



ID0200234

PENILAIAN SISTEM PROTEKSI DAN PENGENDALIAN TERHADAP KEJADIAN KEGAGALAN DAYA LISTRIK REAKTOR DAYA JENIS AIR RINGAN

Oleh : *Tjipta Suhaemi, Djen Djen, Setyono, Riswan Jainbiar, Bang Rozali, Dwi Setyo P., Hendro Tjahjono*

ABSTRAK

PENILAIAN SISTEM PROTEKSI DAN PENGENDALIAN TERHADAP KEJADIAN KEGAGALAN DAYA LISTRIK REAKTOR DAYA JENIS- AIR RINGAN. Telah dilakukan penilaian sistem pengendalian dan proteksi reaktor daya jenis air ringan terhadap kejadian kegagalan daya listrik. Terputusnya atau kegagalan daya listrik pada suatu instalasi reaktor daya tentunya akan memberikan dampak terhadap pengoperasian reaktor daya. Kegagalan daya listrik yang ditinjau adalah kegagalan beban listrik eksternal dan kegagalan daya AC. Penilaian dilakukan dengan mengkaji dan meninjau mekanisme sistem daya listrik dan mekanisme pengendalian dan proteksi terhadap kegagalan daya listrik. Peninjauan dilakukan pada dua kondisi, yaitu kegagalan daya listrik yang tidak disertai trip turbin reaktor dan yang diikuti oleh trip turbin reaktor. Dari penilaian dapat dipahami bahwa sistem pengendalian dan proteksi mampu mengantisipasi gangguan yang disebabkan oleh kegagalan daya listrik

ABSTRACT

EVALUATION OF CONTROL AND PROTECTION SYSTEM FOR LOSS OF ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM OF WATER-COOLED NUCLEAR POWER PLANT. Evaluation of control and protection system for loss of electrical power supply system of water-cooled nuclear power plant has been done. The loss of electrical power supply. The accident covered the loss of external electrical load and loss of ac power to the station auxiliaries. It is analysed by studying and observing the mechanism of electrical power system and mechanism of related control and protection system. The are two condition used in the evaluation ie without turbine trip and with turbine trip. From the evaluation it is concluded that the control and protection system can handled the failure caused by the loss of electrical power system.

PENDAHULUAN

Reaktor daya terdiri dari berbagai jenis sistem, komponen dan peralatan, antara lain, sistem instrumentasi dan kendali, sistem ventilasi, sistem pendingin, sistem shutdown, pompa, dsb, yang kesemuanya membutuhkan catu daya listrik. Pencatuan daya yang diperlukan untuk bekerjanya fungsi keselamatan di dalam reaktor daya, dilakukan melalui catu daya listrik eksternal/grid dan catu internal berupa generator diesel. Gambar 1 menunjukkan sistem pengendalian reaktor daya dan gambar 2 menunjukkan komponen pelayanan sistem listrik reaktor daya.

Adapun catu daya listrik diklasifikasikan menurut tingkat kepentingannya terhadap keandalan. Tingkat kepentingan keandalan ini terbagi atas 4 kelas yang mencakup daya yang tidak bisa diinterupsi sampai daya yang dapat diinterupsi. Klasifikasi catu daya listrik terdiri atas catu daya kelas IV, kelas III, kelas II dan kelas I. Kondisi I adalah kondisi pada operasi normal dan transien operasional, kondisi II untuk kegagalan dengan frekuensi moderat, kondisi III untuk kegagalan yang jarang, dan kondisi IV untuk kegagalan yang terbatas.

Terputusnya atau kegagalan daya listrik pada suatu instalasi reaktor daya tentunya akan memberikan dampak terhadap pengoperasian reaktor daya dan dapat mengancam integritas teras reaktor, yaitu antara lain karena berhentinya aliran pendingin secara paksa di dalam sistem primer dan sistem sekunder yang dapat mengakibatkan peningkatan suhu bahan bakar.

