

ANALISIS KEJADIAN TIDAK TERDINGINKANNYA TERAS RSG GA SIWABESSY

M. Salman Suprawardana^{*}, Prayoto^{**}, Syarip^{*}

^{*} Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta - Badan Tenaga Atom Nasional
^{**} Guru Besar Fakultas MIPA - Universitas Gajah Mada

ABSTRAK

ANALISIS KEJADIAN TIDAK TERDINGINKANNYA TERAS RSG GA SIWABESSY. Dalam operasi normal bahang yang terjadi di teras reaktor RSG GA Siwabessy sebesar 30 MW dipindahkan oleh sistem pendingin primer ke sistem pendingin sekunder melalui dua buah penukar bahang untuk selanjutnya dibuang ke lingkungan melalui 6 buah menara pendingin. Dalam keadaan *shut-down* normal maupun *scram* bahang yang terjadi di teras akibat pemanasan sisa sinar gamma didinginkan oleh pendingin kolam yang mempunyai redundansi. Saat kejadian transien (tunak) pendinginan teras masih terjadi oleh adanya kelembaman pompa dan aliran sirkulasi alam. Keselamatan operasi reaktor RSG GA Siwabessy telah didisain baik dengan cara redundansi maupun ragam fungsi agar reaktor dalam keadaan aman apabila terjadi kejadian-kejadian yang berada di dalam batas disain. Telah disusun suatu skenario urutan kejadian yang mungkin terjadi dalam kejadian tidak terdinginkannya teras RSG GA Siwabessy. Skenario disusun berdasarkan pada kejadian awal kebocoran di luar ruang katup (valve chamber), kebocoran antara kolam dan katup isolasi primer dan berkurangnya pendinginan yang diakibatkan oleh kegagalan katup. Tanggapan sistem penyelamat dianalisis berdasar pada keberadaan sistem/peralatan yang tersedia di reaktor RSG GA Siwabessy. Hasil analisis ini memberikan gambaran mengenai keselamatan reaktor RSG GA Siwabessy khusus pada kejadian tersebut di atas secara kualitatif.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EVENT OF UNCOOLED CORE OF MPR GA SIWABESSY. In the normal operation, 30 MW heat produced in the core of the reactor MPR GA Siwabessy is transferred by primary cooling system to secondary cooling system through 2 heat exchangers before then released to the environment by 6 cooling towers. In the normal shut-down or *scram*, heat produced in the core by gamma heating is cooled by the cooling pool with redundancy. In the transient state, core cooling still occurred due to the inertia of the pump and the natural flow. The safety of the reactor operation has been designed, either by redundancy or multifunction, such that the reactor still safe when the events are in the design limit. A scenario of the possible events of uncooled MPR GA Siwabessy has been written. This scenario is based on the initial event of leakage outside the valve chamber, leakage between the pool and the primary isolation valve and the reduction of the cooling due to valve failure. The response of the safety system is analysed based on the presence of the system/equipment available in the reactor. The analysis gives the description of the reactor in that special event qualitatively.

DESKRIPSI SISTEM PENDINGIN REAKTOR RSG GA SIWABESSY

Sistem pendingin utama reaktor RSG GA Siwabessy terdiri dari sistem primer, sistem sekunder dan sistem pendingin kolam. Sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder berfungsi untuk menjaga agar bahang di teras dan reflektor berada di dalam batas-batas aman sedangkan sistem pendingin kolam berfungsi untuk memindahkan bahang peluruhan selama reaktor *shut-down* normal dan atau selama tidak tersedianya daya listrik PLN. Komponen utama sistem pendingin primer terdiri dari pompa primer, katup-katup terkait dan

penukar bahang yang terletak di gedung reaktor. Sistem sekunder terletak di gedung bantu (auxiliary building), yang berjarak 10,6 m dari gedung reaktor sedangkan menara pendingin berada 28,8 m dari gedung bantu.

Selama reaktor beroperasi bahang yang terjadi di dalam teras reaktor diambil oleh sistem primer kemudian dipindahkan ke sistem sekunder untuk selanjutnya dibuang ke lingkungan lewat 6 buah menara pendingin. Jumlah lintasan primer sebanyak 3 buah (3 x 50% kapasitas memindah bahang) masing-masing

dilengkapi dengan pompa dan katup-katup, monitor aliran, suhu, tekanan dan pada setiap pompa dikopel dengan roda gila yang berfungsi untuk memperpanjang waktu *coast-down* pada saat pompa tidak bekerja karena terputusnya aliran listrik PLN. Setelah beberapa saat kemudian katup sirkulasi alam terbuka secara gravitasi sehingga terjadi aliran balik dan teras terdinginkan melalui aliran sirkulasi alam.

Air pendingin di dalam teras reaktor mengalir dari atas ke bawah. Reaktor RSG GA Siwabessy dalam operasi normal menggunakan dua buah pompa masing-masing mempunyai debit $1570 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan kapasitas memindah bahang masing-masing sebesar 16.200 kW pada aliran massa total sebesar 860 kg/detik sedangkan satu pompa yang lain dalam keadaan siaga. Temperatur masukan dan keluaran pada saat operasi daya penuh adalah $40,2^\circ\text{C}$ dan $48,9^\circ\text{C}$. Batas minimum aliran massa pendingin adalah 800 kg/detik . Air pendingin keluar dari tangki reaktor sebelum masuk ke pipa-pipa sistem primer dilewatkan ke ruang tunda (*delay chamber*) yang berfungsi menurunkan aktifitas isotop ^{16}N dan kemudian melewati katup isolasi di ruang katup (*valve chamber*). Level air di kolam reaktor pada kondisi normal adalah $+12,5 \text{ m}$ dan pipa inlet terletak pada ketinggian $+1,95 \text{ m}$. Pompa dipasang pada ketinggian $+0 \text{ m}$ dan penukar bahang dipasang secara vertikal dengan ketinggian puncaknya sebesar $+10,4 \text{ m}$.

