

**ANALISIS KECELAKAAN STEAM GENERATOR TUBE RUPTURE (SGTR)
DAN PENGISOLASIANNYA PADA PWR**

Oleh :

Andi Sofrany Ekariansyah

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS KECELAKAAN STEAM GENERATOR TUBE RUPTURE (SGTR) DAN PENGISOLASIANNYA PADA PWR. Telah dilakukan analisis kecelakaan SGTR serta pengisolasiannya pada PWR dengan menggunakan program perhitungan RELAP/SCDAP. Dalam analisis ini, digunakan PWR standar yang mengacu pada PLTN Tsuruga Unit 2 sebagai model. Analisis dilakukan pada hasil simulasi SGTR berdasarkan data input RELAP yang dibuat NUPEC, dimana respon sistem kendali reaktor sepenuhnya bergantung pada setting otomatis. Kendali manual hanya dilakukan untuk mencapai pengisolasian kebocoran. Dari hasil simulasi terlihat adanya respon sistem kendali reaktor terhadap kebocoran melalui SGTR sesuai skenario yang diharapkan seperti trip reaktor, aktuasi sistem kendali air umpan, sistem kendali *bypass* turbin, sistem kendali pembebas uap, dan aktuasi injeksi keselamatan. Dengan asumsi terjadi kegagalan pengisolasian kebocoran pada tahap awal, air umpan di sisi sekunder memenuhi kubah uap di pembangkit uap yang bocor maupun yang utuh sehingga memicu terbukanya katup pembebas uap (MSRV) dan terlepasnya produk fisi secara berlebihan ke lingkungan. Namun pengisolasian kebocoran melalui aktuasi katup pembebas *pressurizer* (PORV) yang diikuti dengan penghentian injeksi keselamatan secara manual berhasil dilakukan. Skenario yang diperoleh memperlihatkan perlunya modifikasi pada beberapa sistem kendali reaktor di atas agar dapat dijalankan secara manual sehingga sekuensi kecelakaan yang diperoleh dapat lebih mirip dengan yang ada dalam referensi.

Kata kunci: SGTR, RELAP/SCDAP, Isolasi kebocoran

ABSTRACT

ANALYSIS OF STEAM GENERATOR TUBE RUPTURE (SGTR) ACCIDENT AND ITS ISOLATION ON PWR. An Analysis of SGTR accident and its isolation on PWR using RELAP/SCDAP has been done. This analysis uses a standard PWR referring on Tsuruga Unit 2 NPP as a model. The analysis is performed at results of SGTR simulation based on RELAP input file developed by NUPEC, where responses of reactor control system entirely depend on automatic setting. Manual control is only done to achieve the leakage isolation. The simulation results show that the reactor control system has responded as expected such as reactor trip, actuation of feedwater control system, turbine bypass control system, main steam relief control system, and safety injection. By assuming that the leakage isolation is failed at the early stage, the feedwater inside the secondary side has overflowed the steam dome of the affected and the intact steam generator, which triggers the opening of main steam relief valves (MSRV) as also the uncontrolled release of fission products to the environment. Nevertheless, the leakage isolation by actuating the pressurizer relief valves (PORV) followed by termination of the safety injection, both manually, has been successfully achieved. The resulted accident scenario shows the necessity to modify several reactor control systems mentioned before into manual actuation, so that the accident sequences will be more identical with the references.

Keywords: SGTR, RELAP/SCDAP, Leakage Isolation

PENDAHULUAN

Dalam suatu Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), energi dibangkitkan dari hasil reaksi fisi yang juga menghasilkan produk yang bersifat radioaktif. Oleh karena itu aspek keselamatan dalam PLTN merupakan hal utama yang ditujukan untuk mencegah tersebarnya produk fisi mulai dari tahap desain hingga dekomisioning.

Pada tahap desain, perlu dilakukan analisis kecelakaan untuk mengetahui apakah desain tersebut telah memenuhi persyaratan keselamatan

yang ditetapkan. Salah satu analisis kecelakaan adalah analisis secara deterministik, dimana suatu kecelakaan diasumsikan terjadi pada suatu instalasi untuk dipelajari bagaimana sekuensi kecelakaan dan karakteristik tanggapan instalasi terhadap kecelakaan. Hasil akhir dapat berupa kesimpulan apakah integritas instalasi untuk menahan tersebarnya produk fisi dapat terjamin atau tidak. Seandainya terjadi pelepasan produk fisi, apakah melampaui batas yang diizinkan atau tidak.

