



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENINGKATAN SISTEM MANAJEMEN PEMELIHARAAN
BERDASARKAN ANALISA KEGAGALAN OPERASI
SISTEM REAKTOR RISET DENGAN MENGGUNAKAN
METODE FMEA**

SKRIPSI

**RANO SAPUTRA MARTAS
0706201222**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENINGKATAN SISTEM MANAJEMEN PEMELIHARAAN
BERDASARKAN ANALISA KEGAGALAN OPERASI
SISTEM REAKTOR RISET DENGAN MENGGUNAKAN
METODE FMEA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RANO SAPUTRA MARTAS
0706201222**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
DESEMBER 2009**

ii

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Rano Saputra Martas

NPM : 0706201222

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rano Saputra Martas
NPM : 0706201222
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Peningkatan Sistem Manajemen Pemeliharaan Berdasarkan Analisa Kegagalan Operasi Sistem Reaktor Riset Dengan Menggunakan Metode FMEA

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Fauzia Dianawati, M.Si ()
Penguji : Ir. Akhmad Hidayatno, MBT ()
Penguji : Ir. Yadrifil, Msc ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2009

KATA PENGANTAR

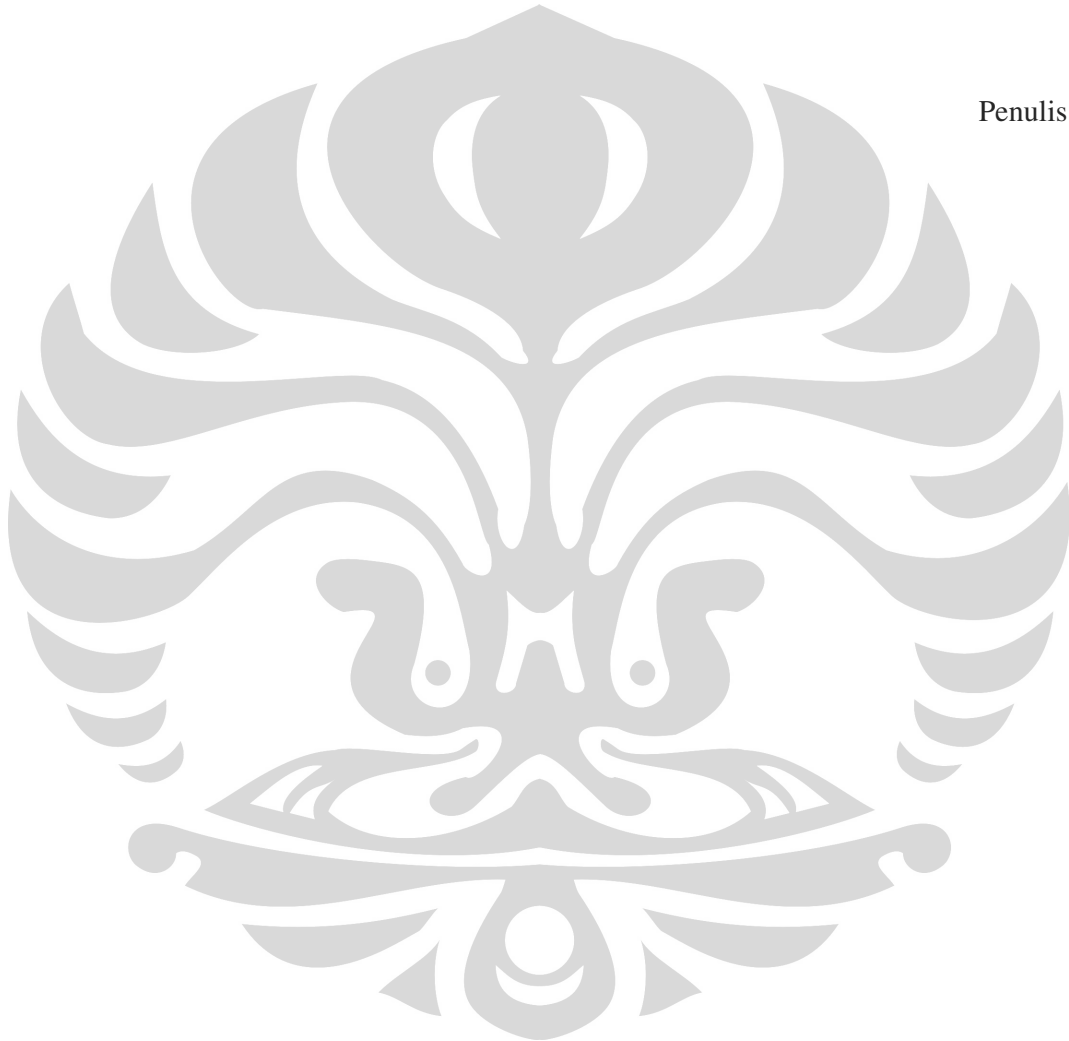
Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah swt, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada masa penyusunan skripsi ini sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Ir. Fauzia Dianawati, M.Si , selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu memberikan kepercayaan, semangat, bimbingan, dan bantuan yang luar biasa.
2. Ibu Ir. Betrianis, M.Si, selaku pembimbing akademis atas perhatiannya.
3. Bapak Amar Rachman, Bapak Yadrifil, dan Bapak Farizal atas semua masukan dan kritiknya selama masa seminar.
4. Segenap jajaran Dosen Departemen Teknik Industri yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Bagian Administrasi Departemen Teknik Industri (Mbak Ana, Mbak Fat, Mas Dody) yang selalu siap sedia membantu penulis dalam segala urusan.
6. Semua pihak yang membantu memberikan masukan kepada penulis: Bapak Yusi Eko Yulianto, Bapak Cahyana, Bapak Aep Saefudin catur, Bapak Slamet Suprianto dan rekan-rekan kerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).
7. Keluarga penulis (Ayahanda, Ibunda, Kakakku Bang Robby, Ka Rika dan De Riko) yang selalu memberikan doa, kasih sayang dan perhatiannya tanpa mengharapkan balasan dalam penyusunan skripsi ini.
8. Teman seperjuangan "Bu Ana Team": Ulya, Fahrizal, Khusnul, Sugeng, Ajeng atas segala bantuan, masukan, dan dorongan semangatnya.
9. Teman-teman "futsal team": Januar, Soni, Jepri Well yang selalu menemani disaat sibuk dan senggang.
10. Teman-teman TI ekstensi salemba angkatan 2007 yang selalu memberikan keceriaan dan persahabatan yang indah selama masa perkuliahan.

Akhir kata saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu ke depannya.

