

ANALISIS PEMULIHAN SISTEM REAKTOR SETELAH KEJADIAN TRANSIEN *STATION BLACKOUT* PADA PWR

Andi Sofrany Ekariansyah

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK

ANALISIS PEMULIHAN SISTEM REAKTOR SETELAH KEJADIAN TRANSIEN *STATION BLACKOUT* PADA PWR. Telah dilakukan analisis kejadian *Station Blackout* (SBO) pada PWR Standar Jepang berdasarkan hasil simulasi menggunakan RELAP5/SCDAP/Mod3.4. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kinerja sistem primer dan sekunder akibat tidak bekerjanya beberapa sistem keselamatan terekayasa dan sistem bantu serta prosedur pemulihannya setelah kejadian SBO. Kondisi analisis dibagi menjadi dua yaitu pertama dengan asumsi pompa *Auxiliary Feedwater System* (AFW) berpengerak turbin gagal dioperasikan dan kedua dimana pompa AFW berpengerak turbin dioperasikan selama baterai instalasi masih dapat menyuplai daya listrik DC setelah kejadian SBO. Dari hasil simulasi pertama diperoleh sekuensi kejadian bila daya listrik AC tidak dapat dipulihkan dalam waktu 60 menit ketika pembangkit uap kehabisan kapasitas air umpan. Waktu pemulihan tersebut lebih lama bila dibandingkan dengan hasil analisis pohon kejadian pada PWR Surry yaitu 30 menit. Dari hasil simulasi kedua diperoleh sekuensi kejadian bila pompa AFW berpengerak turbin gagal beroperasi setelah 4 jam yang merupakan waktu ketahanan baterai instalasi. Waktu tambahan yang tersedia untuk mencegah *core uncover* diperkirakan 3 jam dimana operator dapat memulihkan air suplai ke pembangkit uap atau melakukan depresurisasi sisi tekanan sekunder.

Kata kunci: waktu pemulihan, station blackout, PWR

ABSTRACT

ANALYSIS OF RECOVERY OF REACTOR SYSTEM AFTER *STATION BLACKOUT* EVENT ON PWR. A station blackout event (SBO) analysis on Japanese Standard PWR plant based on simulation using RELAP5/SCDAP/Mod3.4. The purpose is to know the performance of primary and secondary system due to unavailability of engineered safety features and auxiliary system and to assess the recovery procedures after SBO event initiation. Analysis condition is divided into two condition, first by assuming that turbine driven Auxiliary Feedwater (AFW) pumps are failed to operate and secondly, whenever those turbine driven AFW pumps are successfully operated as long as the plant battery supplying DC power is available. Based on the first simulation result, event sequences are obtained if offsite AC power can not be recovered within 60 minutes when the steam generator inventory is depleted. That time limit is longer than available recovery time for PWR Surry, which lasts for 30 minutes. Based on the second analysis condition, event sequences are obtained if turbine driven AFW pumps are failed to continuously operate after 4 hours operation when plant batteries are depleted. The added time available to mitigate core uncover is estimated 3 hours where operator is able to recover feedwater supply to steam generators or to depressurize secondary system.

Keywords: recovery time, station blackout, PWR

PENDAHULUAN

Pemanfaatan fisi nuklir di dalam PLTN memiliki resiko tersendiri yang direpresentasikan dengan keharusan adanya konsep pertahanan berlapis (*defence-in-depth*) baik secara desain fisik maupun secara filosofis sebagai persyaratan utama terjaminnya keselamatan nuklir. Walaupun demikian, untuk mengetahui tingkat keselamatan suatu PLTN, analisis keselamatan perlu dilakukan baik secara deterministik maupun probabilistik. Awal dari kegiatan analisis keselamatan adalah dengan mengasumsikan / mempostulasikan terjadinya kecelakaan dasar desain yang mungkin terjadi pada suatu PLTN terutama saat beroperasi. Terdapat beberapa pengkategorian kecelakaan

dasar desain yang dapat dijadikan referensi [1]. Namun secara umum dibagi menjadi dua yaitu kejadian kecelakaan dan kejadian transien. Salah satu jenis kejadian transien yang dapat terjadi adalah *Station Blackout* (SBO).