Khusus untuk PLTN jenis PWR, salah satu asumsi kecelakaan yang dapat mempercepat pelepasan produk fisi adalah kecelakaan pecahnya pipa pembangkit uap (*Steam Generator Tube Rupture / SGTR*) sehingga terjadi kebocoran air pendingin dari sisi primer ke sisi sekunder dan selanjutnya ke lingkungan melalui turbin atau kondenser.

Kecelakaan SGTR bukan merupakan kecelakaan yang sering terjadi namun pernah terjadi di PLTN Mihama Unit No. 2 yang merupakan PWR dengan 2 untai pendingin. Penyebab terputusnya pipa pembangkit uap adalah dari vibrasi frekuensi tinggi yang ditimbulkan oleh aliran fluida diantara tabung pemanas yang disebabkan tidak terpasangnya komponen anti vibrasi secara lengkap saat konstruksi.

Dari aspek termohidraulika, kejadian kecelakaan tersebut melibatkan fenomena multifase, sehingga analisisnya harus dilakukan dengan bantuan program komputer. Salah satu program komputer yang dapat mensimulasi sekuensi kecelakaan pada PWR beserta respon sistemnya adalah RELAP/SCDAP. Untuk itu digunakan data input yang dibuat oleh NUPEC^[1] dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana respon sistem PLTN menanggapi kejadian kecelakaan SGTR dan bagaimana pengisolasian kebocoran yang terjadi sehingga SGTR dapat dihentikan. Sebagai pembanding hasil yang diperoleh digunakan deskripsi SGTR pada referensi^[1] dan^[2].

DESKRIPSI RELAP/SCDAP

RELAP/SCDAP^[3] adalah program perhitungan termohidraulika yang dikembangkan untuk menganalisis keseluruhan perilaku termohidraulika sistem pendingin reaktor dan teras dalam kondisi operasi normal, kondisi kecelakaan dasar desain, dan bahkan kecelakaan parah. Program ini dikembangkan dari model *node* dan *junction* satu dimensi untuk menghitung keseluruhan perilaku termohidraulika sistem pendingin.

Model-model yang digunakan merupakan model hidrodinamika *non-equilibrium* dan *non-homogeneous* sistem fluida multifasa. Komponen hidrodinamika dapat memodelkan *single volumes*, *time-dependent volumes*, pipa, anulus, percabangan, akumulator, maupun pompa. Setiap model hidrodinamika saling terhubung dengan model *junction*, baik berupa *time-dependent junction*, *single/multiple-junction*, atau katup. Struktur panas (*heat structure*) terdapat pada komponen pembangkit panas, termasuk teras, maupun pada bagian dimana terjadi perpindahan panas yang dihubungkan dengan komponen hidrodinamika.

Inisial SCDAP memperlihatkan kemampuan RELAP dalam menghitung perilaku teras dan struktur bejana reaktor dalam kondisi normal dan

kecelakaan khusus untuk reaktor daya. Model SCDAP juga mencakup model untuk mengolah tahap akhir suatu kecelakaan parah, termasuk pembentukan debris dan kolam lelehan, interaksi debris-bejana, dan kegagalan struktur bejana.

DESKRIPSI SGTR

Pada analisis ini, diasumsikan satu pipa dalam satu pembangkit uap mengalami patah menjadi dua (*double-ended guillotine break*) saat reaktor beroperasi pada daya nominal seperti terlihat pada Gambar^{[1][2]}. Luasan patahan sama dengan luasan penampang satu pipa yaitu 0,00032 m². Akibatnya, air pendingin primer mengalir melalui kebocoran ke sisi sekunder pembangkit uap dan menimbulkan kontaminasi di sisi sekunder. Uap sekunder yang terkontaminasi dapat keluar melalui sistem pembuang uap utama (*Main Steam Dump System*) atau, bila sistem tersebut tidak tersedia, melalui katup *bypass* uap utama atau katup keselamatan uap utama. Setelah SGTR, injeksi keselamatan akan diaktusasi pada tekanan rendah dari *pressurizer*. Trip turbin, isolasi air umpan utama (*Main Feedwater System / MFW*) dan bekerjanya air umpan bantu (*Auxiliary Feedwater System / AFW*) akan terjadi setelah trip reaktor.