Depok, Desember 2009

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rano Saputra Martas
NPM : 0706201222
Program Studi : Teknik Industri
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Peningkatan Sistem Manajemen Pemeliharaan Berdasarkan
Analisa Kegagalan Operasi Sistem Reaktor Riset dengan Menggunakan
Metode FMEA”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilih Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Desember 2009

Yang menyatakan

(Rano Saputra Martas)

vii

ABSTRAK

Nama : Rano Saputra Martas
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Peningkatan Sistem Manajemen Pemeliharaan
Berdasarkan Analisa Kegagalan Operasi Sistem Reaktor
Riset dengan Menggunakan Metode FMEA

Kegagalan dalam pengoperasian reaktor diakibatkan oleh salah satu/lebih fungsi sistem reaktor berkurang kehandalannya atau mengalami kegagalan dalam memenuhi fungsinya. Jika ketidakhandalan terjadi pada sistem operasi dan keselamatan, maka dapat berdampak risiko bagi kegagalan pengoperasian reaktor. Oleh karena itu, diperlukan analisis risiko kegagalan untuk mengidentifikasi, mengontrol dan meminimalkan dampak dari kegagalan operasi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk peningkatan sistem manajemen pemeliharaan berdasarkan analisa kegagalan operasi sistem reaktor. Analisa kegagalan operasi sistem dapat dilakukan dengan menggunakan metode FMEA dan juga FTA. Dengan metode FMEA kegagalan yang terjadi dikuantifikasi untuk dibuat prioritas penanganannya, sedangkan metode FTA menganalisa sistem kegagalan dari gabungan beberapa sus-sistem, level yang dibawahnya dan juga kegagalan komponen. Hasil yang dicapai adalah prioritas kegagalan berdasarkan nilai RPN terbesar yang kemudian dilakukan rekomendasi tindakan untuk penanganannya.

Kata kunci:

Manajemen risiko, Analisis risiko, FMEA, FTA

ABSTRACT

Name : Rano Saputra Martas
Study Program : Industrial Engineering
Title : Maintenance Management System Improvement
Based on Operation Failure Analysis Reactor
Research System by Using FMEA Method

Failure in reactor operation is caused by one or more reactor systems decrease the mainstay or through of failure in fulfill the function. If the failure happened at operating system and safety so it can affect risk for reactor operation. Therefore, need failure risk analysis to identify, controls and minimize impact from operation failure. This research aim to make maintenance management system improvement based on operation failure analysis reactor system. System operation failure analysis can be done with FMEA and FTA method. With FMEA method, failure that happened is calculated to be made handling priority. While FTA method, analyze the failure system from composite several sub sistem, under level and also component failure. The result is failure priority based on the biggest RPN value and then recommendation action is done to handling the problem.

Keywords:

Risk management, Risk analysis, FMEA, FTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah	4
1.3 Perumusan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Metodologi Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Risiko	9
2.1.1 Definisi Risiko	9
2.1.2 Klasifikasi Risiko	11
2.2 Manajemen Risiko	13
2.2.1 Definisi Manajemen Risiko	13
2.2.2 Tahapan Manajemen Risiko	13
2.2.2.1 Perencanaan Risiko Manajemen	14
2.2.2.2 Identifikasi Risiko	14
2.2.2.3 Analisis Risiko	16
2.2.2.4 Evaluasi dan Pengelolaan Risiko	16

2.3 Enam Kriteria Utama (<i>Six Big Losses</i>).....	16
2.4 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)	18
2.4.1 Sejarah FMEA.....	18
2.4.2 Definisi FMEA	19
2.4.3 Jenis FMEA.....	20
2.4.3.1 Sistem FMEA	21
2.4.3.2 Desain FMEA	21
2.4.3.3 Proses FMEA.....	21
2.4.3.4 Service FMEA	21
2.4.4 Prosedur FMEA.....	22
2.4.5 Hasil Keluaran FMEA	27
2.5 FTA (Fault Tree Analysis)	29
2.5.1 Sejarah dan Definisi FTA	29
2.5.2 Prosedur Fault Tree Analysis	30
2.5.3 Analisa Kualitatif FTA	31
2.5.4 Analisa Kuantitatif FTA	31
2.6 Teori Manajemen Pemeliharaan	32
2.6.1 Definisi Manajemen Pemeliharaan.....	33
2.6.2 Tujuan Pemeliharaan	33
2.6.3 Fungsi Pemeliharaan.....	33
2.6.4 Jenis Pemeliharaan	34
2.6.5 Kendala Dalam Manajemen Pemeliharaan	36
2.6.6 Penilaian Kinerja Manajemen Pemeliharaan	36
BAB 3 METODE PENELITIAN	38
3.1 Profil Perusahaan/Institusi.....	38
3.2 Kedudukan, Tugas Pokok dan Fungsi.....	39
3.3 Visi, Misi, Komposisi dan Jumlah Pegawai.....	39
3.4 Uraian Singkat Fasilitas	40
3.5 Struktur Organisasi PRSG-GAS BATAN.....	41
3.6 Pengenalan Sistem dan Material Reaktor Riset (RSG-GAS).....	42
3.7 Metode Pengumpulan Data	43

3.7.1 Pembelajaran fungsi dan struktur sistem reaktor	43
3.7.1.1 Sistem Kendali Reaktivitas.....	43
3.7.1.2 Sistem Pendingin Reaktor dan Sistem Yang Berkaitan	46
3.7.1.3 Sistem Proteksi Reaktor (<i>Reactor Protection System, RPS</i>)	46
3.7.1.4 Instrumentasi Proteksi Radiasi.....	47
3.7.2 Mencari dan Mengumpulkan Data Historis Tentang Kegagalan Sistem Reaktor dan <i>Brainstorming</i> Untuk Mengumpulkan Informasi Mengenai Kegagalan Yang Belum Ter-record Sebelumnya	47
3.7.2.1 Enam kerugian utama (<i>six big losses</i>).....	47
3.7.3 Pengolahan Data FMEA	50
3.7.3.1 Pemilihan tim dan pencarian ide masalah (<i>brainstorming</i>).....	50
3.7.3.2 Meninjau proses	51
3.7.3.3 Mendiskusikan modus-modus kesalahan atau kegagalan potensial	52
3.7.3.4 Mendata efek potensial tiap modus-modus kesalahan atau kegagalan	52
3.7.3.5 Mendata penyebab kegagalan potensial (<i>Potential Cause of Failure</i>)	52
3.7.3.6 Mendata Penedalihan Kegagalan Saat Ini (<i>Current Control</i>)	54
3.7.3.7 Menentukan Standar Rating Kesenjangan (<i>severity</i>), Kejadian (<i>occurrences</i>), Deteksi dari tiap Modus-Modus Kesalahan atau Kegagalan.	54
3.8 Penyebaran Kuisisioner	56
3.8.1 Pengolahan Kuisisioner.....	56
BAB 4 PEMBAHASAN	64
4.1 Analisa Data FMEA.....	64
4.1.1 Menentukan Rating Tiap Modus-Modus Kesalahan atau Kegagalan	64
4.1.2 Menghitung Nilai Prioritas Risiko dari Tiap Efek (RPN)	64
4.1.3 Peringkat RPN dan Memprioritaskan Risiko Kegagalan Untuk Mengambil Tindakan	64
4.1.4 Usulan Tindakan Pengurangan Modus Kegagalan Yang Berisiko Tinggi	66