Untuk menanggulangi dampak dari kegagalan daya listrik diperlukan sistem pengendalian dan sistem proteksi. Sistem pengendalian reaktor adalah sistem yang dipakai pada operasi normal, secara umum berfungsi untuk menjamin dapat beroperasinya reaktor nuklir secara aman, sedangkan sistem proteksi merupakan salah satu sistem yang disiapkan untuk menjamin keselamatan operator, masyarakat umum dan lingkungan bila terjadi kegagalan/tak bekerjanya sistem. Spesifikasi utama sistem adalah bila ada gangguan, maka sistem pengendalian akan mengantisipasinya sehingga daya kembali sesuai yang diharapkan. Namun jika gangguan tersebut cukup besar untuk dianggap berpengaruh terhadap keselamatan sistem dan melampaui batas keselamatan yang diizinkan, maka proteksi reaktor akan menghentikan kerja reaktor dengan cara menjatuhkan batang kendali.

Mekanisme pengendalian dan proteksi sistem reaktor daya terhadap kejadian kegagalan daya listrik dilakukan pada dua kondisi, yaitu kehilangan daya listrik yang tidak disertai trip turbin reaktor dan yang diikuti trip turbin reaktor.

Kegagalan daya listrik yang ditinjau dalam makalah ini adalah kegagalan beban listrik eksternal dan kegagalan daya AC. Kondisi kejadian dan transien ini menghasilkan dampak berkurangnya kemampuan kapasitas sistem sekunder untuk memindahkan panas yang dihasilkan dalam sistem pendingin reaktor.

Kegagalan beban eksternal pada instalasi disebabkan oleh kegagalan beban listrik yang disebabkan oleh gangguan sistem listrik. Untuk kondisi ini daya AC luar masih tersedia untuk mengoperasikan komponen dan sistem reaktor seperti pompa perdingin, sehingga generator diesel belum diperlukan. Sedangkan kegagalan daya AC terhadap peralatan instalasi disebabkan oleh kegagalan grid di luar lokasi yang diikuti dengan trip turbin. Jika kondenser tak tersedia, kelebihan pembangkitan uap dilepaskan ke atmosfer. Begitu pula bila aliran umpan utama gagal, maka aliran umpan dijaga oleh sistem air umpan cadangan.

Evaluasi terhadap kegagalan daya AC terhadap peralatan instalasi dimaksudkan untuk meninjau kemampuan proteksi reaktor, baik sistem pengaman maupun kemampuan sirkulasi alamiah dari sistem pendingin reaktor RCS dalam hal memindahkan panas peluruhan jangka panjang dan mencegah pemanasan pada sistem RCS dengan kemungkinan penekanan lebih (*overpressurization*) atau kehilangan air sistem pendingin reaktor.

Keberadaan sistem proteksi reaktor diperlukan untuk membatasi input panas teras dan untuk mencegah pendidihan yang tidak diharapkan (DNB). Dalam sistem keselamatan terdapat katup-katup. Terbukanya katup keselamatan pressurizer dan atau katup keselamatan pembangkit uap untuk menjaga tekanan sistem berada di bawah batas limit yang diperbolehkan tergantung pada besar kegagalan beban.

Katup keselamatan pembangkit uap adalah sedemikian sehingga kapasitasnya cukup untuk memindahkan aliran uap dari pembangkit uap pada rating termal sistem catu uap nuklir yang dijamin tidak melewati 110% tekanan desain sistem uap. Kapasitas katup keselamatan pressurizer diperuntukkan untuk mengakomodasi beban heat sink dengan pengoperasian awal pada beban turbin maksimum bersamaan dengan pengoperasian katup pembangkit uap. Katup keselamatan pressurizer dapat membebaskan uap untuk menjaga agar tekanan sistem pendingin reaktor berada dalam batas 110% tekanan desain.

METODA DAN TATA KERJA

Dikaji mekanisme sistem reaktor daya air ringan khususnya yang terkait dengan sistem daya listrik. dan ditinjau mekanisme pengendalian dan proteksi yang dilakukan oleh sistem reaktor daya terhadap kegagalan daya listrik. Kegagalan daya listrik dibedakan atas kegagalan beban listrik eksternal dan kegagalan daya AC. Peninjauan dilakukan pada dua kondisi, yaitu kegagalan daya listrik yang tidak disertai trip turbin reaktor dan yang diikuti oleh trip turbin reaktor.