Pemindahan bahang sisa akibat pemanasan dari peluruhan sinar gamma setelah *shut-down* normal dapat dilakukan oleh sistem pendingin utama atau menggunakan sistem pendingin kolam. Sistem pendingin kolam terdiri dari 3 rangkaian masing-masing mempunyai kapasitas 100% yang berfungsi untuk memindahkan bahang peluruhan selama kondisi *shut-down* normal atau *shut-down* selama darurat. Panas dipindahkan lewat pemindah bahang yang dicelupkan dalam kolam reaktor dan kemudian dibuang ke lingkungan melalui penukar bahang yang berada di atap gedung reaktor. Sistem pendingin kolam digunakan pula untuk memindahkan bahang yang berasal dari kolam penyimpan bahan bakar bekas. Oleh karena kapasitas termal dari kolam reaktor sangat besar maka dimungkinkan kolam reaktor boleh tidak terdinginkan (*pendingin utama gagal*) beberapa saat setelah terjadinya *shut-down*. Kolam reaktor dapat menjadi penyerap bahang selama sampai dengan 10 jam setelah *shut-down* tanpa memberikan kenaikan temperatur air yang berarti.

DISAIN KESELAMATAN SISTEM PENDI-NGIN REAKTOR RSG GA SIWABESSY

Bagian dari sistem instrumentasi dan kendali reaktor adalah sistem proteksi reaktor yang berfungsi untuk memberikan tindak pengamanan seperti:

- pancung (*scram*) reaktor
- isolasi gedung
- isolasi sistem primer
- isolasi sistem bantu kolam reaktor dan
- menghidupkan disel darurat.

Disain sistem proteksi reaktor RSG GA Siwabessy dirancang dengan sistem redundansi, sebagian dengan redundansi tiga dan sebagian dengan redundansi dua.

Perolehan data pengukuran khusus kaitannya dengan sistem primer adalah:

- debit pendingin primer
- ketinggian air kolam reaktor
- temperatur pendingin pada *outlet* penukar bahang
- posisi katup isolasi primer

Debit pendingin primer dipantau oleh kontrol aliran JE01-CF811, JE01-CF821, JE01-CF831 masing-masing dengan seting sebesar $3100 \text{ m}^3/\text{jam}$. Ketinggian air kolam reaktor dipantau oleh kontrol ketinggian JAA01-CL811, JAA01-CL821 dan JAA01-CL831 masing-masing dengan seting $12,4-12,5 \text{ m}$.

Di samping pengukuran-pengukuran yang dipakai untuk sistem proteksi terdapat pula pengukuran-pengukuran lain seperti level air, temperatur, tekanan, kecepatan aliran pompa yang ditampilkan di ruang kendali reaktor.

Sistem primer reaktor RSG GA Siwabessy dilengkapi dengan katup isolasi yang terletak di ruang katup masing-masing mempunyai redundansi 2 yaitu JE01-AA01 dan JE01-AA02 di bagian *outlet* dan JE01-AA18 dan JE01-AA19 di bagian *inlet*. Keadaan terjelek yang mengakibatkan hilangnya air pendingin adalah terjadinya gempa bumi dan kombinasi dengan:

- rusaknya/pecahnya pipa-pipa pada sistem pendingin primer.
- kebocoran pada sambungan pipa masuk (*inlet*) yang masuk ke dalam tangki

Jika suatu saat terjadi kebocoran di dalam lintasan sistem primer sehingga ketinggian air kolam $< +12,45 \text{ m}$ maka secara otomatis katup isolasi akan tertutup sehingga air di dalam kolam reaktor tidak akan habis. Dengan sinyal level air tersebut reaktor secara otomatis akan *scram*. Besar waktu tertutupnya katup yang dapat diterima adalah sebesar 120 detik dan dalam hal ini menurut perhitungan besarnya

ketinggian air yang masih ada di kolam reaktor minimum +7,5 m.

Analisis kecelakaan yang dikemukakan dalam makalah ini adalah analisis kecelakaan dalam batas-batas disain. Analisis kecelakaan meliputi kecelakaan yang diperkirakan mungkin terjadi yaitu kejadian awal kebocoran di luar ruang katup, kebocoran antara kolam dan katup isolasi primer, berkurangnya air pendingin yang diakibatkan oleh kegagalan katup.

ANALISIS POHON KEJADIAN DAN POHON KEGAGALAN SISTEM PENDINGIN

Beberapa kejadian awal yang diamati pada sistem pendingin reaktor RSG GA Siwabessy adalah:

a. Kebocoran antara kolam reaktor dan sistem katup isolasi primer

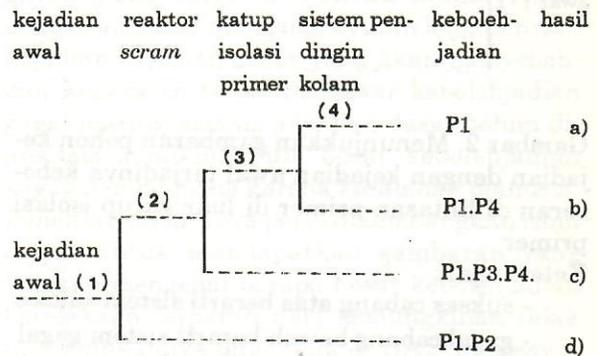
Teras reaktor RSG GA Siwabessy kemungkinan mengalami kurang pendinginan apabila terjadi kebocoran pipa antara kolam reaktor dan sistem katup isolasi.