4.2 Analisa Data FTA	68
4.2.1 Catu Daya Magnet Pemegang tidak Berfungsi	69
4.2.2 Unit Penggerak <i>Drive Unit</i> tidak berfungsi	70
4.2.3 Elektrik dan instrumen <i>drive unit</i> gagal beroperasi.....	71
4.2.4 Pompa primer mati	72
4.3 Analisa Kuisisioner.....	74
4.3.1 Analisa Keadaan Mesin	74
4.3.2 Analisa Operator.....	75
4.3.3 Analisa Manajemen Pemeliharaan	76
4.3.4 Kesimpulan Kuisisioner	76
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran.....	80
DAFTAR REFERENSI	81
LAMPIRAN	83

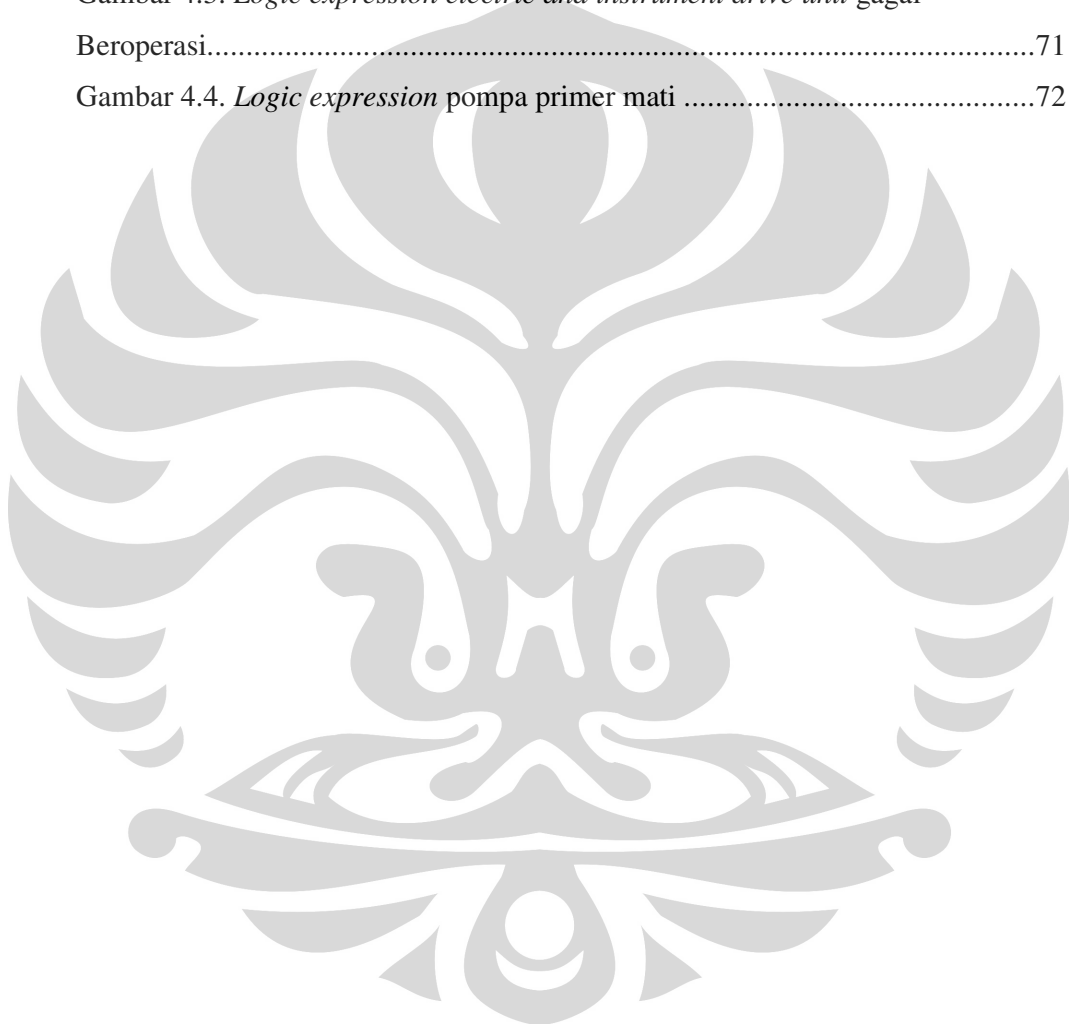
DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Reaktor Riset yang Ada di Indonesia.....	2
Tabel 2.1. Enam Kategori Kerugian Utama.....	18
Tabel 2.2. Contoh Form FMEA	27
Tabel 2.3. Simbol yang Digunakan Dalam FTA.....	29
Tabel 2.4. Kerugian dan Keuntungan FTA.....	31
Tabel 3.1. Spesifikasi RSG-GAS	41
Tabel 3.2. Tahun 2005	48
Tabel 3.3. Tahun 2006	48
Tabel 3.4. Tahun 2007	49
Tabel 3.5. Tahun 2008	49
Tabel 3.6. Tahun 2009	49
Tabel 3.7 Rekapitulasi Kegagalan Operasi Sistem Reaktor.....	50
Tabel 3.8. Rekapitulasi Data Kegagalan Operasi (<i>Scram</i>) Reaktor RSG-GAS	50
Tabel 3.9. Daftar Anggota Tim Brainstorming dan Responder Kuisisioner	51
Tabel 3.10. Form FMEA Sistem Reaktor RSG-GAS Batan	52
Tabel 3.11. Rating Keseriusan (<i>Severity</i>).....	54
Tabel 3.12. Rating Frekuensi Kejadian (<i>Occurrence</i>).....	55
Tabel 3.13. Rating Deteksi.....	55
Tabel 3.14. Jumlah Penyebaran Kuisisioner.....	56
Tabel 4.1. Daftar Resiko Kegagalan dengan Nilai RPN Tertinggi	64
Tabel 4.2. Tindakan Rekomendasi 4 Resiko Kegagalan Operasi dengan RPN Tertinggi.....	67
Tabel 4.3. Daftar Minimal <i>Cut Sets</i> Empat Resiko Kegagalan dengan RPN Tertinggi.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1.2. Diagram Alir Metodologi Penelitian	6
Gambar 2.1. Kurva Risiko	9
Gambar 3.1. Struktur Organisasi PRSG-BATAN.....	41
Gambar 3.2. Sistem dan Material Reaktor Riset (RSG-GAS)	42
Gambar 3.3. Penggerak batang kendali	44
Gambar 3.4. Diagram pareto kegagalan.....	50
Gambar 3.5. Diagram CFME Sistem Reaktor RSG-GAS	53
Gambar 3.6. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 1	57
Gambar 3.7. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 3	57
Gambar 3.8. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 4	57
Gambar 3.9. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 5	58
Gambar 3.10. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 6	58
Gambar 3.11. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 7	58
Gambar 3.12. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 8	58
Gambar 3.13. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 9	59
Gambar 3.14. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 10	59
Gambar 3.15. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 11	59
Gambar 3.16. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 12	59
Gambar 3.17. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 13	60
Gambar 3.18. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 14	60
Gambar 3.19. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 15	60
Gambar 3.20. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 16	60
Gambar 3.21. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 17	61
Gambar 3.22. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 18	61
Gambar 3.23. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 19	61
Gambar 3.24. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 20	61
Gambar 3.25. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 21	62
Gambar 3.26. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 22	62
Gambar 3.27. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 23	62