Dilakukan pencatatan data urutan waktu dan kejadian akibat kehilangan daya listrik terhadap perubahan dan sistem reaktor daya terhadap beberapa peralatan dan sistem, yaitu kehilangan air umpan, tinggi permukaan air pada pembangkit uap, batang kendali dijatuhkan, katup keselamatan pembangkit uap terbuka, tekanan pada pressurizer mencapai maksimum, katup keselamatan pressurizer tertutup, katup keselamatan pembangkit uap tertutup.

Asumsi yang digunakan untuk kegagalan daya listrik adalah sebagai berikut:

1. Mula-mula instalasi dioperasikan pada 102% dari rating daya desain dengan suhu awal pendingin reaktor 4,50F dan tekanan pressurizer 50 psi di atas harga nominal.
2. Trip reaktor terjadi pada tinggi permukaan pembangkit uap yang rendah.
3. Koefisien transfer panas di dalam pembangkit uap mengikuti menurunnya pompa pendingin reaktor.
4. Sistem pemindahan panas residu passif PRHR diaktiasi oleh permukaan air pembangkit uap yang rendah (jangkau dekat) berkoinidensi dengan laju aliran air umpan cadangan yang rendah (air umpan diasumsikan tak tersedia).
5. Koefisien transfer panas PRHR yang rendah dihubungkan dengan laju aliran PRHR rendah disebabkan oleh trip RCP.
6. Untuk kerugian daya AC terhadap peralatan instalasi, fungsi keselamatan yang diperlukan adalah pemindahan panas peluruhan teras.
7. Pelepasan uap sistem sekunder dicapai melalui katup keselamatan pembangkit uap. Katup keselamatan pressurizer diasumsikan berfungsi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk kondisi kegagalan beban listrik ada dua kondisi yang diperhitungkan, yaitu kondisi yang disertai trip turbin dan kondisi yang tidak disertai trip turbin reaktor. Untuk kondisi tanpa trip turbin maka trip reaktor secara langsung tidak diperlukan, tetapi dilakukan trip reaktor melalui sistem proteksi reaktor. Setelah kegagalan beban listrik masih ada beban uap sekitar 5%.

Dengan adanya kegagalan beban, terjadi penutupan yang cepat terhadap katup kontrol turbin. Sistem bypass turbin otomatis mengakomodasi kelebihan pembangkit uap. Suhu dan tekanan pendingin tidak naik secara signifikan jika sistem bypass turbin dan sistem kontrol tekanan pressurizer berfungsi secara sempurna.

Dalam mendekati limit keselamatan, maka mekanisme proteksi dilakukan melalui trip tekanan pressurizer tinggi, trip ketinggian permukaan air dalam pressurizer yang tinggi dan trip suhu tinggi. Dengan kegagalan daya listrik total, kecepatan turbin mencapai 111%, dan frekuensi sekitar 67 Hz ($111\% \times 60$ Hz). Dengan frekuensi yang berlebih ini tidak akan mengganggu atau merusak sensor voltage dan sensor frekuensi. Dengan penambahan frekuensi tersebut motor pompa pendingin menghasilkan penambahan kecepatan aliran dan margin tambahan lebih lanjut pada limit keselamatan.

Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa peralatan instrumentasi kendali yang mencakup sistem proteksi reaktor dan beban yang dikaitkan dengan keselamatan dicatu dari sistem catu daya 120 volt, dan sistem catu daya tersebut dicatu dari inverter. Inverter dicatu dari bus DC yang mendapat daya dari baterai atau dari voltage AC yang diregulasi.

Dalam hal kejadian katup dump uap gagal membuka setelah kegagalan beban, maka katup keselamatan pembangkit uap berperan dan reaktor bisa ditrip oleh sinyal tekanan pressurizer tinggi, sinyal level air pressurizer tinggi atau sinyal suhu lebih Tekanan pembangkit uap dan suhu pendingin reaktor bertambah sangat cepat. Katup keselamatan pressurizer dan katup keselamatan pembangkit uap berguna untuk memproteksi sistem pendingin reaktor (RCS) dan pembangkit uap terhadap tekanan lebih maupun kehilangan beban, walaupun diasumsikan sistem bypass turbin, spray pressurizer, atau kontrol perangkat batang kendali RCCA otomatis tidak dioperasikan.