Jika kebocoran di atas terjadi maka laju aliran pendingin pada sistem primer akan berkurang demikian pula level ketinggian air kolam pendingin akan turun. Besarnya aliran sistem primer dikontrol oleh tiga buah kontrol aliran JE01-CF811, JE01-CF821 dan JE01-CF831 dan level ketinggian air dikontrol oleh JAA01-CL811, JAA01-CL821 dan JAA01-CL831. Kedua sistem kontrol tersebut akan memberikan sinyal *scram* pada sistem proteksi secara *two out of three*. Di samping reaktor akan *scram* sinyal tersebut akan memberikan perintah otomatis yaitu tertutupnya katup isolasi primer. Besar waktu tertutupnya katup yang dapat diterima adalah sebesar 120 detik dan dalam hal ini menurut perhitungan besarnya ketinggian air yang masih ada di dalam kolam reaktor minimum +7,5 m.

Dalam keadaan kecelakaan di atas pompa primer akan mati, tinggi level air kolam +7,5 m dan jika reaktor tidak mengalami *scram* maka harus dihitung perpindahan panas teras. Perhitungan *anticipated transient without scram* harus dilakukan untuk mengetahui resiko yang mungkin timbul. Risiko lain adalah adanya paparan radiasi di atas kolam reaktor yang disebabkan tidak cukupnya perisai radiasi arah vertikal.

Kejadian di atas akan memberikan sinyal alarm di dalam ruang kendali utama. Supervisor/operator dengan mengetahui adanya kejadian-kejadian di atas akan bekerja sesuai dengan juklak yang telah ditetapkan. Pekerjaan

yang harus dikerjakan menurut analisis ini adalah menghidupkan sistem pendingin kolam. Seperti diuraikan di atas bahwa kolam reaktor mempunyai kapasitas menyerap panas yang besar dan pekerjaan menghidupkan pendingin kolam dinyatakan gagal apabila dalam interval waktu 10 jam supervisor/operator gagal menghidupkan pendingin kolam. Skenario tanggapan operator akan memberikan keandalan manusia di dalam mengoperasikan mesin yang dihadapinya.



Gambar 1. Menunjukkan gambaran pohon kejadian dengan kejadian awal terjadinya kebocoran diantara kolam reaktor dan katup isolasi primer

Keterangan :

sukses cabang atas berarti sistem sukses
gagal cabang bawah berarti sistem gagal
(1) kejadian awal yaitu terjadinya kebocoran antara kolam reaktor dan sistem katup isolasi primer

(2) reaktor *scram*

(3) katup isolasi primer

(4) sistem pendingin kolam

Hasil :

a) teras aman

b) sistem *scram* dan katup isolasi berhasil baik namun sistem kolam gagal

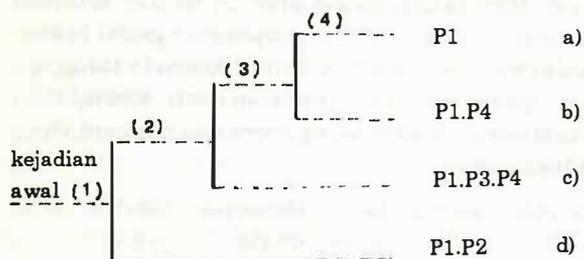
c) sistem *scram* berhasil baik namun katup isolasi tidak menutup dengan baik

d) keadaan terjelek yaitu *scram* gagal dan semua sistem penyelamat lainnya gagal yang berarti perlu ada perlakuan serius

b. Kebocoran terjadi di lintasan sistem primer di luar katup

Teras reaktor RSG GA Siwabessy kemungkinan mengalami kurang pendinginan apabila terjadi kebocoran pada *seal* yang ada pada sambungan di katup-katup, peralatan ukur, pompa dan lain-lain.

kejadian awal reaktor *scram* katup isolasi primer sistem pendingin kolam kebolehdijadian hasil



Gambar 2. Menunjukkan gambaran pohon kejadian dengan kejadian awal terjadinya kebocoran di lintasan primer di luar katup isolasi primer

Keterangan:

- sukses cabang atas berarti sistem sukses
- gagal cabang bawah berarti sistem gagal
- (1) kejadian awal yaitu terjadinya kebocoran di lintasan primer di luar katup isolasi primer
- (2) reaktor *scram*
- (3) katup isolasi primer tidak tertutup rapat
- (4) sistem pendingin kolam

Hasil:

- a) teras aman
- b) sistem *scram* dan katup isolasi berhasil baik namun sistem pendingin kolam gagal
- c) sistem *scram* berhasil baik namun katup isolasi tidak tertutup dengan baik
- d) keadaan terjelek yaitu *scram* gagal dan semua sistem penyelamat lainnya gagal yang berarti perlu ada perlakuan serius

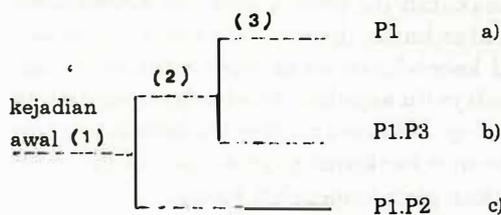
Kejadian kebocoran di atas merupakan kejadian awal dari analisis ini dan besar kebolehdijadian terjadinya merupakan jumlahan dari kebolehdijadian gagal masing-masing alat/sistem yang dapat ditulis dengan:

$$P = P_{katup1} + P_{katup2} + \dots + P_{alat ukur1} + P_{alat ukur2} + \dots + \dots \text{ dan seterusnya.}$$

P = P1 yang merupakan kejadian awal

Jika kebocoran di atas terjadi maka laju aliran pendingin pada sistem primer akan berkurang demikian pula level ketinggian air kolam pendingin akan turun. Besarnya aliran sistem primer dikontrol oleh tiga buah kontrol aliran JE01-CF811, JE01-CF821 dan JE01-CF831 dan level ketinggian air dikontrol oleh JAA01-CL811, JAA01-CL821 dan JAA01-CL831.