Gambar 3.28. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 24	62
Gambar 3.29. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 25	63
Gambar 3.30. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 26	63
Gambar 3.31. <i>Pie chart</i> Jawaban No. 27	63
Gambar 4.1. <i>Logic expression</i> catu daya magnet pemegang tidak berfungsi	69
Gambar 4.2. <i>Logic expression</i> unit penggerak drive unit tidak berfungsi.....	70
Gambar 4.3. <i>Logic expression</i> electric and instrument drive unit gagal Beroperasi.....	71
Gambar 4.4. <i>Logic expression</i> pompa primer mati	72



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Kuisisioner Penelitian

Lampiran 2: Pengolahan Data dengan Metode FMEA

Lampiran 3: *Fishbone Diagram* Catu Daya Magnet Pemegang tidak berfungsi

Lampiran 4: *Fishbone Diagram* Unit Penggerak *Drive Unit* tidak berfungsi

Lampiran 5: *Fishbone Diagram* elektrik dan instrumen *drive unit* gagal beroperasi

Lampiran 6: *Fishbone Diagram* Pompa *Primer* mati



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan peradaban manusia tingkat kebutuhan energi manusia juga semakin meningkat. Pemenuhan energi ini sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil yang berumur jutaan tahun dan tidak dapat diperbaharui dan sebagian kecil saja yang berasal dari penggunaan sumber energi lain yang lebih terbarukan.

Ketergantungan pada keberadaan sumber energi tersebut sangatlah besar. Sumber energi secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) dan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*non renewable*). Untuk sumber energi yang tidak dapat diperbaharui tersebut pengelolaannya harus secara tepat guna agar sumber energi tersebut menjadi bermanfaat, efisien dan ekonomis dalam penggunaannya. Salah satu usaha untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbaharui adalah dengan mengembangkan sumber-sumber energi terbarukan. Berbagai sumber energi terbarukan yang dapat dikembangkan antara lain energi air, energi angin, energi laut yang dapat meliputi energi gelombang dan energi pasang surut, energi biomassa serta pemanfaatan energi nuklir.

Energi nuklir merupakan sumber energi alternatif yang layak untuk dipertimbangkan dalam perencanaan energi jangka panjang. Nuklir merupakan istilah yang berhubungan dengan inti atom yang tersusun atas dua buah partikel fundamental yaitu proton dan neutron. Sedangkan Energi nuklir dihasilkan di dalam inti atom melalui dua buah jenis reaksi nuklir yaitu reaksi fusi dan reaksi fisi. Reaksi fusi adalah suatu reaksi yang menggabungkan beberapa partikel atomik menjadi sebuah partikel atomik yang lebih berat dan reaksi fisi merupakan kebalikan dari reaksi fusi yaitu reaksi yang membelah suatu partikel atomik menjadi beberapa partikel atomik lainnya dan sejumlah energi.

Pemanfaatan energi nuklir sudah banyak dilakukan diberbagai negara misalnya pembangunan instalasi PLTN yang ditujukan untuk memenuhi kebutuhan energi.

Di Indonesia energi nuklir dimanfaatkan untuk kepentingan penelitian dalam bidang sains materi, teknologi dan berbagai litbang lain dalam bidang industri nuklir. Hal ini ditandai dengan adanya 3 reaktor riset yang saat ini masih beroperasi di Indonesia.

Tabel 1.1. Reaktor Riset yang ada di Indonesia

Negara	Nama fasilitas	Daya (kW)	Tipe	Status	Tanggal kritis
Indonesia	<u>GA SIWABESSY MPR SERPONG JAKARTA</u>	30000	KOLAM, MTR	OPERASI	29/07/1987
Indonesia	<u>KARTINI-PTAPB YOGYAKARTA</u>	100	TRIGA MARK II	OPERASI	25/01/1979
Indonesia	<u>TRIGA MARK II, BANDUNG</u>	2000	TRIGA MARK II	OPERASI	19/10/1964

(Sumber: www.IAEA.org)