Transien sisi primer disebabkan oleh berkurangnya kemampuan pemindahan panas dari primer ke sekunder yang disebabkan oleh pembatasan aliran uap ke turbin yang diikuti secara otomatis dengan pengurangan aliran umpan. Dalam hal aliran air umpan tidak bisa berkurang, heat sink masih tersedia dan transien tidak akan menyebabkan akibat yang parah. Pengurangan aliran uap ke turbin setelah kehilangan beban eksternal yang terjadi yang disebabkan oleh tertutupnya katup kontrol turbin secara otomatis dan cepat. Mengikuti kejadian trip turbin tersebut dapat diketahui bahwa pembatasan aliran uap terjadi via tutup katup henti turbin. Transien pada tekanan primer, suhu, dan volume air tidak memberikan akibat yang begitu parah untuk kehilangan beban eksternal dibandingkan dengan trip turbin yang disebabkan oleh lambatnya kehilangan kemampuan perpindahan panas

Untuk kondisi kegagalan daya listrik yang disertai dengan trip turbin, dalam hal ini katup henti turbin tertutup dengan cepat. Kondisi yang menyebabkan diaktuasinya trip turbin antara lain adalah trip generator turbin yang mempunyai kecepatan lebih, trip manual dan trip reaktor.. Urutan peristiwa akibat berkurangnya kemampuan pemindahan panas dalam sistem sekunder dapat dilihat pada tabel 1, sedangkan grafik daya nuklir dan DNBR pada waktu trip turbin dapat dilihat pada gambar 3 dan 4 untuk umpan balik moderator minimum, gambar 5 dan 6 untuk umpan balik moderator maksimum. Terlihat bahwa fluks neutron tetap kemudian menurun drastis pada saat diinisiasinya trip turbin. Peralatan dan sistem yang diperlukan untuk membatasi input panas teras dan untuk mencegah DNBR sebagai akibat dari kegagalan beban dicantumkan pada tabel 2.

Kejadian transien yang agak besar terjadi pada trip turbin disebabkan kehilangan aliran uap yang lebih cepat dengan adanya penutupan katup-katup. Suhu dan tekanan pendingin tidak naik secara signifikan bila sistem bypass turbin dan sistem kontrol tekanan pressurizer berfungsi secara sempurna.

Kegagalan daya AC terhadap peralatan instalasi disebabkan oleh kegagalan grid di luar lokasi (*offsite*) yang diikuti dengan trip turbin-generator. Sistem cadangan daya AC cadangan di lokasi tetap tersedia tetapi tidak digunakan untuk memitigasi kecelakaan. Transien yang terjadi lebih parah dibandingkan trip turbin sebab dalam kasus ini berkurangnya kemampuan pemindahan panas oleh sistem sekunder diikuti dengan berkurangnya aliran pendingin reaktor yang lebih lanjut akan mengurangi kemampuan pendingin primer untuk memindahkan panas dari teras.

Adanya kehilangan daya AC yang diikuti dengan trip turbin dan trip reaktor, urutan kejadian adalah sebagai berikut

- Tekanan sistem uap naik dengan adanya trip, katup pelepasan yang dioperasikan dengan daya pembangkit uap secara otomatis terbuka ke atmosfer. Kondenser diasumsikan tak tersedia untuk bypass turbin. Jika laju aliran uap melalui katup pelepasan tidak tersedia, katup keselamatan pembangkit uap mungkin diambil untuk menghilangkan panas dari bahan bakar dan pendingin akan menambah panas peluruhan sisa yang dihasilkan dalam reaktor.
- Karena suhu tanpa beban tercapai, katup relief yang dioperasikan oleh daya pembangkit uap (atau katup keselamatan, jika katup relief tak tersedia) digunakan untuk menghilangkan panas peluruhan sisa dan menjaga instalasi pada kondisi shutdown panas jika startup air umpan tersedia untuk menyuplai air ke pembangkit uap.
- Jika startup air umpan tak tersedia maka PRHR (*Passive residual heat removal*) diaktuasi. Sistem PRHR mentransfer panas peluruhan teras dan panas sensibel ke IRWST (*in containment refuelling water storage*) dan menyediakan suatu kemampuan pemindahan panas teras yang tidak diinterupsi mengikuti setiap kerugian air umpan cadangan dan normal.