kejadian awal reaktor *scram* sistem pendingin kolam kebolehdijadian hasil



Gambar 3. Menunjukkan gambaran pohon kejadian dengan kejadian awal katup isolasi primer

Keterangan :

- sukses cabang atas berarti sistem sukses
- gagal cabang bawah berarti sistem gagal
- (1) kejadian awal yaitu katup isolasi primer tiba-tiba tertutup
- (2) reaktor *scram*
- (3) sistem pendingin kolam

Hasil:

- a) teras aman
- b) sistem *scram* berhasil baik namun sistem pendingin kolam gagal
- c) kejadian terjelek yaitu *scram* gagal dan semua sistem penyelamat lainnya gagal yang berarti perlu ada perlakuan serius

Kedua sistem kontrol tersebut akan memberikan sinyal *scram* pada sistem proteksi secara *two out of three* atau dua dari tiga. Di samping reaktor akan *scram* sinyal tersebut akan memberikan perintah otomatis yaitu tertutupnya katup isolasi primer. Tertutupnya katup isolasi mungkin tidak rapat, kemungkinan tersebut mempunyai kebolehdijadian gagal P3. Skenario urutan kejadian berikutnya adalah sukses tidaknya sistem pendingin kolam seperti diuraikan dalam sub bab a. dalam ANALISIS POHON KEJADIAN DAN POHON KEGAGALAN SISTEM PENDINGIN

c. Kejadian awal tertutupnya katup isolasi primer

Teras reaktor RSG GA Siwabessy kemungkinan mengalami kurang pendinginan apabila terjadi kejadian tertutupnya katup isolasi primer yang diakibatkan oleh: kesalahan operator, kesalahan instrumentasi/mekanik atau adanya gangguan sinyal luar (*spurious signal*). Kejadian katup isolasi primer tiba-tiba tertutup terjadi jika katup isolasi primer JE01-AA01, JEE01-AA02 JE01-AA18 dan JE01-AA19

masing-masing atau bersama tertutup karena kesalahan manusia atau jika signal penunjuk-kan yang berdundansi tiga secara *two out of three* dari kontrol level JAA01-CL811, JAA01-CL821 dan JAA01-CL831 gagal berfungsi. Atau adanya sinyal palsu/kesalahan mekanik yang menyebabkan tertutupnya katup isolasi primer. Kejadian-kejadian di atas dikategorikan sebagai kejadian awal yang menyebabkan katup iso-lasi primer tertutup tanpa dikehendaki.

Besarnya kesalahan manusia yang menye-babkan tertutupnya katup isolasi primer masing-masing dihitung berdasar pada analisis keandalan manusia untuk masing-masing kom-ponen. Adanya sinyal palsu yang memicu katup isolasi primer menjadi tertutup atau kesalahan mekanik merupakan penyebab kegagalan ka-tup isolasi primer.

Kejadian di atas akan menyebabkan turun-nya aliran pendingin primer. Jika aliran pendingin primer turun maka sinyal kontrol aliran JE01-CF811, JE01-CF821, JE01-CF831, se-cara *two out of three* akan memberikan sinyal

scram pada reaktor. Pengamatan selanjutnya adalah sukses tidaknya pendingin kolam.

KESIMPULAN

Hasil analisis dapat dilihat pada gambar pohon kejadian 1, 2 dan 3 dan pohon kegagalan seperti gambar-gambar pada lampiran. Analisis ini dikerjakan bertujuan untuk memberikan gambaran skenario atas kemungkinan tidak terdenginkannya teras reaktor RSG GA Siwabessy. Struktur pohon kejadian dan pohon kega-galan yang telah terbentuk memberikan gambaran dasar mengenai urutan kejadian dan kejadian-kejadian dasar yang akan menyebab-kan kegagalan terparah. Besar kebolehjadian gagal masing-masing kejadian dasar belum di-analisis demikian pula besar kebolehjadian kegagalan manusia karena kesalahan manusia. Penelitian ini kiranya perlu dikembangkan lebih lanjut untuk mendapatkan gambaran yang lengkap mengenai berapa besar kebolehjadian kecelakaan terparah dari kemungkinan tidak terdenginkannya teras reaktor GA Siwabessy.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, Application of probabilistic safety assesment to research reactors, IAEA-Tech.Doc.-517, appendices I-L, Volume 3, Heavy water and tank reactors, Vienna, Austria (1989).
2. BATAN, Safety analysis report for multipurpose research reactor GA Siwabessy, Badan Tenaga Atom Nasional, September (1989).