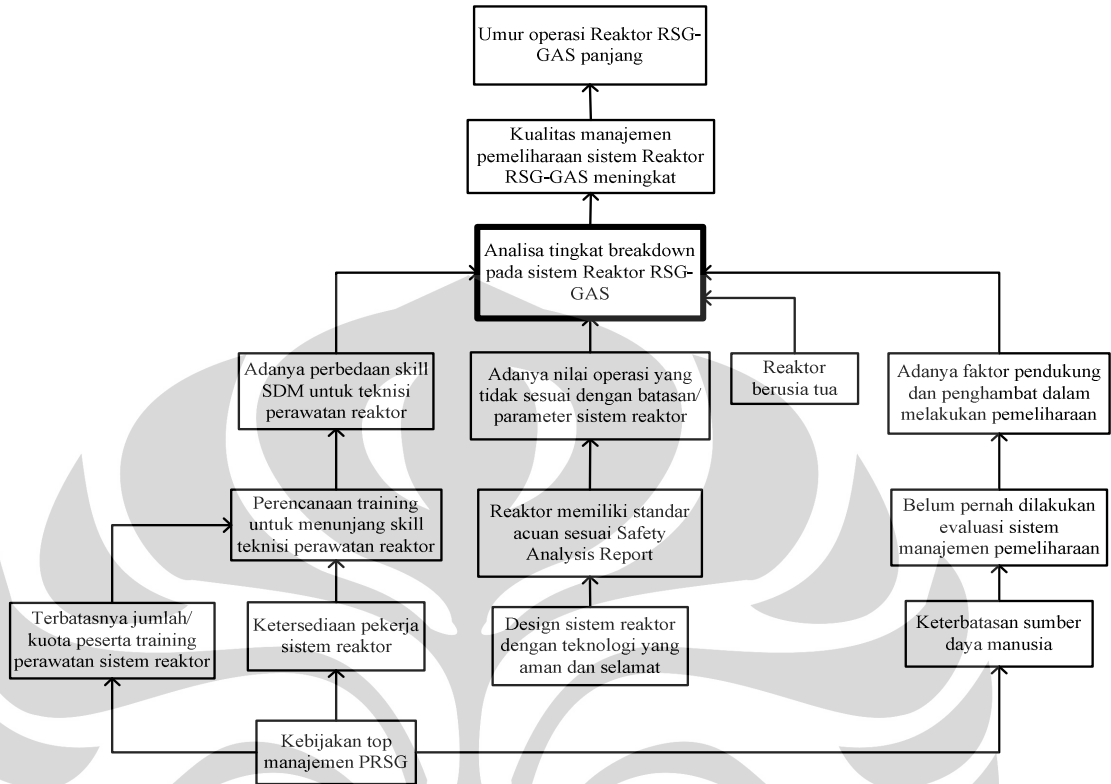
Reaktor nuklir adalah alat atau instalasi yang dijalankan dengan bahan bakar nuklir yang dapat menghasilkan reaksi inti berantai yang terkendali dan digunakan untuk pembangkit daya, penelitian, dan atau produksi radioisotop. Sedangkan reaktor riset merupakan instalasi nuklir yang dioperasikan untuk penelitian dan pengembangan teknologi reaktor, reaktor riset memanfaatkan neutron yang dihasilkan dari reaksi inti dan panasnya dibuang melalui sistem pendingin. Reaktor riset tersebut didukung oleh sistem reaktor yang merupakan suatu fasilitas yang berupa instalasi pendukung reaktor nuklir. Teknologi sistem reaktor sangat beragam tergantung jenis dan tipe reaktor yang didukungnya, bahkan terhadap jenis reaktor yang sama dapat memiliki teknologi sistem yang berbeda. Yang termasuk sistem reaktor antara lain seperti sistem pendingin reaktor, sistem pemurnian air pendingin, sistem ventilasi, sistem penyedia daya, sistem instrumentasi RPS (*reactor protection system*), sistem proteksi radiasi dan sistem bantu dan penunjang. Struktur, sistem dan komponen (*SSK*) reaktor tidak terdiri dari material dengan klasifikasi yang sama akan tetapi memiliki klasifikasi yang berbeda tergantung dari tingkat kemampuannya dalam mengantisipasi adanya bahaya atau potensi yang menghasilkan kondisi tidak selamat terhadap lingkungan (baik sistem maupun manusia).

PRSG (Pusat Reaktor Serba Guna) merupakan salah satu pusat BATAN yang bertugas mengoperasikan dan menggunakan reaktor penelitian RSG-GAS secara baik dan aman. Sebagai pusat yang memiliki fasilitas instalasi nuklir yang mampu beroperasi dengan daya maksimum 30 MW, RSG-GAS tentunya harus memiliki suatu sistem manajemen pemeliharaan terhadap sistem reaktor. Dalam manajemen pemeliharaan ditawarkan sebuah keteraturan, pendekatan yang sistematis untuk merencanakan, mengorganisasikan, mengontrol, dan mengevaluasi semua kegiatan pemeliharaan. Maka dengan penerapan sistem manajemen pemeliharaan yang terprogram dan terlaksana dengan baik diharapkan dapat menanggulangi resiko kegagalan yang terjadi dalam pengoperasian reaktor.

Kegagalan dalam pengoperasian reaktor diakibatkan oleh salah satu/lebih fungsi sistem reaktor berkurang kehandalannya atau mengalami kegagalan dalam memenuhi fungsinya. Jika ketidakhandalan terjadi pada sistem operasi dan keselamatan maka dapat berdampak resiko bagi kegagalan pengoperasian reaktor. Resiko yang berdampak bagi pekerja reaktor itu sendiri dan juga terhadap lingkungan bila kegagalan terjadi pada sistem keselamatan yang dipasang berlapis-lapis. Hal ini mungkin terjadi walaupun sangat kecil kebolehjadiannya. Resiko yang terjadi adalah bahaya radiasi nuklir serta terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Sehingga harus dipastikan semua sistem reaktor dapat beroperasi sesuai fungsinya.

Pada tugas akhir ini kita akan melakukan analisa terhadap kegagalan pengoperasian sistem reaktor riset berdasarkan *historical data* kegagalan operasi yang ada. Diharapkan dari hasil penelitian ini Institusi dapat mengetahui kegagalan operasi yang terjadi pada sistem reaktor serta mampu melakukan peningkatan perbaikan atau manajemen pemeliharaan sistem reaktor RSG-GAS. Karena melihat pemeliharaan juga merupakan bagian yang penting dari Institusi, sama pentingnya dengan fungsi-fungsi lain seperti produksi. Juga diharapkan dengan pemeliharaan yang semakin baik sistem operasi dapat bekerja sesuai fungsinya, *life time system* menjadi lebih lama dan kegiatan operasi produksi pun menjadi tidak terganggu.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah



Gambar 1.1. Diagram keterkaitan masalah

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan masalah, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah analisa terhadap tingkat *breakdown* pada sistem reaktor di Pusat Reaktor Serba Guna G. A. Siwabessy (RSG-GAS) BATAN. *Breakdown* yang terjadi merupakan kegagalan sistem operasi reaktor dalam melakukan fungsinya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh faktor-faktor kegagalan yang terjadi dalam pengoperasian sistem reaktor dengan metode FMEA dalam meningkatkan manajemen pemeliharaan sistem reaktor di Pusat Reaktor Serba Guna G. A. Siwabessy (RSG-GAS) BATAN.