Untuk merespon kejadian SGTR, terdapat tiga fungsi yang diperlukan yaitu trip reaktor, pemindahan panas teras, dan kendali operator pada tekanan sistem pendingin reaktor (*Reactor Coolant System / RCS*). Operator akan mengendalikan tekanan RCS dengan cara pemindahan panas melalui pembangkit uap yang masih baik dan pengembosan sistem primer melalui penyemprot *pressurizer* atau pembukaan sebuah PORV (*Power Operated Relief Valve*). Jika keseluruhan fungsi tersebut tersedia, kecelakaan akan termitigasi pada tahapan awal.

Pengisolasian pembangkit uap yang mengalami kebocoran melibatkan penutupan katup isolasi uap utama (*Main Steam Isolation Valve / MSIV*), penutupan katup masuk AFW, dan jalur *blowdown* pembangkit uap. Namun isolasi sepenuhnya tidak akan terjadi sampai tekanan RCS diturunkan sampai di bawah tekanan pembangkit uap sehingga kebocoran dapat dihentikan atau dikurangi.

PEMODELAN

Model Fisik

Dalam analisis ini, digunakan PWR standar yang mengacu pada PLTN Tsuruga Unit 2 sebagai model dalam RELAP/SCDAP. PLTN ini memiliki daya 1000 MWe dan terdiri dari 4 untai pendingin primer dengan 4 pembangkit uap (*steam generator*). Tabel 1 memperlihatkan spesifikasi

nominal untuk beberapa parameter operasi dalam model. Untuk dapat dibaca oleh RELAP/SCDAP,

Tabel 1. Nilai parameter operasi nominal

<i>Parameter</i>	<i>Nilai</i>
Daya listrik	1000 MWe
Daya termal	3411 MWt
Tekanan <i>pressurizer</i>	157 bar
Temperatur rerata	307 °C
Temperatur coldleg	289 °C
Temperatur hotleg	325 °C
Laju alir primer (untai A)	4173 kg/detik
Tekanan uap	61,5 bar

fisik sistem dan komponen PLTN harus dimodelkan dalam bentuk komponen-komponen hidrodinamik sebagai *nodal partition*.

Gambar 2 memperlihatkan hasil nodalisasi PWR yang telah diperoleh yang terdiri dari teras, *bypass* teras, plenum bawah, plenum atas, bagian atas bejana reaktor, *downcomer*, perpipaan pendingin primer, *pressurizer*, sisi primer pembangkit uap, sisi sekunder pembangkit uap, sistem uap utama, sistem air umpan, sistem air umpan bantu, dan sistem kendali. Khusus untuk sistem kendali terdiri dari sistem kendali tekanan *pressurizer*, sistem kendali level air *pressurizer*, sistem kendali air umpan, sistem kendali *bypass* turbin, dan sistem kendali katup pembebas (*relief*) uap utama.

Pemodelan sistem pendingin primer dilakukan dengan membagi 4 untai pendingin primer 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. Untuk mensimulasikan kejadian SGTR, dimodelkan sebuah katup yang akan dibuka dari sisi primer ke sisi sekunder pada pembangkit uap untai A. Dengan demikian luasan kebocoran dapat dibuat fleksibel ukurannya. Pada sistem uap utama, katup isolasi uap utama (*Main Steam Isolation Valve / MSIV*) tidak dimodelkan. Sebagai gantinya, dimodelkan katup penghenti turbin (*Turbine Stop Valve / TSV*) dan katup *bypass* uap (*Turbine Bypass Valve / TBV*). *Setting* Variabel Kendali

Selain komponen-komponen hidrodinamik yang membentuk model reaktor di atas, perlu disusun data input yang akan menentukan jalannya simulasi, kondisi analisis, dan termasuk waktu dimulainya kecelakaan yang diinginkan. Data input tersebut ditetapkan di bagian *trips* dan *logical trips* dalam RELAP yang bertindak sebagai *setting* variabel kendali. Variabel-variabel kendali yang telah ada dalam data input untuk mengakomodasi kejadian SGTR adalah:

1. Perhitungan tunak (*steady-state*) selama 50 detik untuk memperoleh kondisi awal berupa

nilai parameter operasi nominal seperti diberikan pada Tabel 1.