Sistem air umpan cadangan dioperasikan secara otomatis bila tinggi permukaan pada pembangkit uap adalah rendah. Sehingga selama transien instalasi, pemindahan panas peluruhan teras dapat dicapai secara normal. Jika sistem air umpan cadangan tak tersedia, pemindahan panas teras secara darurat dilakukan dengan penukar panas pemindahan panas residu pasif. Penukar panas berada di bawah level teras dengan maksud untuk memberikan aliran sirkulasi alamiah.

Dengan kegagalan daya terhadap pompa pendingin reaktor, maka aliran pendingin diperlukan untuk pendinginan teras dan pemindahan panas sisa yang dijaga dengan adanya sirkulasi alami di dalam reaktor dan loop PRHR.

Dengan menurunnya kemampuan pompa pendingin reaktor maka kemampuan sirkulasi alami dari sistem pendingin reaktor untuk memindahkan panas peluruhan dan sisa dari teras dibantu dengan sistem pemindahan panas sisa residu.

Respon transien sistem pendingin reaktor yang mengikuti kehilangan daya AC pada peralatan instalasi dapat dilihat Pada gambar 7 untuk daya nuklir, gambar 8 untuk fluks panas teras, gambar 9 untuk tekanan pressurizer dan gambar 10 untuk laju aliran PRHR. Urutan peristiwa tertera pada tabel 3 menampilkan inventory pembangkit uap, daya neutron, laju aliran PRHR, aliran massa sistem pendingin reaktor.

Segera mengikuti trip reaktor, kemampuan transfer panas PRHR dan laju ekstraksi panas pembangkit uap turun secara perlahan. Pada sekitar 20000 detik setelah trip, pengurangan dalam inventory air pembangkit uap menghasilkan pengurangan dalam laju transfer panas pembangkit uap dan konsekuensinya pemanasan yang rendah dari RCS.

Pada 3000 detik setelah trip, laju transfer panas PRHR mengatasi panas peluruhan dan instalasi mulai berkurang, siap untuk diturunkan dayanya.

Katup henti henti turbin tertutup dalam waktu 0,15 detik dengan kegagalan trip, tekanan fluida diaktuiasi oleh salah satu sinyal trip turbin, antara lain trip generator, kecepatan lebih turbin, trip manual, trip reaktor.

Dengan adanya penutupan katup stop uap mengalir ke turbin segera berhenti. Sensor-sensor pada katup stop mendeteksi trip turbin dan segera menginisiasi trip turbin dan segera menginisiasi bypass turbin. Kegagalan aliran uap menghasilkan kenaikan suhu dan tekanan sistem sekunder.

Transien yang agak parah terjadi untuk kejadian trip turbin yang disebabkan lebih banyaknya kegagalan aliran uap yang disebabkan oleh lebih banyaknya penutupan katup.

Komponen pelayanan sistem listrik reaktor daya dapat dilihat dari gambar 2, komponen-komponen ini mencakup semua komponen kelas IV, III, II dan I. Sehingga catu daya listrik memenuhi persyaratan untuk dioperasikan pada operasi normal maupun pada saat terjadinya kegagalan pada salah satu sistem.

KESIMPULAN

Hasil dari analisis menunjukkan bahwa untuk kegagalan daya AC terhadap peralatan instalasi semua kriteria keselamatan dapat terpenuhi. Nilai DNBR di atas batas limit yang ditetapkan sesuai analisis keselamatan, teras tidak terpengaruh. Kapasitas pemindahan panas PRHR cukup untuk mencegah pelepasan air melalui katup keselamatan pressurizer. Analisis menunjukkan bahwa adanya kemampuan

pemindahan panas yang cukup bagi sistem pendingin reaktor jangka panjang melalui sirkulasi alami dan sistem pemindahan panas residu pasif mengikuti penurunan pompa pendingin reaktor untuk mencegah kerusakan bahan bakar dan kelongsong sehingga sistem pendingin reaktor tidak mengalami tekanan lebih. Dari penilaian dapat dipahami bahwa sistem pengendalian dan proteksi mampu mengantisipasi gangguan yang disebabkan oleh kegagalan dan kehilangan daya listrik.