Station blackout berarti hilangnya catu daya listrik AC secara menyeluruh yang menyuplai switchgear bus yang penting maupun yang tidak penting pada suatu PLTN. Secara spesifik, *station blackout* terjadi akibat hilangnya sistem catu daya listrik *offsite* (*Loss of Offsite Power / LOOP*) yang terjadi bersamaan dengan trip turbin dan diikuti dengan gagalnya sistem catu daya listrik AC darurat onsite. LOOP dapat terjadi akibat kejadian eksternal seperti badai, kebakaran, gempa bumi,

kegagalan alat di dalam jaringan listrik atau switchyard atau karena kesalahan manusia. Sistem catu daya listrik AC onsite darurat biasanya terdiri dari beberapa generator diesel untuk setiap unit PLTN yang seharusnya menyuplai 4.16 kV *Class bus* terkait secara otomatis bila catu daya listrik AC *offsite* mengalami kegagalan. Sampai saat ini frekuensi kejadian *station blackout* yang pada dasarnya diawali dengan kejadian *loss of offsite power* termasuk dalam kejadian transien yang jarang terjadi. Kejadian terkini yang melibatkan SBO adalah yang terjadi pada PLTN Maashan Unit 1 di Taiwan [2]. Hal tersebut menunjukkan pentingnya pemahaman akibat yang dapat ditimbulkan dari kejadian SBO.

Satu-satunya cara untuk mencegah konsekuensi lebih lanjut akibat tidak beroperasi sistem keselamatan adalah dengan memulihkan kembali catu daya listrik AC baik catu daya listrik *offsite* atau melalui pemulihan generator diesel. Dari salah satu referensi [3], terdapat dua periode waktu pemulihan catu daya listrik yaitu jangka pendek dan jangka panjang. Interpretasi mengenai berapa lama periode jangka pendek dan jangka panjang adalah spesifik instalasi dan spesifik untuk sekuensi tertentu. Namun secara umum, jangka pendek berhubungan dengan jangka waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya *core uncover* bila sistem keselamatan tidak berfungsi, sementara jangka panjang berhubungan dengan waktu ketika catu daya listrik DC dari baterai instalasi kehabisan daya.

Berdasarkan latar belakang di atas, ruang lingkup penelitian adalah simulasi kejadian SBO untuk mengetahui waktu pemulihan sistem reaktor PWR. Simulasi akan dilakukan menggunakan program perhitungan termohidraulik RELAP5/SCDAP/Mod3.4. Hasil simulasi dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui kinerja sistem primer dan sekunder akibat tidak bekerjanya beberapa sistem keselamatan terekayasa dan sistem bantu serta prosedur pemulihannya setelah kejadian SBO. Tujuan umum dari penelitian ini adalah mengetahui waktu pemulihan yang sesuai untuk tipe PWR yang dijadikan objek analisis. Selain itu diharapkan dapat diketahui prosedur pemulihan setelah kejadian SBO, sekaligus peningkatan keahlian dalam pemodelan reaktor dan simulasi kejadian transien menggunakan RELAP5.

METODE ANALISIS

Deskripsi Waktu Pemulihan setelah Station Blackout

NUREG/CR-4450 [4] berisi hasil studi *Probabilistic Safety Assessment* (PSA) Level 1 pada beberapa PWR di Amerika, dimana salah

satunya berdasarkan kejadian pemicu SBO. Kajian yang dilakukan pada PWR Surry yang merupakan PWR dengan 3 untai pendingin, menghasilkan pohon kejadian (*event tree*) yang berisi sekuensi kejadian setelah kejadian pemicu SBO beserta konsekuensi terhadap teras. Dari studi tersebut diperoleh beberapa waktu pemulihan yang spesifik untuk PWR Surry yang diperoleh dari analisis deterministik yaitu waktu pemulihan 30 menit dan 4 jam setelah SBO.

Waktu pemulihan 30 menit, merupakan waktu minimum yang diperlukan untuk memulihkan catu daya listrik *offsite*. Waktu tersebut berhubungan dengan lama waktu dimana Pembangkit Uap kehabisan air umpan karena tiadanya suplai air umpan bantu yang dipasok dari Sistem Air Umpan Bantu (*Auxiliary Feedwater System / AFW*) akibat kehilangan catu daya listrik. Bila air umpan baru bisa disuplai ke Pembangkit Uap setelah 30 menit, maka tidak tersedia waktu yang cukup untuk mengisi Pembangkit Uap dan membantu pendinginan sistem primer sehingga membahayakan keselamatan teras. Waktu pemulihan 4 jam berhubungan dengan waktu dimana baterai instalasi yang mensuplai catu daya listrik DC kehabisan muatannya. Tidak tersedianya baterai instalasi menyebabkan tidak adanya daya instrumentasi dan kendali instalasi sehingga membatasi kemampuan untuk menjaga pendinginan sistem primer.

