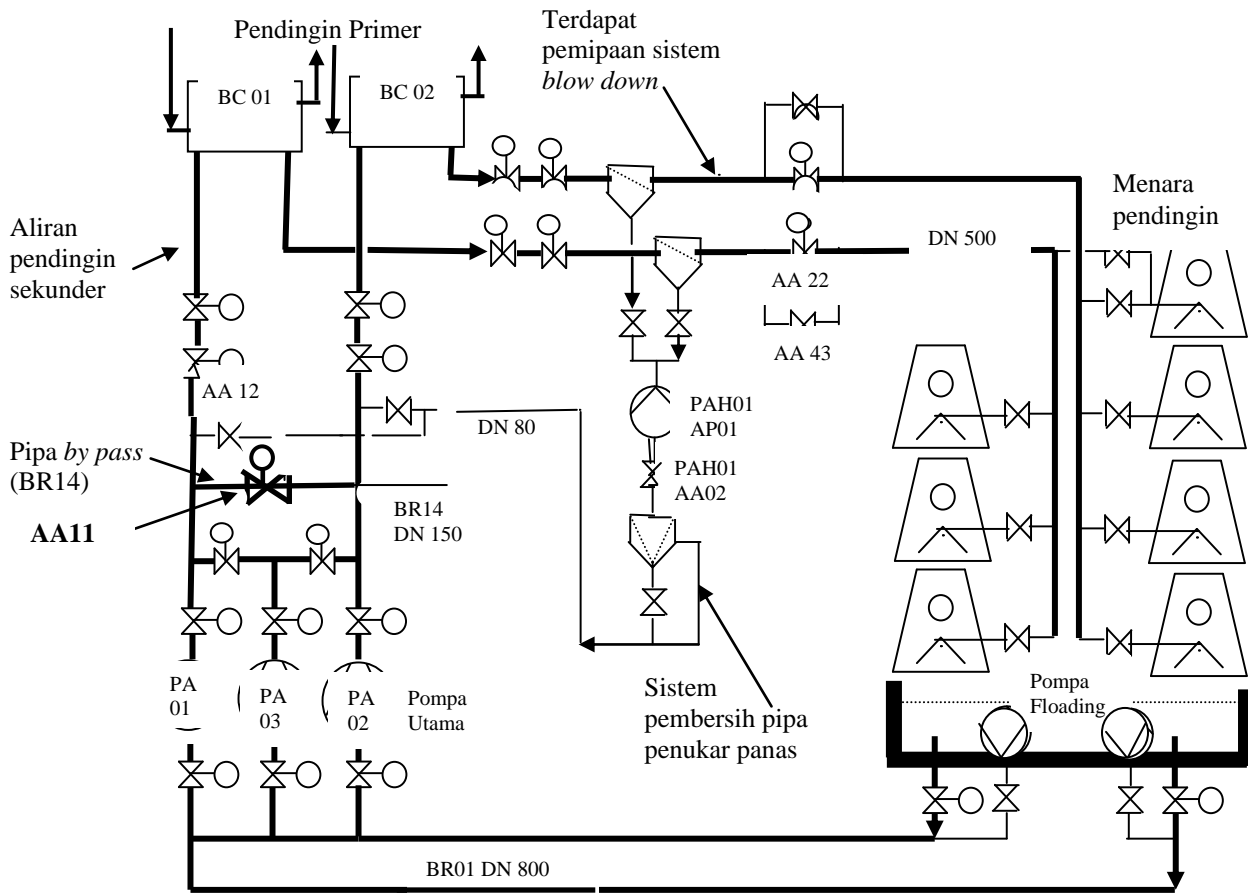
1. Tata letak komponen-komponen sistem pendingin primer dan sekunder sebagai berikut:
 - a. Permukaan air kolam reaktor pada level + 13,0 m.
 - b. Permukaan air kolam menara pendingin pada level 0,00 m.
 - c. Penukar panas pada posisi vertikal dengan pipa masuk/keluar sisi primer + 9,00 m dan sisi sekunder + 10,40 m.
 - d. Letak pompa pendingin primer pada level 0,00 m dan pompa pendingin sekunder pada level – 6,5 m.
2. Apabila pompa pendingin sekunder mati maka pada jalur pemipaan sisi sekunder pada level 0,00 m hingga + 10,40 m setelah *Heat Exchanger*

terjadi kekosongan karena air yang ada pada pipa tersebut akan mengalir secara gravitasi ke kolam menara pendingin.