DAFTAR PUSTAKA

1. AP-600 Standard Safety Analysis Report, Westinghouse Electric Corporation, 1997
2. Culp, A.W, Principles of Energy Conversion, Mc Graw Hill, 1979
3. IAEA Technical Report Series No. 239, Nuclear Power Plant Instrumentation and Control, A Guide Book.

LAMPIRAN

Tabel 1. URUTAN PERISTIWA UNTUK TRIP TURBIN

Kejadian Trip turbin	Peristiwa	Waktu (s)
A. Dengan kontrol pressurizer (umpan balik reaktivitas minimum)	Trip turbin; kehilangan air umpan utama	0,0
	Trip reaktor tekanan pressurizer tinggi tercapai	6,4
	Batang kendali jatuh	8,4
	DNBR minimum terjadi	9,5
	Puncak tekanan presurizer terjadi	10,5
	Inisiasi pelepasan uap dari katup keselamatan pembangkit uap	12,0
B. Dengan kontrol pressurizer (umpan balik reaktivitas maksimum)	Trip turbin; kehilangan air umpan utama	0,0
	DNBR minimum terjadi	4,0
	Trip reaktor tekanan pressurizer tinggi tercapai	6,4
	Batang kendali jatuh	8,4
	DNBR minimum terjadi	9,5
	Puncak tekanan presurizer terjadi	10,0
C. Tanpa kontrol pressurizer (umpan balik reaktivitas minimum)	Trip turbin; kehilangan air umpan utama	0,0
	Trip reaktor tekanan pressurizer tinggi tercapai	5,7
	Batang kendali jatuh	7,7
	DNBR minimum terjadi	9,5
	Puncak tekanan presurizer terjadi	9,5
	Inisiasi pelepasan uap dari katup keselamatan pembangkit uap	12,0
D. Tanpa kontrol pressurizer (umpan balik reaktivitas maksimum)	Trip turbin; kehilangan air umpan utama	0,0
	DNBR minimum terjadi	4,0
	Trip reaktor tekanan pressurizer tinggi tercapai	5,7
	Batang kendali jatuh	7,7
	Puncak tekanan presurizer terjadi	9,0
	Inisiasi pelepasan uap dari katup keselamatan pembangkit uap	12,0

Tabel 2. PERALATAN FUNGSI KESELAMATAN

Kejadian	Fungsi Trip Reaktor	Fungsi Aktuasi ESF	ESF & Peralatan lain
Kegagalan beban eksternal / Trip turbin	<ul style="list-style-type: none"> • Tekanan pressurizer tinggi • Suhu lebih • Daya lebih • Manual 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Katup keselamatan pressurizer • Katup keselamatan pembangkit uap
Kegagalan beban AC	<ul style="list-style-type: none"> • Tinggi permukaan pembangkit uap rendah • Tekanan Pressurizer tinggi • Level pressurizer tinggi • Manual 	<ul style="list-style-type: none"> • Tinggi permukaan uap bersamaan dengan laju alir air rendah • Level pembangkit uap rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • PRHR keselamatan pembangkit uap • Katup keselamatan pressurizer

Tabel 3. URUTAN PERISTIWA UNTUK KEGAGALAN DAYA AC

Kejadian	Peristiwa	Waktu (s)
Kegagalan Daya AC pada peralatan Instalasi	Kegagalan air-umpan	10,0
	Trip reaktor tinggi permukaan air pada pembangkit uap rendah	58,6
	Batang kendali jatuh, kehilangan daya AC, pompa pendingin mulai berkurang	60,6
	Katup keselamatan pressurizer terbuka	64,0
	Katup keselamatan pembangkit uap terbuka	65,0
	Tekanan presurizer maksimum	68,0
	Volume air pressurizer maksimum	72,5
	Katup keselamatan pressurizer tertutup kembali	74,0
	Aktuasi PRHR pada level zir pembangkit uap rendah (jangkau rendah)	123,6
	Panas ekstraksi PRHR sesuai dengan panas peluruhan	~ 3000,0
	Katup keselamatan pembangkit uap tertutup kembali	~ 6000,0