Referensi [5] juga menguraikan studi PSA terhadap reaktor PWR tipe APR-1400 yang juga berkaitan dengan kejadian pemicu *Station Blackout*. Pada studi tersebut, ketiadaan air suplai bantu akan menyebabkan habisnya (*dryout*) inventori air di dalam pembangkit uap dalam waktu 40 menit. Bila catu daya listrik AC dapat dipulihkan dalam waktu tersebut, pompa AFW berpenggerak motor (*motor driven pump / MDP-AFW*) dapat digunakan untuk menyuplai pembangkit uap dan kerusakan teras dapat dihindari. Bila pompa AFW berpenggerak turbin (*turbine driven pump / TDP-AFW*) dapat dijalankan, habisnya daya baterai dapat terjadi 8 jam setelah inisiasi pompa AFW berpenggerak turbin dan menyebabkan trip pompa akibat tidak adanya daya listrik DC untuk pengendali turbin.

Bila pembuangan panas sekunder tidak dapat berfungsi semestinya, teras akan mengalami kerusakan akibat tidak terendam pendingin setelah 2 jam kemudian.

Deskripsi Instalasi PWR

Instalasi PWR yang akan dijadikan acuan adalah PLTN Standar Jepang. Walaupun

termasuk PWR Generasi II, PLTN ini dipilih karena tersedianya data instalasi yang lengkap serta telah dimodelkan dalam bentuk nodalisasi RELAP5 [6]. PLTN tersebut memiliki daya 1160 MWe atau 3412 MWt dan terdiri dari 4 untai pendingin primer dengan 4 pembangkit uap dengan spesifikasi desain seperti ditunjukkan dalam Tabel 1. Empat untai pendingin primer dimodelkan menjadi satu untai dengan *pressurizer* (untai A) dan satu untai lain (untai B) yang mewakili 3 untai pendingin primer dengan besaran volume dan laju alir tiga kali untai A. Pemodelan yang ada telah mencakup beberapa fitur keselamatan penting seperti sistem proteksi reaktor untuk men-shutdown reaktor, sistem kendali tekanan *pressurizer* (*Power Operated Relief Valve / PORV*), sistem kendali tekanan pembangkit uap (*Main Steam Safety Valve / MSSV* dan *Main Steam Relief Valve / MSR*), sistem pendinginan teras darurat (*High Pressure Injection System / HPIS*), sistem kendali *bypass* turbin (*Turbine Bypass Valve / TBV*) dan simulasi tindakan operator untuk mengoperasikan beberapa fitur keselamatan secara manual. Beberapa modifikasi nodalisasi dan tambahan input data telah dilakukan dan telah diterapkan untuk kepentingan validasi input berdasarkan kejadian kecelakaan tertentu [7].

Pengaruh Hilangnya Catu Daya Listrik pada Sistem Reaktor

Berdasarkan deskripsi mengenai SBO dalam referensi [4], hilangnya catu daya listrik AC (*offsite* dan *onsite*) akan mempengaruhi fungsi sistem proteksi, sistem keselamatan terekayasa dan sistem bantu, yaitu:

- *inadvertent* trip pada reaktor akibat hilangnya catu daya listrik pada perangkat elektromagnetik batang kendali

- tidak berfungsinya pompa *charging* sebagai bagian dari sistem pendingin teras darurat (*Emergency core cooling system / ECCS*)
- tidak berfungsinya pompa sistem air pendinginan komponen yang menyediakan pendinginan pada motor dan seal pompa pendingin primer
- tidak berfungsinya pompa air umpan utama (*Main Feedwater System / MFW*) dan trip turbin akibat trip reaktor
- tidak berfungsinya pompa AFW berpengerak motor
- tidak berfungsinya katup pembebas uap (*main steam relief valve / MSR*)
- tidak berfungsinya katup *bypass* turbin untuk membuka

Pemilihan Kasus untuk Dianalisis

Untuk memperoleh waktu pemulihan setelah kejadian SBO, beberapa asumsi dibuat sebagai bagian dari kondisi analisis, yaitu:

- semua pompa AFW berpengerak turbin diasumsikan gagal berfungsi setelah hilangnya catu daya listrik AC
- semua pompa AFW berpengerak turbin diasumsikan berfungsi selama baterai instalasi masih dapat menyediakan daya listrik DC. Lama waktu tersedianya baterai dipilih 4 jam (desain baterai PWR Surry).