3. Apabila pompa langsung dioperasikan kembali, akan terjadi pembebanan yang tiba-tiba, udara terjebak didalam pipa dan menyebabkan kavitasi. Oleh sebab itu seluruh jalur pemipaan harus terlebih dahulu dipenuhi air.
4. Berdasarkan pengalaman kegiatan ini memerlukan waktu yang cukup lama ± 1 jam⁴¹, sehingga jika kejadian ini terjadi pada akhir siklus maka operasi reaktor harus ditunda minimum 24 jam, atau bila terjadi pada awal siklus daya reaktor harus diturunkan ke daya rendah pada saat kedua pompa sekunder dimatikan.
5. Pada akhir siklus operasi dimana *burn-up* bahan bakar sudah cukup besar sehingga reaktivitas lebih teras sudah mengecil dan tidak mampu lagi untuk mengkompensasi racun Xe^{135} yang naik tajam setelah pemadaman reaktor, pengoperasian kembali reaktor hanya dapat dilakukan setelah aktivitas Xe^{135} meluruh dan waktu mati terlampaui. Waktu mati adalah waktu dimana reaktor tidak bisa dioperasikan karena reaktivitas Xenon¹³⁵ yang terbentuk lebih besar dari pada *core acces*.
6. Xe^{135} denganampang serapan neutron yang sangat besar $2,7 \times 10^6$ barn, terbentuk akibat reaksi fisi dan peluruhan I^{135} dikurangi peluruhan Xe^{135} dan reaksi serapan oleh neutron. Pada ≈ 40 jam, konsentrasi Xe^{135} akan mencapai setimbang yaitu jumlah seluruh Xe^{135} yang terbentuk sama dengan jumlah Xe^{135} yang hilang.
7. Untuk menyelesaikan masalah di atas dapat dilakukan dengan mengubah desain pemipaan seperti yang terlihat pada Gambar 3, yaitu memindah jalur pipa yang tidak digunakan (PA01 BR14, PA01 AA11

dan PA02 BR14, PA02 AA11), untuk dipasang sebagai pipa penghubung pada kedua sisi tekan pompa antara jalur 1 dan jalur 2.

Pipa PA01 BR14 dan PA02 BR14 adalah pipa yang digunakan untuk menghubungkan langsung aliran air dari pompa langsung ke pipa tekan pompa tanpa melewati penukar panas. Desain ini sebenarnya hanya digunakan untuk negara-negara yang mempunyai perubahan suhu udara yang ekstrim. Bila udara luar terlalu dingin tidak semua air pendingin sekunder dilewatkan penukar panas, untuk menghindari pendinginan yang berlebih pada teras reaktor, karena dapat mempengaruhi reaktivitas teras. Untuk Indonesia yang mempunyai perubahan suhu relatif kecil, pipa *by-pass* (BR14) seperti ditunjukkan pada Gambar 1 tidak pernah digunakan. Oleh karena itu kedua pipa yang telah dilengkapi katup regulator yang dapat dioperasikan dari RKU, akan sangat berguna bila dipasang untuk menghubungkan sisi tekan kedua jalur pompa, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu jalur, pengisian air pada jalur yang terganggu cukup diambil dari jalur lain yang masih beroperasi tanpa mematikan pompa utama dan tanpa mengoperasikan pompa *floading*.

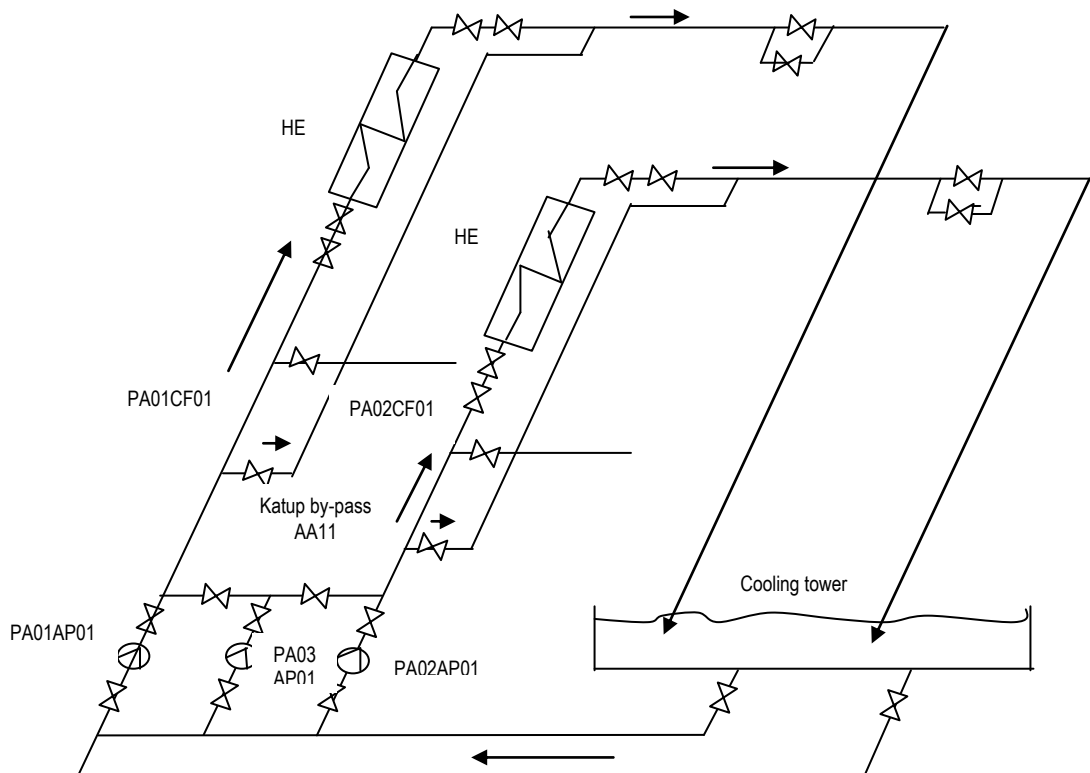


Gambar 3. Blok Diagram Sistem Pendingin Sekunder RSG-GAS yang direncanakan.