2. Sinyal reaktor trip secara otomatis.
3. Sinyal *Turbine Stop Valve* (TSV) tutup, *Turbine Bypass Valve* (TBV) buka, MFW berhenti, dan AFW beroperasi secara otomatis.
4. Sinyal pengoperasian dua pompa tekanan tinggi sebagai sistem pendingin reaktor darurat (*Emergency Reactor Coolant System / ECCS*) secara otomatis.
5. Sinyal katup pembebas uap utama (*Main Steam Relief Valves / MSRVS*) beroperasi buka-tutup secara otomatis.
6. Sinyal katup keselamatan uap utama (*Main Steam Safety Valves / MSSV*) buka-tutup secara otomatis.
7. Pembukaan PORV secara manual oleh operator.
8. Penghentian ECCS secara manual oleh operator.

Parameter beserta nilai yang akan membangkitkan sinyal-sinyal di atas mengacu pada karakteristik sistem kendali PWR Tsuruga Unit 2 yang dijadikan referensi dalam model RELAP/SCDAP.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Parameter Termohidraulika akibat SGTR

Setelah dilakukan perhitungan tunak selama 50 detik, dimulai inisiasi SGTR dengan membuka katup kebocoran yang telah dimodelkan sebelumnya. Tekanan nominal sistem primer (157 bar) pada awalnya lebih besar dari tekanan pembangkit uap (61,5 bar) sehingga pendingin reaktor mengalir dari sisi primer ke sekunder melalui pipa penukar panas yang bocor. Perubahan parameter-parameter termohidraulika akibat SGTR disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4, dimana awalnya terjadi kebocoran dengan laju alir nominal 15,3 kg/detik. Ketika mulai terjadi kebocoran,

permukaan air dalam *pressurizer* juga ikut turun yang diikuti dengan penurunan tekanan primer.

Penurunan tekanan primer memicu berfungsinya sistem *scram* pada detik ke-586 setelah kebocoran atau 4 detik setelah timbulnya sinyal “*Excessive Temperature ΔT -high*” dari sistem proteksi reaktor. Sinyal tersebut lebih merupakan sinyal proteksi untuk menjaga integritas kelongsong bahan bakar ketika DNBR minimum melebihi nilai desain. Trip reaktor di atas akan memicu berhentinya *Main Feedwater System* (MFW) secara otomatis, menutupnya *Main Turbine Stop Valve* (TSV) pada untai A dan B secara otomatis sehingga aliran uap ke turbin berhenti, dan terbukanya *Turbine Bypass Valve* (TBV) pada untai A dan B secara otomatis sehingga uap dialihkan ke kondenser.

Menutupnya TSV akan menaikkan tekanan sekunder namun tidak sampai ke *setting* bukaan katup *bypass* uap utama (MSRV). Tidak bekerjanya pasokan MFW ke pembangkit uap menyebabkan celah sempit yang merupakan bagian bawah dari *downcomer* di bawah ring pasokan air umpan mengalami penurunan level air, dan penurunan ke bawah level 10 % akan memicu sinyal “*SG-Level Low-Low*” sehingga *Auxiliary Feedwater System* (AFW) bekerja untuk memasokkan air umpan ke pembangkit uap di untai A dan B.

Gambar 3 juga memperlihatkan bahwa setelah trip reaktor, dimana daya teras akan menurun ke level panas peluruhan, tekanan primer turun lebih cepat ketika perpindahan energi ke sistem sekunder mengurangi laju alir kebocoran dan aliran kebocoran mengurangi inventori primer. Laju alir kebocoran kembali naik secara drastis karena dipengaruhi oleh letak kebocoran yaitu di segmen paling bawah dari pipa pembangkit uap, dimana pada segmen tersebut terjadi penurunan laju alir air umpan utama akibat berhentinya MFW sebelum AFW bekerja. Sementara laju alir primer dari pompa primer yang masih bekerja ikut mendorong peningkatan laju alir kebocoran tersebut. Kenaikan tekanan sekunder akibat trip reaktor juga menaikkan temperatur saturasi di sisi sekunder dari pembangkit uap. Pada sisi tekanan sekunder, aliran pendingin yang masuk melalui kebocoran akan menyebabkan tekanan sekunder di pembangkit uap yang bocor menjadi tetap tinggi karena bertambahnya inventori air. Kenaikan level air pembangkit uap yang bocor menjadi lebih cepat karena ditambah pasokan air dari AFW. Suatu saat tekanan sekunder akan mencapai *setting* bukaan katup MSRV yaitu 77,4 bar.