Kondisi analisis pertama dipilih untuk memperoleh waktu pemulihan yang berhubungan dengan habisnya air umpan di dalam pembangkit uap. Kondisi analisis kedua dipilih untuk mengetahui waktu yang tersedia untuk memulihkan sistem reaktor setelah habisnya baterai instalasi.

Tabel 1. Data Desain PWR Standar Jepang

Parameter	Nilai
Sistem primer	
Tekanan (MPa)	15,70
Daya (MWt/MWe)	3411/1160
Laju alir per untai (kg/detik)	4173
Temperatur pendingin (K)	
➤ Keluar /masuk teras	598 / 562
Level <i>pressurizer</i>	60 %
Sistem sekunder	
Tekanan (MPa)	6,15
Laju alir uap (kg/detik)	420
Level pembangkit uap (m)	± 12

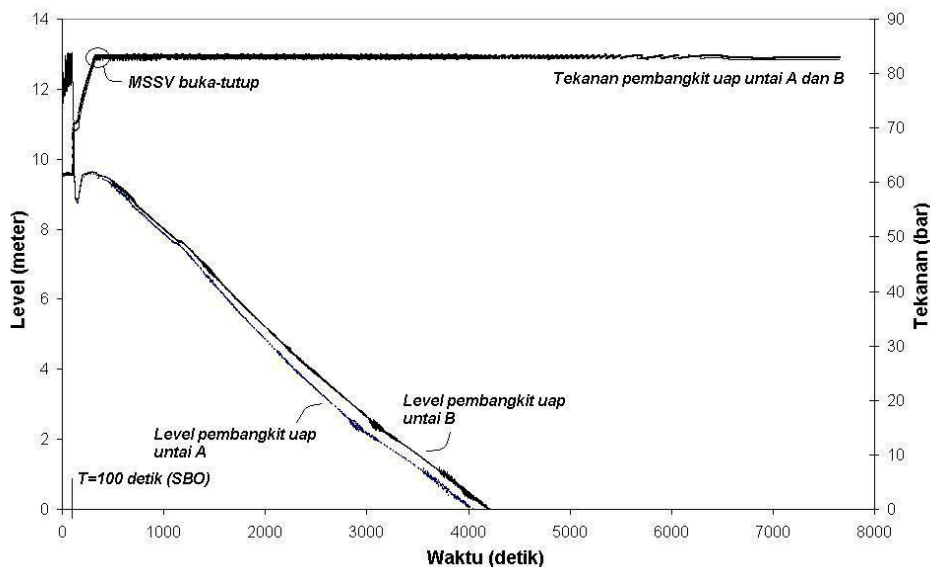
Pada semua kasus yang akan dianalisis, diasumsikan pompa AFW berpengerak turbin akan menyuplai air umpan secara terus menerus dari tangki AFW dengan laju alir 15,97 kg/detik. Inisiasi kejadian SBO akan disimulasikan setelah kondisi tunak tercapai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