1.5 Batasan Masalah

Untuk membatasi penelitian pada pokok permasalahan, maka penulis membatasi lingkup penelitian. Batasan dalam penelitian ini antara lain:

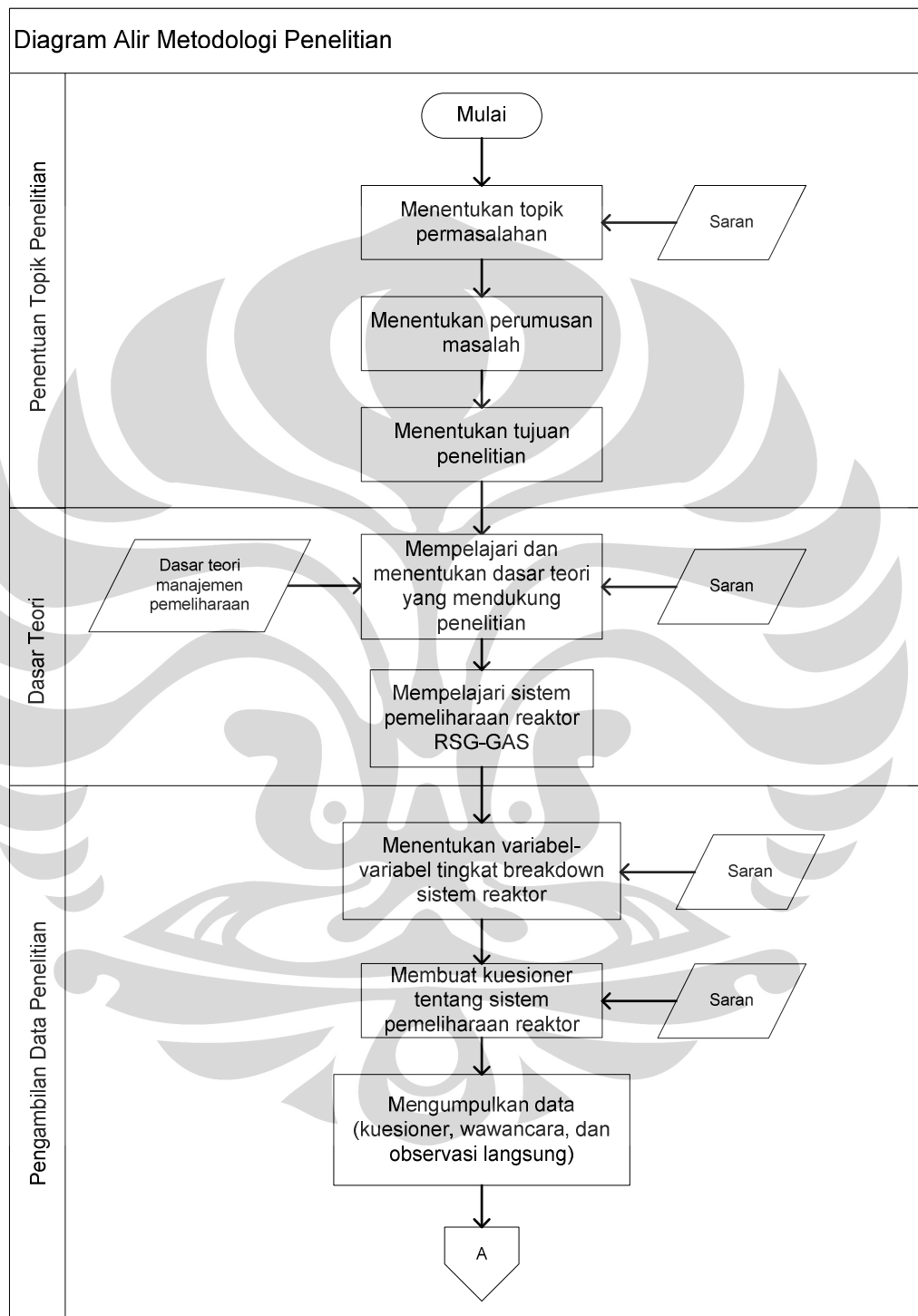
1. Pembahasan mengenai analisa tingkat *breakdown* atau kegagalan operasi sistem reaktor riset RSG-GAS BATAN,
2. Pembahasan penelitian ini hanya berkisar pada persoalan manajemen pemeliharaan sistem reaktor riset RSG-GAS BATAN,
3. Penelitian ini tidak membahas tentang kebijakan khusus Institusional PRSG-BATAN.

1.6 Metodologi Penelitian

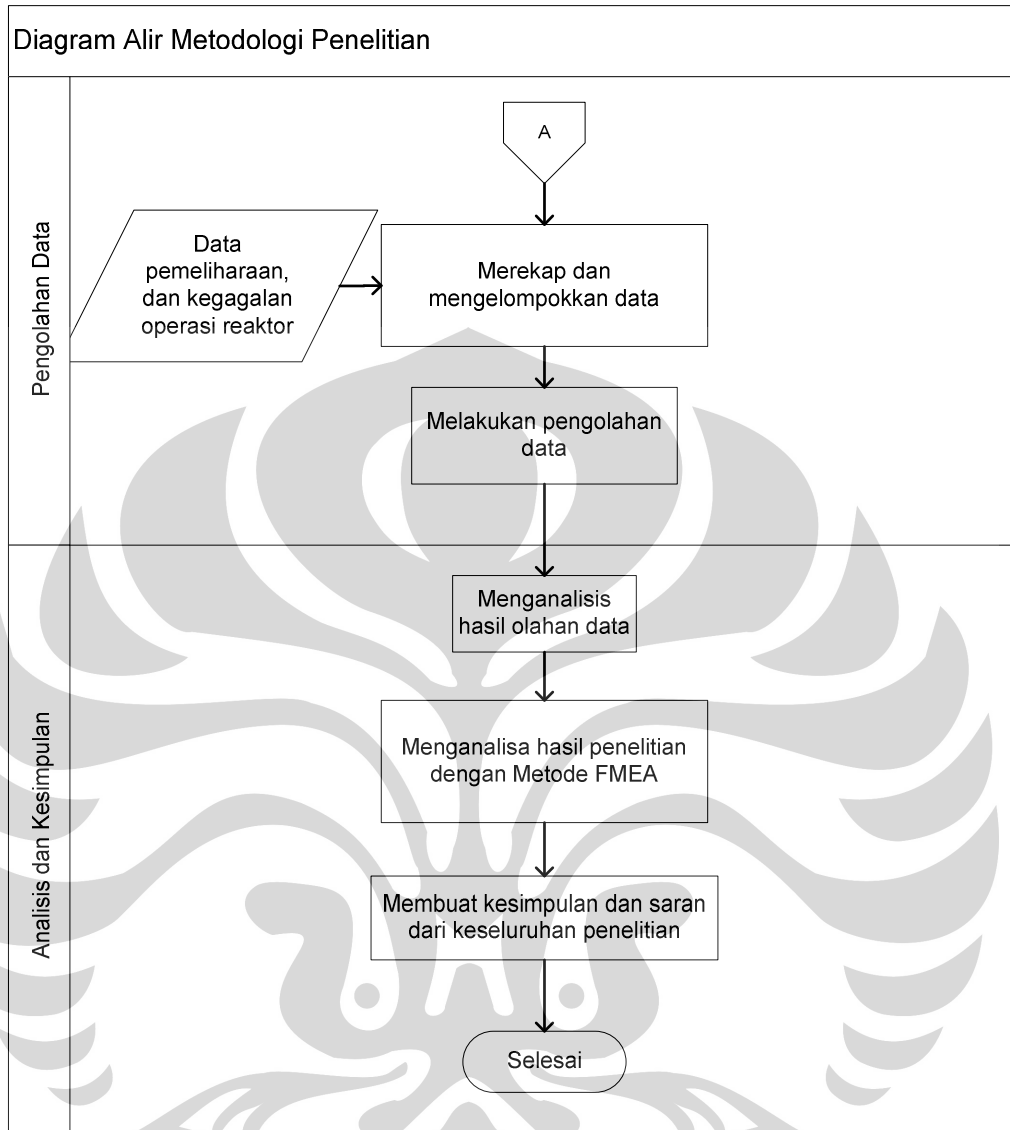
Metodologi yang menggambarkan langkah-langkah penulis untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menentukan topik penelitian
Penulis berdiskusi dan berkonsultasi dengan pembimbing mengenai topik penelitian yang dianggap cocok dengan keadaan Institusi. Hasil dari tahap ini penulis memutuskan untuk membahas topik tentang peningkatan sistem manajemen pemeliharaan berdasarkan analisa kegagalan operasi sistem reaktor dengan menggunakan metode FMEA. Setelah menentukan topik penelitian penulis juga menentukan tujuan dari penelitian ini.
2. Mempelajari dan menentukan dasar teori serta metode yang mendukung penelitian. Dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini adalah dasar teori manajemen pemeliharaan. Sumber-sumber yang digunakan diperoleh dari internet, buku teks, buku elektronik, laporan penelitian, serta artikel-artikel yang dimuat dalam jurnal.
3. Mengumpulkan data-data pendukung awal penelitian seperti profil Institusi dan penulis juga mempelajari pemeliharaan yang dilakukan oleh BATAN termasuk didalamnya adalah jenis pemeliharaan yang dilakukan, personil yang terlibat, *hystorical data* pemeliharaan, kegagalan operasi serta teknologi yang digunakan dan waktu pelaksanaan pemeliharaan.
4. Melaksanakan tahap pengumpulan data identifikasi kegagalan operasi dan pemeliharaan sistem reaktor RSG-GAS serta melakukan pengolahan data.