Untuk pembangkit uap yang tidak bermasalah, pasokan air dari AFW juga terus menambah inventori air di pembangkit uap sehingga uap yang tersisa di kubah uap dari pembangkit uap (*steam dome*) menjadi semakin sedikit. Fenomena tersebut terlihat sebagai

penurunan tekanan kubah uap secara perlahan, kemudian naik secara drastis ketika kubah uap telah penuh oleh air dan memicu terbukanya katup MSRV di untai B. Sementara itu, tekanan primer masih tetap tinggi di atas tekanan sekunder yaitu di kisaran 96,5 bar sehingga kebocoran masih tetap terjadi.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa, bila tekanan primer turun ke bawah 115,8 bar dan *pressurizer* telah kosong airnya, sinyal “*low nuclear reactor pressure*” memicu injeksi keselamatan melalui pompa-pompa tekanan tinggi (*High Pressure Injection System/HPIS*) sebagai bagian dari *Emergency Core Coolant System* (ECCS) yang menginjeksi air terborasi dari IRWST ke pipa dingin untai A dan B. Bekerjanya ECCS juga memicu sinyal yang menghentikan pompa-pompa primer di untai A dan B sehingga aliran pendingin primer terhenti dan juga sinyal yang menutup TBV. Masuknya air injeksi juga secara perlahan menaikkan laju kebocoran dari sisi primer ke sisi sekunder. Selain itu, tambahan pendingin melalui kebocoran dan pasokan air umpan dari AFW menyebabkan kenaikan level air di pembangkit uap yang bocor yang terjadi lebih cepat daripada level air di pembangkit uap yang utuh sebelum memenuhi kubah uap dan membuka MSRV.

Bila mengacu pada referensi^[1] dan^[2], MSRV pada pembangkit uap yang utuh pada untai B harus dibuka tutup secara manual untuk mempercepat pembuangan panas dari sistem pendingin reaktor segera setelah trip reaktor. Selain itu TBV untai B juga harus dijaga pada kondisi terbuka, sehingga siklus aliran sekunder dapat tetap terjaga dan mencegah pasokan air pada sisi sekunder. Berkaitan dengan hal tersebut, AFW pada untai A juga harus dihentikan secara manual untuk mencegah berlebihnya pasokan air pada sisi sekunder dari pembangkit uap yang bocor.

Pengisolasian Kebocoran

Skenario di atas pada intinya sama dengan skenario pada penelitian SGTR lain yang pernah dilakukan di bidang Pengkajian Analisis Keselamatan Reaktor^[4] dimana akibat kegagalan pengisolasian kebocoran, kejadian SGTR akan terus berlangsung karena tekanan primer masih di atas tekanan sekunder. Untuk itu tekanan primer harus diturunkan agar sama dengan atau sedikit di atas tekanan sekunder pada pembangkit uap yang bocor sehingga aliran kebocoran dapat dihentikan atau paling tidak diminimalisasi.

Depresurisasi tekanan primer dapat dilakukan dengan cara mengaktifkan sistem penyemprot *pressurizer* atau membuka sebuah PORV (*Power Operated Relief Valve*) di atas *pressurizer* secara manual. Pada simulasi ini, PORV dibuka secara manual setelah terbukanya katup MSRV di untai B untuk mengetahui respon

sistem. Pembukaan PORV dilakukan sekitar 14 detik dan tekanan primer langsung turun secara cepat hingga mencapai sedikit di bawah tekanan sekunder. Gambar 3 memperlihatkan bahwa, akibat penurunan tekanan primer, kebocoran juga menjadi berkurang atau turun drastis bahkan sempat terjadi aliran balik dari sisi sekunder ke sisi primer pembangkit uap.