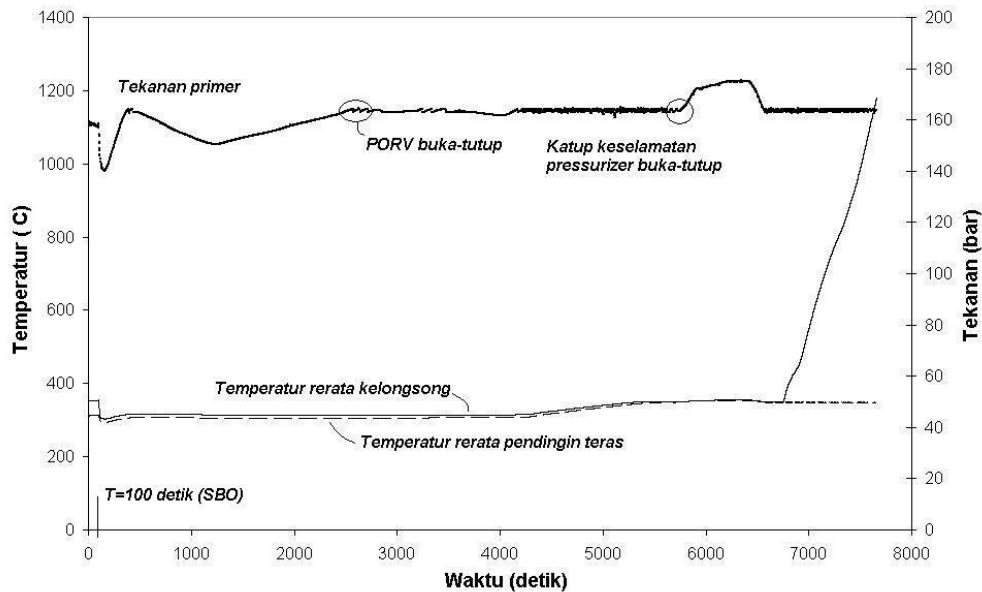
Simulasi SBO dilakukan setelah perhitungan untuk mencapai kondisi tunak selama 100 detik. Setelah T=100 detik, hilangnya catu daya listrik AC disimulasikan langsung berdampak pada bekerjanya sistem proteksi reaktor untuk *shutdown* reaktor secara otomatis akibat hilangnya daya listrik pada trip breaker. Trip reaktor tersebut memicu trip turbin, matinya pompa air umpan utama, dan katup *bypass* turbin membuka untuk membuang uap ke kondenser. Hilangnya daya listrik AC juga menyebabkan tidak bekerjanya katup pembebas uap utama (Main Steam Relief Valve / MSRV) sehingga memaksa pengaturan tekanan sekunder melalui katup keselamatan uap utama (Main Steam Safety Valve / MSSV) yang bekerja pada batasan tekanan yang lebih tinggi sehingga meningkatkan temperatur sisi sekunder dan juga menyebabkan meningkatnya temperatur pada sistem primer yang menyebabkan katup PORV *pressurizer* untuk membuka dan menutup. Hilangnya daya listrik juga membuat pompa AFW berpengerak motor tidak berfungsi dan seharusnya pompa AFW berpengerak turbin dapat bekerja menyuplai air umpan bantu dari tangki AFW ke pembangkit uap.

Pada kondisi analisis pertama, pompa AFW berpengerak turbin diasumsikan tidak bekerja, sehingga tidak ada lagi suplai air umpan ke

pembangkit uap. Air umpan di dalam pembangkit uap akan turun dengan cepat dari tinggi nominal 12 meter dan akan habis pada kisaran waktu 3900 detik (65 menit) untuk pembangkit uap di loop A dan 4200 detik (70 menit) untuk pembangkit uap di loop B setelah inisiasi kejadian SBO. Menurunnya inventori air umpan di pembangkit uap menyebabkan berkurangnya kapasitas perpindahan panas dari sisi primer ke sekunder. Sisi sekunder menjadi terlalu banyak menerima panas dari sisi primer dan menyebabkan kenaikan tekanan pembangkit uap. Kenaikan tekanan sekunder tersebut mencapai *setting* operasi MSSV pada T=260 detik setelah SBO dimana MSSV akan membuka dan menutup untuk mengendalikan tekanan sekunder. Gambar 1 menunjukkan perubahan level dan tekanan sekunder di pembangkit uap. Sementara pada sisi primer, panas peluruhan yang diterima pendingin primer tidak lagi dapat dipindahkan dengan kapasitas yang mencukupi ke sisi sekunder karena tidak berfungsinya pompa ECCS yang bergantung pada daya listrik hingga menyebabkan peningkatan tekanan primer. Tekanan primer akan naik hingga mencapai *setting* operasi PORV *pressurizer* dan katup tersebut akan membuka dan menutup pada T=335 detik setelah SBO. Panas peluruhan tersebut juga menyebabkan peningkatan temperatur rata-rata pendingin di kanal bahan bakar dari 560 K (287 °C) hingga mencapai 620 K (347 °C) dan peningkatan temperatur rata-rata kelongsong bahan bakar hingga hingga 360 °C sebelum naik drastis hingga 1456 K (1183 °C) pada T=7563 detik (2 jam) setelah kejadian SBO seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Perubahan Level dan Tekanan Pembangkit Uap setelah SBO (pompa AFW gagal)