DISKUSI

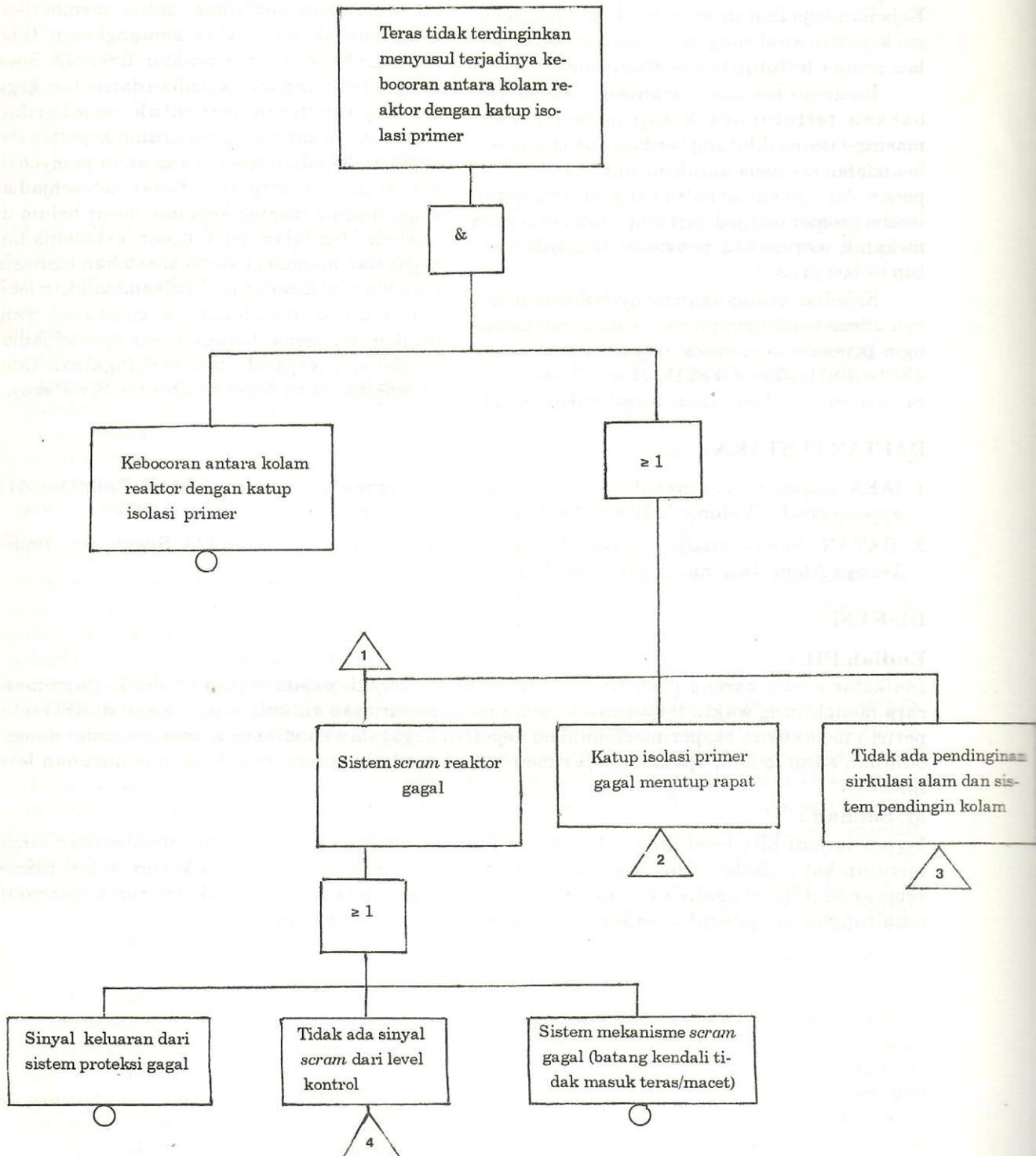
Endiah PH. :

Indikator *scram* karena penurunan level air kolam terjadi dalam waktu 96 detik. Bagaimana cara menghitung waktu terjadinya *scram* karena penurunan air kolam ini ? Kami di RSG telah pernah melakukan eksperimen/simulasi kejadian kegagalan pendingin sistem sekunder dengan bantuan suhu kolam, apakah eksperimen kami ini ada hubungannya dengan penurunan level ini ?

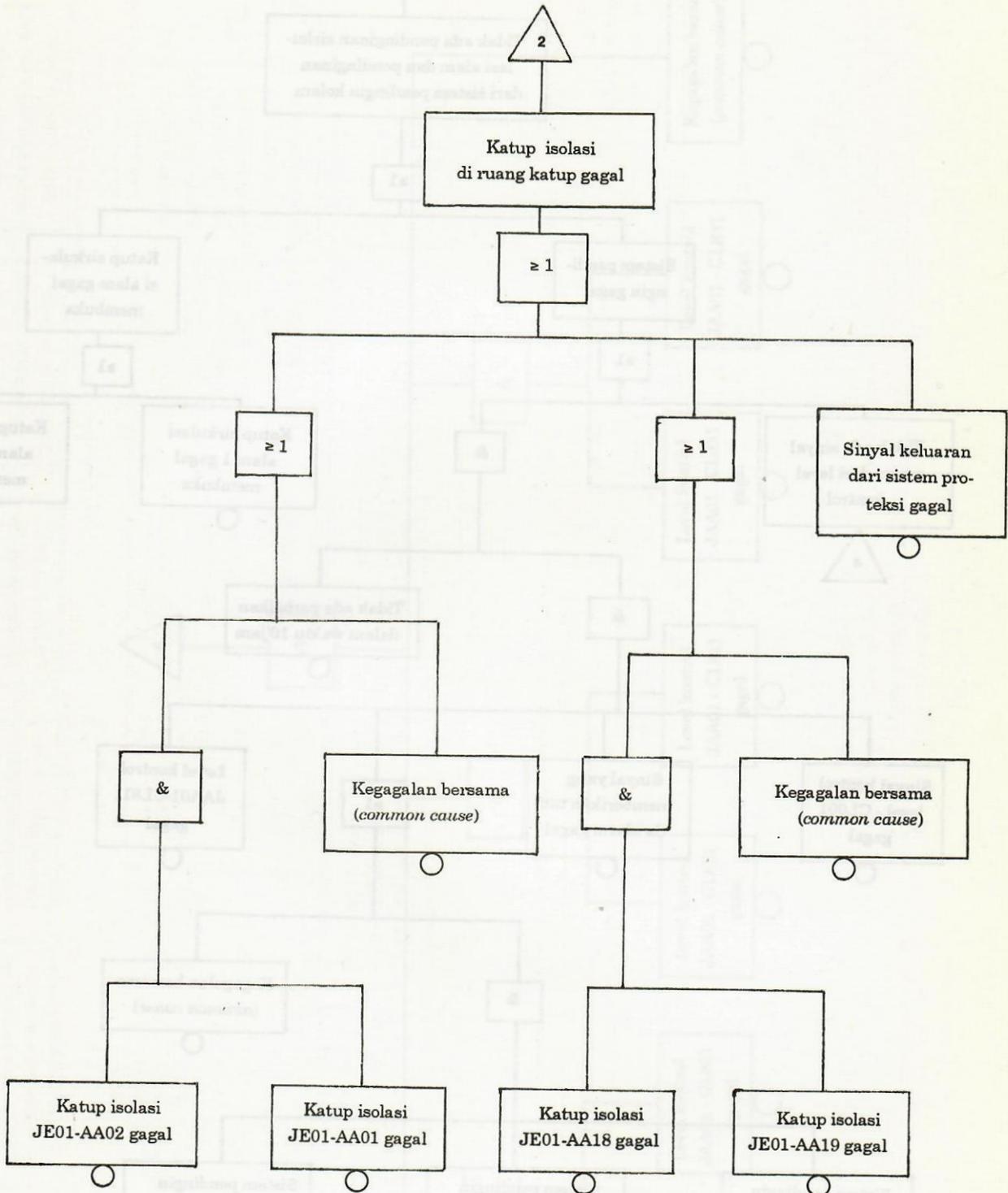
M. Salman :