Setelah PORV ditutup, tekanan primer kembali naik karena masih adanya penambahan inventori dari HPIS, sehingga HPIS perlu dimatikan secara manual. Langkah tersebut dapat mengembalikan tekanan primer menjadi sama dengan tekanan sekunder pembangkit uap yang bocor sehingga kebocoran dapat diisolasi. Pada Gambar 4 terlihat bahwa saat PORV dibuka, laju alir injeksi keselamatan HPIS juga naik secara drastis karena bertambahnya beda tekanan antara sistem injeksi dengan tekanan primer. Pada saat bersamaan, *pressurizer* kembali terisi air yang berasal dari tambahan pasokan air dari HPIS dan pengembosan tekanan primer dari PORV.

Skenario di atas tentu tidak diinginkan, karena operator diharapkan harus sudah memulai langkah pengisolasian kebocoran sebelum level air pembangkit uap di sisi sekunder memenuhi kubah uap yang mengakibatkan material produk fisi keluar ke lingkungan melalui bukaan MSR.V. Namun bila diasumsikan terjadi kegagalan untuk memfungsikan PORV secara manual pada tahap-tahap awal, maka hasil yang diperoleh telah dapat memperlihatkan perubahan parameter-parameter terkait.

KESIMPULAN

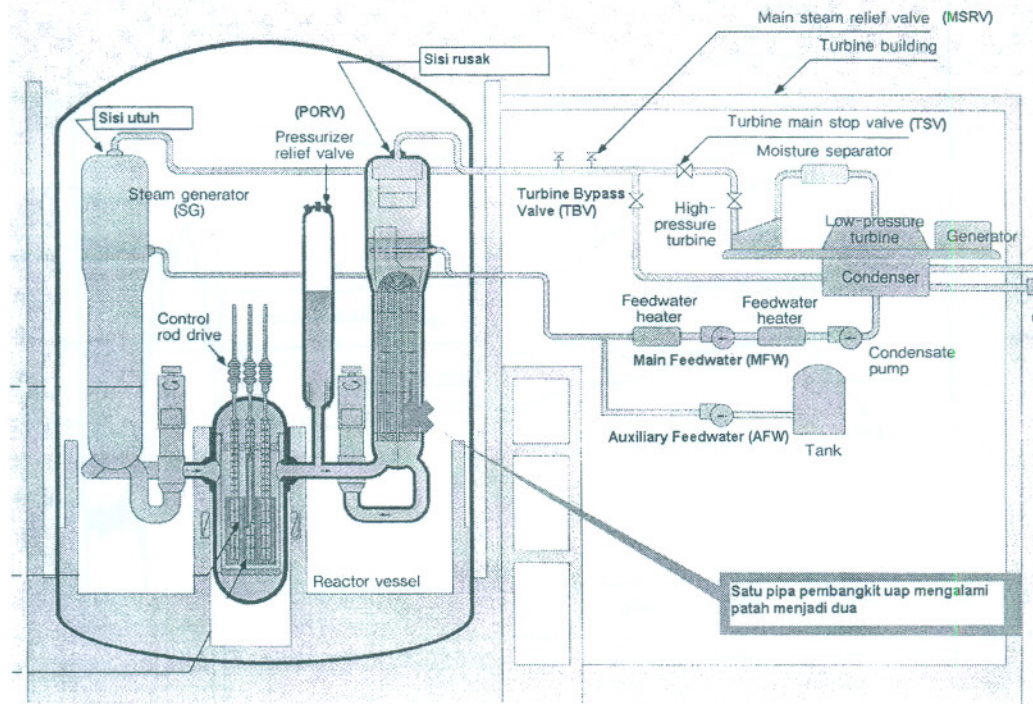
Berdasarkan hasil simulasi RELAP/SCDAP terhadap kecelakaan SGTR pada PWR standar yang mengacu pada PLTN Tsuruga Unit 2, diperoleh karakteristik perubahan parameter termohidraulika seperti yang diharapkan. Sekuensi kecelakaan yang diperoleh masih berdasarkan model dan *setting* variabel kendali awal yang terdapat pada data input RELAP yang digunakan. Pengisolasian kebocoran melalui aktuasi PORV secara manual berhasil

dilakukan walaupun dengan asumsi terjadi penundaan pengaktifan PORV tersebut. Selain itu, *setting* otomatis sistem kendali reaktor pada data input yang berhubungan sistem kendali air umpan (AFW), sistem kendali *bypass* turbin (TBV) dan sistem kendali pembebas uap (MSRV) telah menyebabkan fenomena parameter termohidraulika yang berbeda dengan referensi pada sisi sekunder pembangkit uap sebagai bahan kajian berikutnya.