Untuk mempermudah pemahaman metodologi tersebut penulis menggambarannya dalam sebuah diagram alir berikut ini:



Gambar 1.2. Diagram alir metodologi penelitian



Gambar 1.2. Diagram alir metodologi penelitian (sambungan)

1.7 Sistematika Penulisan

Secara umum pembahasan penelitian ini terdiri dari beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut:

- bab 1 merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan

- bab 2 merupakan landasan teori dan tinjauan pustaka yang berhubungan dengan penelitian ini. Landasan teori yang dibahas meliputi sistem reaktor riset, *safety analysis report*, sistem manajemen pemeliharaan dan *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)* serta *Fault Tree Analysis (FTA)*. Bab ini bertujuan untuk memberikan landasan teori bagi pembaca mengenai penggunaan FMEA dan FTA sebagai alat dalam melakukan penilaian kegagalan.
- bab 3 berisi tentang metode penelitian yaitu dimulai dari pengumpulan data dan dilanjutkan dengan pengolahan data. Data yang dibutuhkan dalam menganalisa adalah *historical data* kegagalan operasi sistem reaktor dan penyebaran kuisioner yang bertujuan untuk mengetahui sistem manajemen pemeliharaan reaktor.
- bab 4 berisi pembahasan dari pengumpulan dan pengolahan data penelitian. Pembahasan dilakukan terhadap hasil pengolahan data dengan menggunakan metode FMEA dan FTA serta analisa peningkatan manajemen pemeliharaan reaktor.
- bab 5 merupakan kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang dilakukan. Disertakan pula saran kepada Institusi BATAN dalam melakukan pemeliharaan sistem reaktor berdasarkan hasil analisa data, perbaikan pada penelitian dan saran untuk penelitian berikutnya.

BAB 2

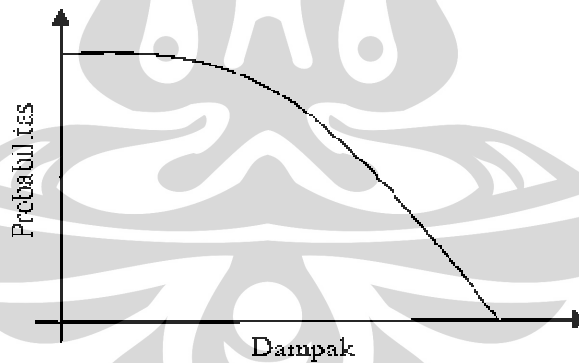
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Risiko

2.1.1 Definisi Risiko

Risiko dapat diartikan sebagai kemungkinan untuk mengalami kerugian, risiko adalah seseorang atau sesuatu yang menimbulkan atau mengesankan bahaya¹. Lowrence mendefinisikan risiko sebagai probabilitas dan dampak dari kejadian yang merugikan.

Definisi lain risiko adalah dampak negatif dari aktifitas yang rentan, dengan mempertimbangkan probabilitas dan dampak dari kemunculan risiko tersebut². Berdasarkan definisi yang tercantum dalam AS/NZ 4360:2004, risiko dapat diartikan sebagai kemungkinan terjadinya suatu kejadian yang mempunyai dampak pada sasaran atau tujuan. Kaplan dan Garrick (Kaplan dan Garrick, 1981) mendefinisikan risiko sebagai sekumpulan skenario s_i , yang masing-masing mempunyai probabilitas p_i dan konsekuensi x_i ³. Skenario-skenario tersebut jika disusun ke dalam urutan meningkatnya keparahan dari konsekuensi, dibandingkan dengan probabilitasnya maka akan terbentuk suatu kurva risiko.



Gambar 2.1. Kurva risiko

¹ S. Regan, *Risk Management Implementation and Analysis*, dalam AACE International Transactions, 2003, hal 10.

² G. Stoneburner, A. Goguen, A. Feringa, *Risk Management Guide for Information Technology System*, dalam Recommendations of The National Institute of Standards and Technology, National Institute of Standards and Technology, U. S Government Printing Office, Washington, 2001, hal 1.

³ T. Bedford dan R. Cooke, *Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methodes*, Cambridge University Press, United Kingdom, 2003, hal 10.

Dari kurva risiko yang terbentuk tersebut dapat diartikan dengan semakin tinggi dampak yang diakibatkan oleh suatu risiko maka probabilitas kemunculannya akan semakin rendah. Sebaliknya risiko yang probabilitasnya semakin tinggi, maka semakin kecil dampak yang diakibatkan oleh risiko tersebut. Dalam mendefinisikan risiko ada 2 komponen yang harus diperhatikan yaitu:

- *Likelihood*

Likelihood atau probabilitas adalah kemungkinan terjadinya *hazard event*. *Hazard* itu sendiri dapat didefinisikan sebagai sumber potensial terjadinya *accident*. Jika dalam pendefinisian risiko menggunakan sudut pandang *likelihood*, maka risiko dengan nilai probabilitas mendekati 1 (mengingat nilai probabilitas antara 0 dan 1) dikatakan sebagai risiko dengan kategori tinggi.