Agar setiap gangguan satu jalur pompa dapat diatasi dengan cepat dari RCU maka diperlukan penggantian katup manual pada sistem pembersih pipa-pipa penukar panas PAH01 AA02 dengan katup bermotor yang dapat dioperasikan dari RCU dan mampu memberikan perintah untuk mematikan pompa PAH01 AP01 apabila katup telah menutup. Hal ini diperlukan agar pada saat pengisian air dari jalur normal ke jalur yang terganggu, katup yang

terhubung pada kedua jalur ini dapat ditutup dengan cepat dan juga dapat mematikan pompa sistem PAH.

Dalam kajian, telah dilakukan suatu percobaan pengukuran laju alir pada PA01/PA02CF001, PA01/PA02CF002, dan PA01/PA02CF003 sewaktu katup PA01/PA02 AA11 dibuka, lihat Gambar 4.



Gambar 4. Arah aliran air ketika katup *by-pass* AA11 dibuka.

Hasil pengujian buka-tutup katup yang dilakukan pada tanggal 30-01-2015 terlihat pada Tabel 3. Dari Tabel 3 diketahui bahwa laju alir yang melewati pipa *by pass* adalah $100 \text{ m}^3/\text{jam}$ untuk pembukaan katup 50%, dan $200 \text{ m}^3/\text{jam}$ untuk pembukaan katup sebesar 85% dan 100%. Penampang pipa

keluaran *Heat Exchanger* yang akan diisi air karena kosong adalah 500 mm, penampang pipa yang digunakan untuk mengalirkan air adalah 150 mm, dan panjang pipa yang akan diisi ± 80 m. Dengan data tersebut maka volume pipa yang akan diisi air dapat dihitung yaitu $0,785 \times 0,5^2 \times 80 \text{ m} = 15,7 \text{ m}^3$. Laju alir pada pipa pengisi adalah $200 \text{ m}^3/\text{jam}$ atau $3,3 \text{ m}^3/\text{menit}$, jadi waktu yang diperlukan agar pipa terisi air penuh adalah $15,7 / 3,3 = 4,7$ menit.

Tabel 3. Hasil uji pembukaan katup PA01/PA02 AA11 pada tanggal 30 Januari 2015.

Sistem pendingin sekunder	Buka katup PA01/PA02 AA11 (%)	PA01/PA02 (m^3/jam)			Laju alir lewat pipa <i>by-pass</i>	Waktu buka katup 0-100% (detik)
		CF001	CF002	CF003		
Jalur 1 PA03AP01 ON	0	1950	1950	1950	0	
	50	1950	1850	1950	100	
	85	1950	1750	1950	200	18
	100	-	-	-	-	
Jalur 2 PA02AP01 ON	0	1950	1950	1950	0	
	50	1975	1875	1975	100	
	85	-	-	-	-	
	100	1950	1750	1950	200	22

Keuntungan perubahan desain ini adalah sebagai berikut:

- Biaya relatif kecil, karena hampir semua bahan menggunakan komponen yang telah ada dan tidak terpakai.
- Pelaksanaan pekerjaan relatif mudah karena pipa dan katup penghubung kedua jalur ini berukuran kecil dengan diameter 150 mm.
- Pelaksanaan penanganan gangguan dapat berlangsung dengan cepat karena semua langkah dapat dilaksanakan dan di monitor dari RKU.

- Tidak memerlukan pompa *flooding* untuk pengisian air ke jalur yang terganggu, karena pengisian air diambil dari jalur lain yang masih beroperasi normal.

Dengan memodifikasi sistem pemipaan pendingin sekunder diharapkan gangguan operasi yang disebabkan oleh gagalnya salah satu jalur pompa sekunder dapat diatasi dengan cepat dan kelancaran operasi reaktor RSG-GAS dapat dipertahankan.

KESIMPULAN

Dari hasil kajian disimpulkan bahwa modifikasi sistem pemipaan pendingin sekunder dapat memberikan solusi terhadap kegagalan salah satu pendingin sekunder yaitu bahwa pengoperasian kembali reaktor hanya membutuhkan waktu 5 menit. Sehingga kelancaran pemanfaatan fasilitas iradiasi dapat dipertahankan.

DAFTAR PUSTAKA:

1. ANONIM, “*Safety Analysis Report*, Reaktor Serba Guna GA.Siwabessy BATAN” Revisi 10.1, Jakarta 2011.
2. IMAN KUNTORO, “Diktat Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor”. Jakarta Th.1989.
3. ANONIM, “Buku Induk Operasi Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy BATAN”, Th. 2008 s/d 2013.
4. Slamet Wiranto, “Pengaruh Kegagalan Satu Pompa Pendingin Sekunder Terhadap Operasi Reaktor RSG-GAS”, Jakarta 2009.