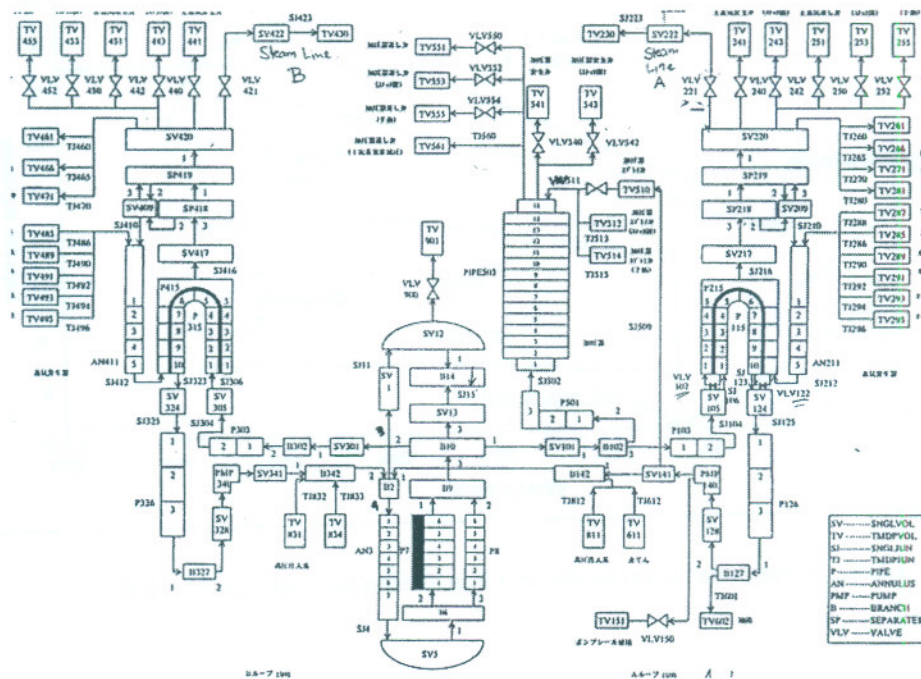
Untuk itu perlu dilakukan beberapa modifikasi pada sistem-sistem di atas agar dapat dijalankan secara manual antara lain pada sistem kendali pembebas uap. Dengan demikian sekuensi kecelakaan yang diperoleh dapat lebih mirip dengan yang ada dalam referensi.