Gambar 2. Perubahan tekanan primer, temperatur pendingin teras dan kelongsong bahan bakar setelah SBO (pompa AFW gagal)

Secara umum, kriteria keselamatan bahan bakar untuk PWR adalah 1200 °C untuk temperatur kelongsong bahan bakar. Pada sisi pendingin primer, temperatur fluida telah mencapai batasan temperatur saturasinya yang menunjukkan terjadinya *boiling*. Pada saat mulai terjadinya *boiling* tersebut, tekanan primer bahkan naik drastis hingga katup PORV pressurizer tidak dapat lagi beroperasi secara buka-tutup dan memicu beroperasinya katup keselamatan pressurizer. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa teras tidak terdinginkan dengan memadai dan mulai memasuki proses *core uncover*. Bila waktu dimana pembangkit uap mulai kehabisan air

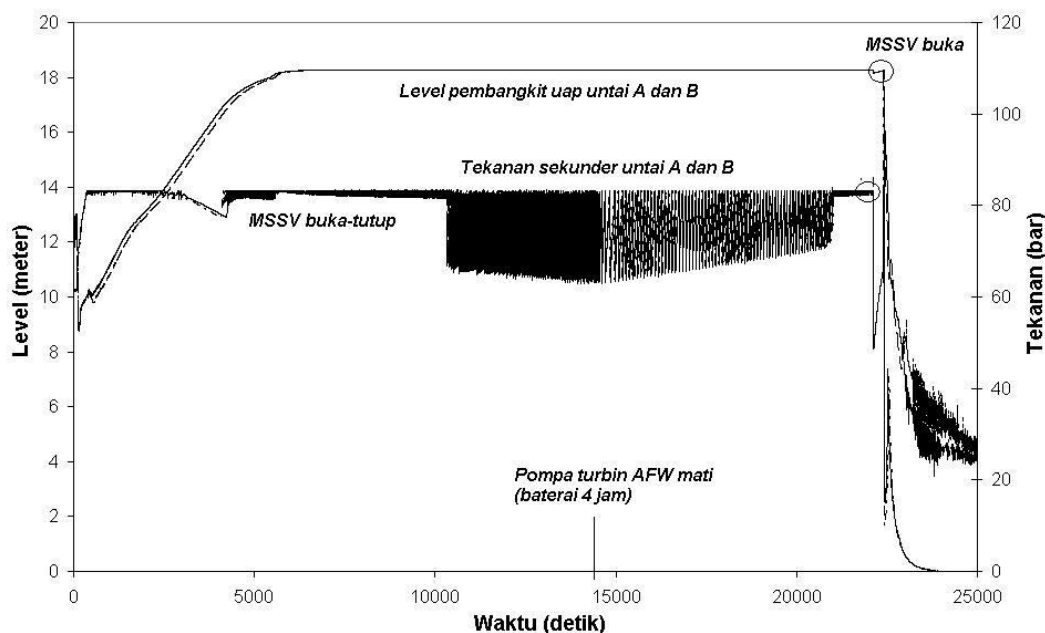
umpan di atas dijadikan acuan waktu pemulihan awal, maka diperoleh waktu pemulihan untuk PWR Standar Jepang yaitu pada kisaran 65 sampai 70 menit dimana operator dapat memulihkan catu daya listrik AC dan mengoperasikan pompa AFW berpengerak motor. Bila hingga waktu itu pemulihan belum tercapai, terdapat waktu kritis sekitar 1 jam sebelum teras mengalami kegagalan. Tabel 2 merangkum sekuensi kejadian SBO dengan asumsi pompa AFW berpengerak turbin mengalami kegagalan untuk mengetahui waktu pemulihan pertama.