Scram terjadi bila level air < +12,245 m. Kondisi level air ini juga akan memberikan sinyal tertutup katup isolasi primer secara otomatis. Lama waktu tertutupnya katup isolasi primer sebesar 96 S (hasil analisis Interatom). Analisis yang berada di dalam makalah tidak mencakup perhitungan dan pengukuran seperti dimaksud dalam pertanyaan.

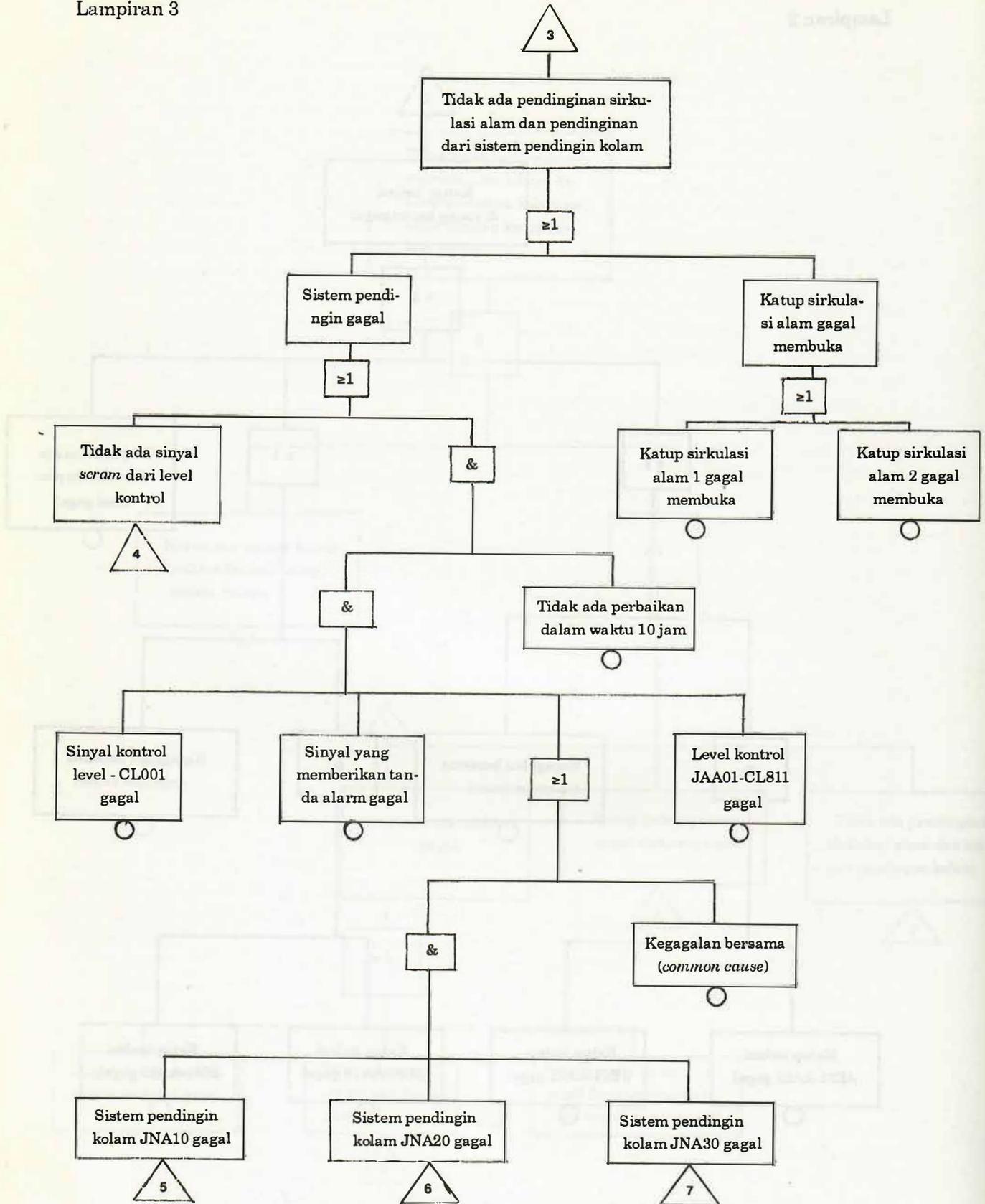
Lampiran 1