DAFTAR PUSTAKA

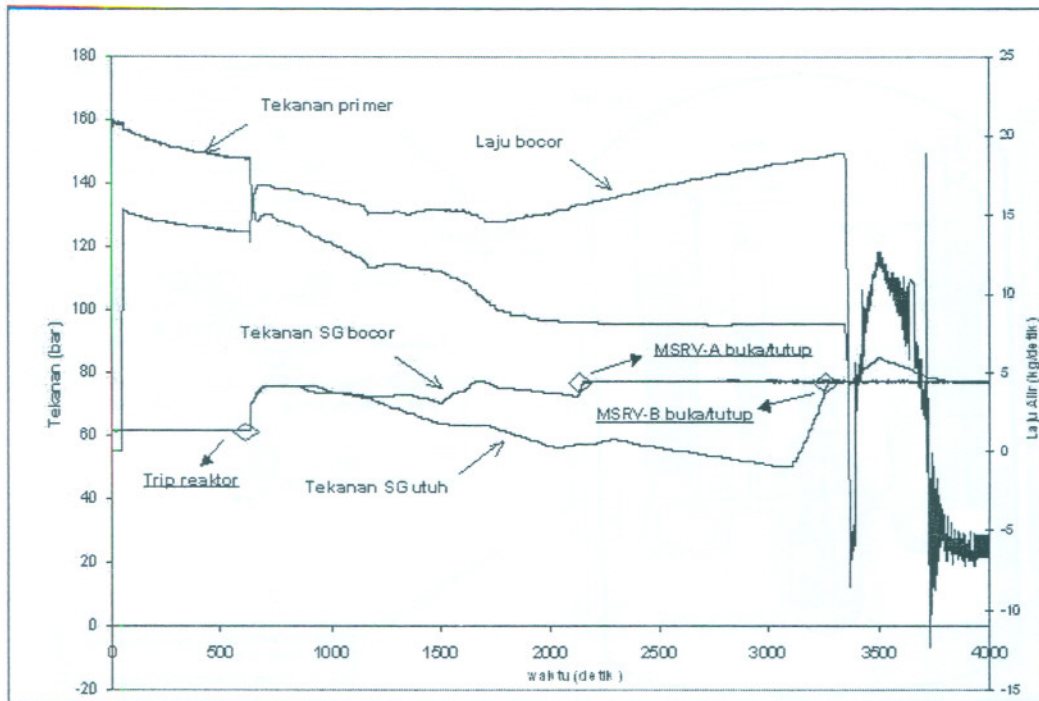
1. NUCLEAR POWER ENGINEERING CORPORATION (NUPEC), "PWR Safety Analysis Training Text", Long Term Training Course on Safety Regulation and Safety Analysis, September – December 1997, Tokyo, Japan
2. HIRANO, WATANABE, "Analysis of The Mihama-2 SGTR Event and ROSA-IV Experiment SB-SG-06 to Simulate The Event", Department of Reactor Safety Research, Japan Atomic Energy Research Institute, Proceedings of the Fifth International Topical Meeting On Reactor Thermal Hydraulic, September 21-24, 1992, Salt Lake City, USA
3. The SCDAP/RELAP5 Development Team, SCDAP/RELAP5/MOD3.2 Code Manual, NUREG/CR-6150, INEL-96/0422, revision 1, Volume 1, 1997
4. SURIP WIDODO, dkk, "Analisis *Steam Generator Tube Rupture* (SGTR) Diikuti Kegagalan Sistem Isolasi Pada PWR", Kegiatan Penelitian 2007, Bidang Pengkajian dan Analisis Keselamatan Reaktor, Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir



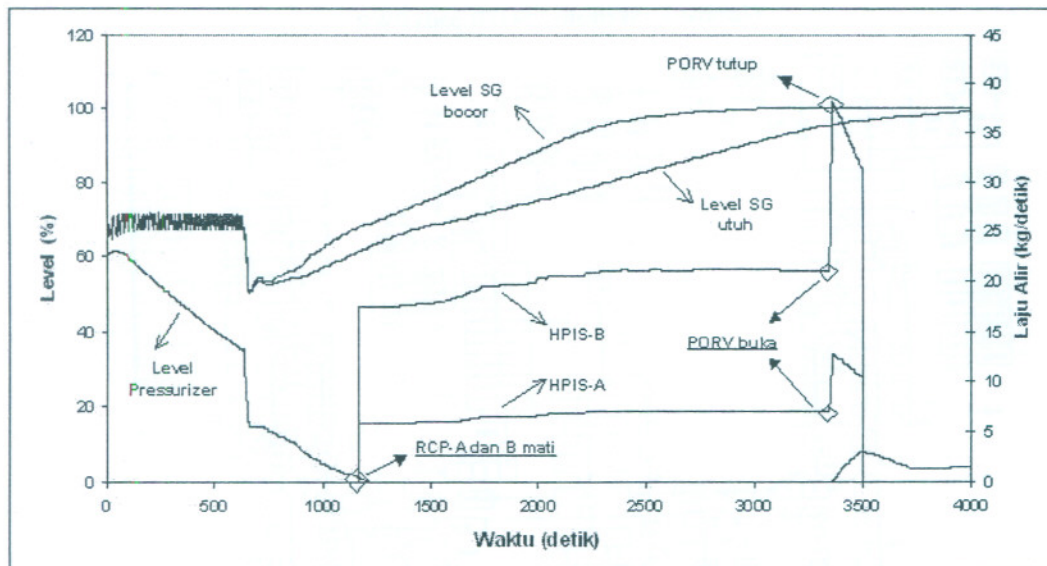
Gambar 1. Skematika SGTR pada PWR



Gambar 2. Nodalisasi PWR dengan RELAP/SCDAP



Gambar 3. Perubahan Tekanan dan Laju Alir Kebocoran



Gambar 4. Perubahan Level Pembangkit Uap, Pressurizer, dan Laju Alir HPIS