Tabel 2. Urutan Sekuensi Kejadian SBO akibat tidak bekerjanya pompa turbin AFW

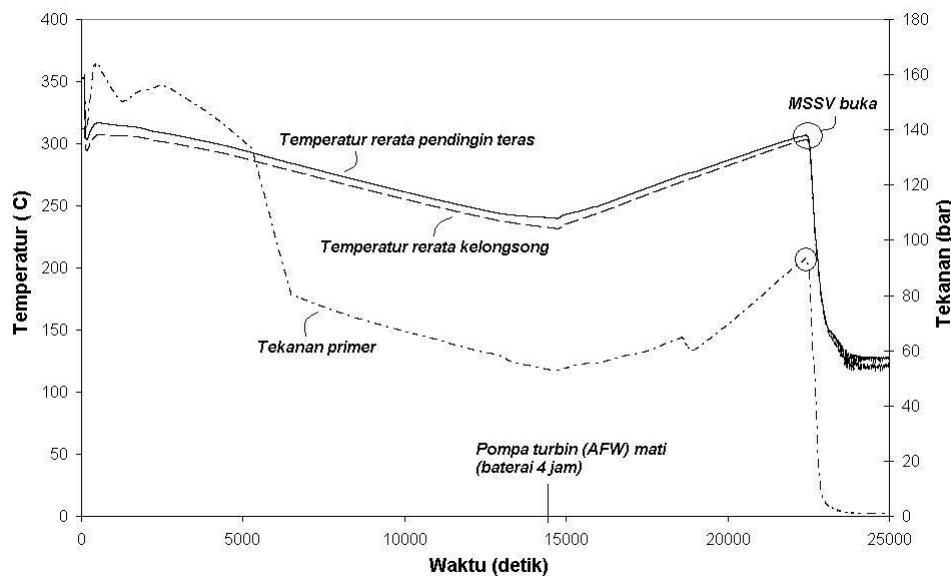
Waktu (detik)	Kejadian	
T=0	Catu daya listrik AC hilang	
T=0+	Trip reaktor	- trip turbin - katup bypass turbin buka
T=60	pompa turbin AFW gagal bekerja	
T=260	Katup MSSV buka-tutup	- 83,3 bar (buka) - 83,2 bar (tutup)
T=335	Katur PORV pressurizer buka-tutup	- 164 bar (buka) - 162 bar (tutup)
T=3900 (65 menit)	Air pembangkit uap untai A habis	
T=4200 (70 menit)	Air pembangkit uap untai B habis	
T=7563	Teras dalam kondisi kritis	Temperatur kelongsong 1470 K (kriteria keselamatan 1200 °C)

Pada kondisi analisis kedua, pompa AFW berpengerak turbin diasumsikan dapat beroperasi pada untai A dan untai B. Berfungsinya pompa AFW tersebut ternyata mencukupi untuk menyuplai air umpan ke pembangkit uap, seperti terlihat pada meningkatnya level air umpan pada Gambar 3. Level air umpan bahkan naik hingga menyebabkan meningkatnya tekanan di kubah uap dan mencapai ke posisi MSSV. Pada sisi primer, walaupun pompa primer tidak berfungsi namun masih ada aliran yang disebabkan dari perpindahan panas peluruhan secara konveksi alam. Tekanan primer juga mengalami kenaikan namun masih jauh dibawah setting katup PORV. Dari sisi teras, temperatur pendingin rata-rata di kanal bahan bakar mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa teras berada pada kondisi aman. Pada simulasi pertama, pompa AFW berpengerak turbin bekerja selama 4 jam (14400 detik) sesuai dengan desain baterai PWR Surry. Setelah itu pompa AFW tidak berfungsi karena tidak adanya daya listrik untuk mengendalikan instrumentasi dan kendali pompa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa setelah pompa AFW berpengerak turbin tersebut tidak berfungsi, air umpan yang tersedia di pembangkit uap mengalami perubahan fase yang menunjukkan terjadinya *boiling* di kubah uap dan juga ditunjukkan dengan meningkatnya temperatur air umpan. Perubahan yang terjadi pada sisi primer ditunjukkan dengan meningkatnya tekanan primer, naiknya temperatur pendingin rata-rata