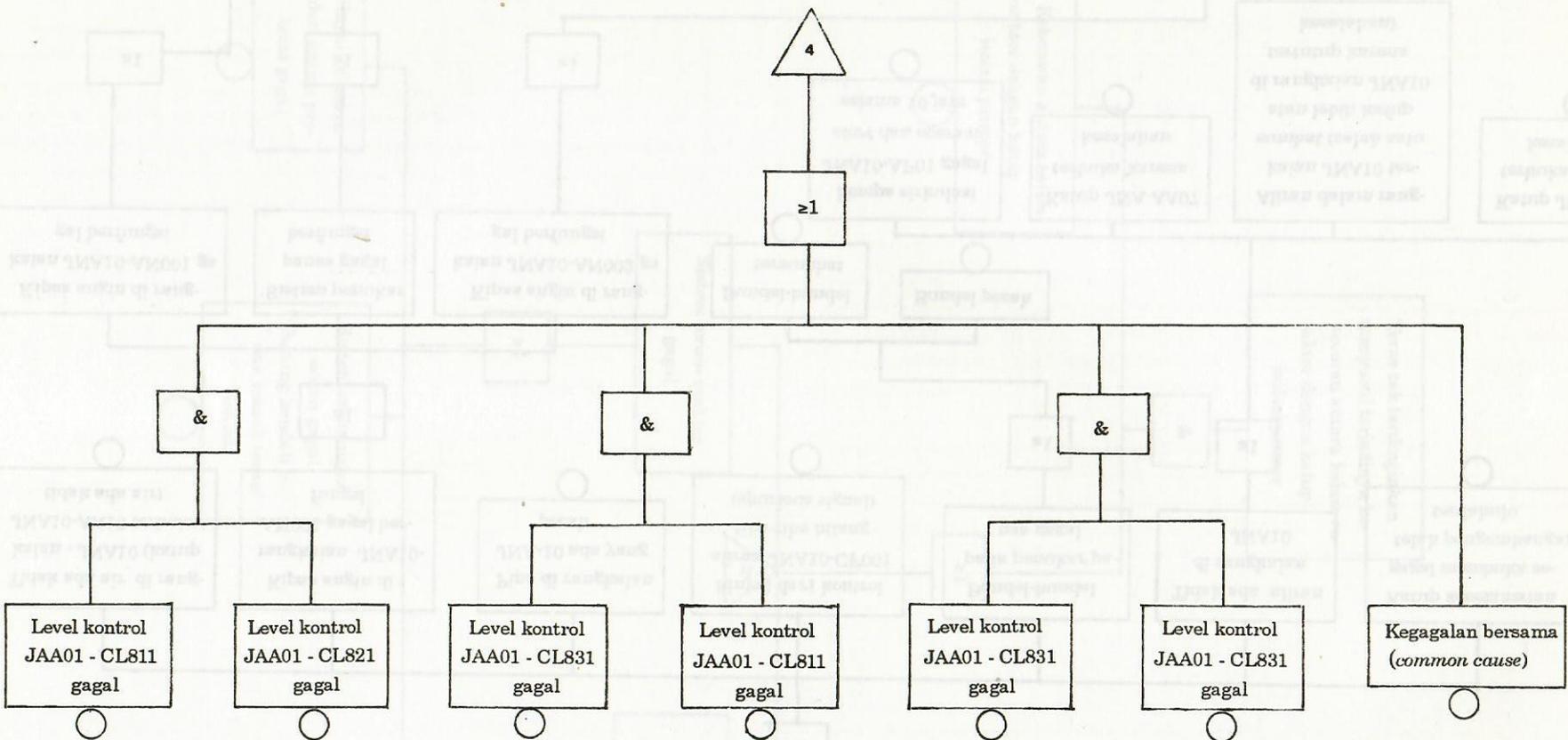
Lampiran 2



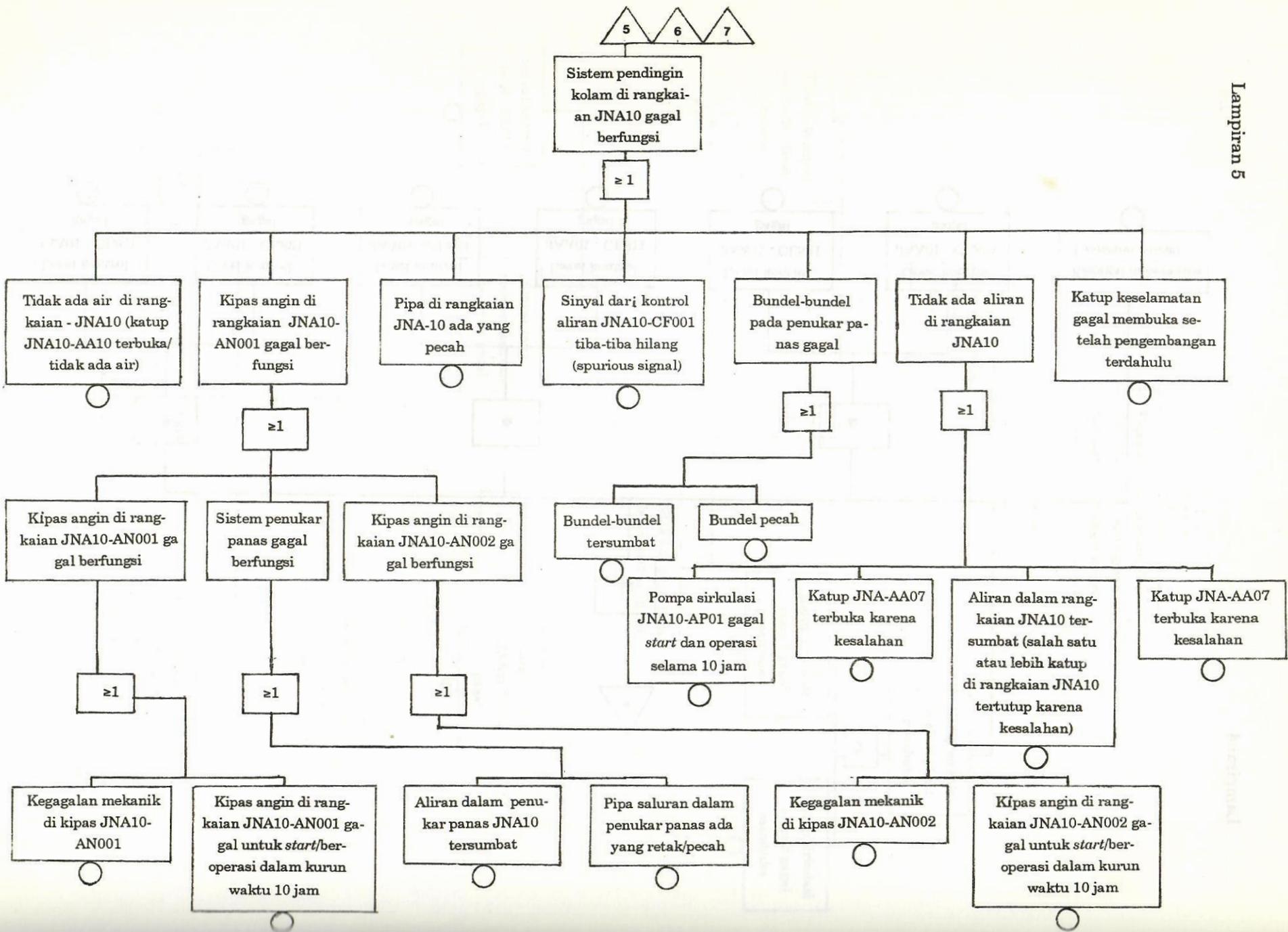
Lampiran 3



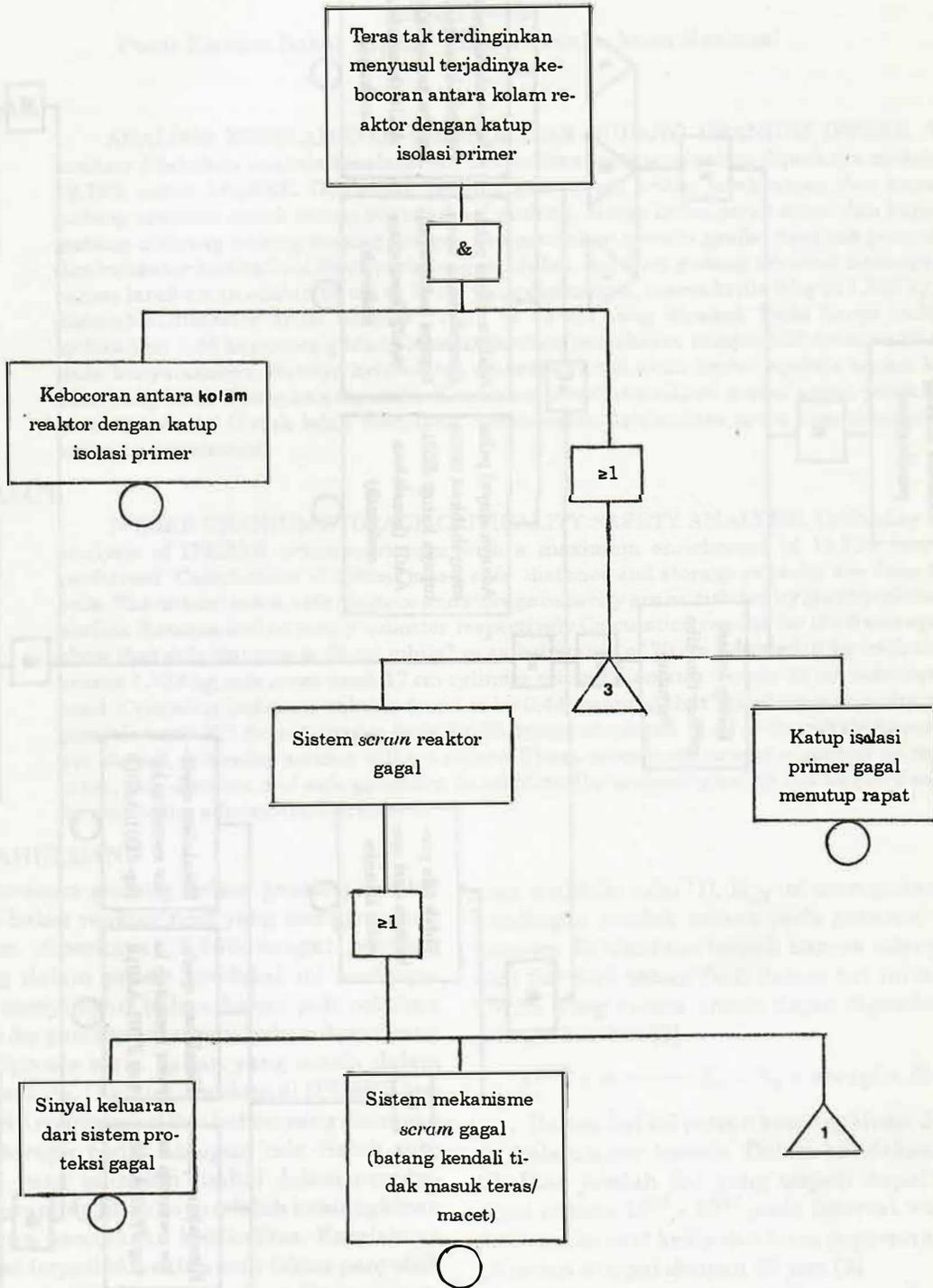
Lampiran 4



Lampiran 5



Lampiran 6



Lampiran 7