kanal bahan bakar dan meningkatnya temperatur rata-rata kelongsong bahan bakar. Hal tersebut menunjukkan bahwa panas peluruhan telah menaikkan temperatur pendingin sisi primer yang kemudian memanaskan sisi sekunder sehingga teras tidak mengalami pendinginan secara memadai. Namun simulasi berhenti pada $T=22300$ detik karena keterbatasan numerik perhitungan oleh RELAP5. Pada waktu tersebut, kelongsong bahan bakar telah mencapai temperatur 575 K (302 °C) dan menunjukkan kecenderungan terus meningkat. Dengan demikian terdapat waktu sekitar 7800 detik atau 2 jam setelah habisnya baterai instalasi untuk memulihkan daya listrik AC. Bila kriteria keselamatan temperatur kelongsong bahan bakar pada hasil analisis pertama yaitu 1473 K (1200 °C) dijadikan acuan kegagalan teras, diperkirakan masih ada tambahan waktu hingga 3 hingga 4 jam setelah baterai habis untuk memulihkan daya listrik AC. Tindakan pemulihan dapat dilakukan dengan mengoperasikan pompa AFW berpengerak motor atau membuka katup MSSV untuk menurunkan tekanan sekunder. Pembukaan katup MSSV pada waktu sebelum simulasi terhenti terlihat dapat menurunkan tekanan sekunder secara drastis yang menyebabkan penurunan tekanan primer dan temperatur rerata kelongsong bahan bakar seperti terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Perubahan Level dan Tekanan Pembangkit Uap setelah SBO (pompa turbin AFW bekerja 4 jam)



Gambar 4. Perubahan tekanan primer, temperatur rerata pendingin teras dan kelongsong bahan bakar setelah SBO (pompa turbin AFW bekerja 4 jam)

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi *Station Blackout* pada PWR Standar Jepang, diperoleh waktu yang tersedia untuk memulihkan daya listrik pada tahap awal hingga 70 menit sebelum pembangkit uap kehabisan air akibat tidak bekerjanya pompa AFW berpengerak turbin. Waktu tersebut berarti lebih lama dibandingkan dengan waktu pemulihan pada PWR Surry yaitu 30 menit. Bila diasumsikan pompa AFW berpengerak turbin dapat bekerja dengan bantuan baterai pada desain PWR Surry selama 4 jam, sisi sekunder masih memiliki aliran suplai air umpan yang memadai untuk memindahkan panas dari sisi primer secara mencukupi. Namun setelah 4 jam dimana pompa AFW berpengerak turbin kehilangan daya listrik baterai dan tidak bisa menyuplai air umpan, terjadi penurunan perpindahan panas sisi primer oleh sisi sekunder yang mengarah ke kenaikan temperatur rerata kelongsong bahan bakar. Bila kriteria keselamatan teras berupa temperatur kelongsong bahan bakar sebesar 1200 °C tidak boleh terlampaui, maka diperkirakan masih ada tambahan waktu hingga 3-4 jam setelah baterai habis untuk memulihkan daya listrik AC.

DAFTAR PUSTAKA

1. JNES, "Outline of Safety Design (Case of PWR)", BAPETEN Investigation Mission on Nuclear Safety and Regulation, 2004
2. ATOMIC ENERGY COUNCIL, "The Station Blackout Incident of the Maashan NPP Unit 1", Report, 18 April 2001

3. CURTIS L. SMITH, et al, "Modelling Power Non Recovery using the SAPPHERE Risk Assessment Software, Bechtel Idaho Falls
4. NUREG/CR-4450, "Analysis of Core Damage Frequency, Vol.1, NUREG, 1990
5. SSAR APR-1400
6. NUCLEAR POWER ENGINEERING CORPORATION (NUPEC), "PWR Safety Analysis Training Text", Long Term Training Course on Safety Regulation and Safety Analysis, September – December 1997, Tokyo, Japan
7. ANDI SOFRANY E, SURIP WIDODO, "Analisis Kejadian Steam Generator Tube Rupture (SGTR) Berdasarkan Skenario Mihama Unit 2", Jurnal Teknologi Reaktor Tri Dasa Mega (dalam proses)

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

Bagaimana waktu pemulihan untuk reaktor-reaktor jenis PWR pada generasi terbaru, karena yang dijadikan objek analisis makalah ini masih PWR Generasi II ?

(Sugiyanto, PTRKN-BATAN)

Jawaban :

Untuk reaktor PWR terbaru seperti AP-1000, waktu pemulihan untuk isi pembangkit uap hingga habis adalah 40 menit, sementara waktu pemulihan yang berhubungan dengan baterai instalasi adalah 8 jam ditambah dengan 2 jam sebelum *core recovery* terjadi.