- *Impact*

Impact atau yang disebut juga sebagai konsekuensi adalah hasil dari terjadinya *hazard event*, yang mencakup kerusakan, kehilangan, kerugian atau luka pada seseorang. Jika dalam pendefinisian risiko menggunakan sudut pandang *impact*, maka risiko yang menghasilkan *impact* terbesar dapat dikatakan sebagai risiko dengan kategori tinggi.

Namun konsep yang terakhir yaitu sejarah masa lalu seringkali tidak dimasukkan ke dalam pertimbangan dalam mengidentifikasi risiko bagi sebuah organisasi. Bahkan banyak penelitian hanya memberi perhatian khusus pada pertimbangan mengenai peristiwa yang akan terjadi di masa mendatang. Hal ini mengakibatkan sistem manajemen risiko menjadi tidak lengkap. Pertimbangan tentang masa lalu tidak dapat diabaikan. Masa lalu telah terjadi dan tidak dapat diubah lagi, namun peristiwa yang terjadi di masa lalu mungkin saja terulang kembali.

Menurut pengamatan Perry & Hayes⁴, konsep dasar risiko adalah sebagai berikut:

- Risiko dan ketidakpastian selalu mempunyai hubungan dengan peristiwa atau kegiatan tertentu yang dapat diidentifikasi secara individu.

⁴ Institution of Engineers, *Project Management: from Conceptual until Solving Problem*, Engineering Education Australia, 1999, hal 4.

- Suatu risiko yang terjadi menandakan adanya suatu akibat yang memiliki probabilitas kejadian tertentu.
- Banyak risiko yang umum terjadi dalam konstruksi memberikan kemungkinan berupa kerugian atau keuntungan; contohnya produktifitas tenaga kerja dan pabrik, penyimpangan dan inflasi. Hal-hal tersebut merupakan risiko dengan probabilitas rendah dengan kemungkinan dampak yang rendah atau tinggi.

Risiko adalah kerusakan atau kerugian potensial di masa depan yang dapat muncul dari beberapa aktivitas yang dilakukan pada saat ini. Kejadian merugikan yang terjadi di masa yang akan datang tidak dapat dipastikan 100%, namun tetap dapat diprediksi berdasarkan probabilitas kemunculannya di masa lalu. Ada dua tipe dasar risiko yang dapat membahayakan sebuah proyek yaitu risiko teknis dan risiko programatis⁵. Risiko teknis merujuk pada risiko sebuah proyek akan gagal untuk memenuhi kriteria kinerjanya. Hal ini meliputi munculnya kegagalan *software* ataupun *hardware*. Sedangkan risiko programatis mempunyai dua subkomponen yaitu kelebihan biaya proyek melebihi dana yang tersedia atau biaya operasinya, dan keterlambatan dalam jadwal.

2.1.2 Klasifikasi Risiko

Berdasarkan sumbernya risiko dapat diklasifikasikan sebagai berikut⁶:

- *Pure* atau *insurable risk*

Pure risk ditujukan pada kemungkinan terjadinya luka atau kerugian. Risiko ini terfokus pada kejadian buruk yang terjadi, biasanya seseorang akan menggunakan jasa asuransi untuk melindungi dirinya dari kerusakan atau kerugian yang akan terjadi.

- *Business risk*

Business risk menunjukkan bahwa kemungkinan untuk memperoleh keuntungan sama dengan kemungkinan terjadinya kerugian. Oleh karena itu, seorang pengusaha harus senantiasa memperhatikan setiap risiko yang akan

⁵ M. Penncock dan Y. Haimes, *Principles and Guidelines for Project Risk Management*, dalam *System Engineering*, Wiley Periodicals Inc., vol. 5, No. 2, 2002, hal. 90.

⁶ J. Davidson Frame, "*Managing Risk in Organizations: A Guide for Manager*", San Fransisco, 2003, hal 9

dihadapi dari suatu bisnis. Yang perlu diingat semakin besar risiko maka semakin besar pula prospek untuk mendapat keuntungan.

- *Project risk*

Suatu proyek biasanya berkaitan erat dengan risiko. Risiko yang terjadi dalam suatu proyek berhubungan dengan estimasi, baik estimasi terhadap waktu atau pun biaya proyek. Risiko yang mungkin terjadi dalam proyek misalnya saja waktu pengerjaan proyek mengalami keterlambatan dari yang seharusnya, atau bisa juga biaya proyek melebihi dana yang telah dianggarkan.

- *Operational risk*

Definisi risiko operasional adalah risiko kerugian yang berasal dari ketidakcukupan atau kegagalan proses internal, orang, dan sistem atau dari peristiwa-peristiwa eksternal (*Bassel Committee on Banking Supervision*, 2001). Risiko operasional juga dapat dikatakan sebagai risiko yang berhubungan dengan kegiatan-kegiatan untuk menjalankan suatu bisnis. Risiko operasional dibagi kedalam dua komponen yaitu risiko kegagalan operasional dan risiko strategi operasional. Risiko kegagalan operasional berasal dari potensi terjadinya kegagalan di dalam menjalankan bisnis. Manusia, proses, dan teknologi adalah beberapa alat perusahaan untuk mencapai tujuannya dan salah satu atau beberapa faktor tersebut dapat mengalami kegagalan yang beraneka ragam. Oleh karena itu, risiko kegagalan operasional dapat didefinisikan sebagai risiko yang muncul karena terdapat kegagalan manusia, kegagalan proses atau kegagalan teknologi dalam suatu unit bisnis. Risiko kegagalan operasional sulit untuk diantisipasi karena ketidakpastiannya. Risiko strategi operasional muncul dari faktor lingkungan seperti masuknya pesaing baru yang mengubah paradigma bisnis, perubahan kebijakan, tsunami, dan faktor lainnya yang sejenis yang berada di luar kontrol perusahaan.

- *Technical risk*

Biasanya ketika pertama kali orang menetapkan sesuatu menjadi risiko atau tidak yaitu saat jadwal, *budget* tidak sesuai dengan target awal. Orang jarang mempertimbangkan risiko yang disebabkan karena masalah teknis.

Padahal risiko ini seharusnya juga harus diperhitungkan terutama untuk proyek yang mengedepankan teknologi.

- *Political risk*

Political risk menunjukkan situasi yang terjadi saat pembuatan keputusan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor politik. Misalnya saja dalam melakukan investasi pembangunan pabrik, pengusaha harus menyesuaikan perencanaan investasi tersebut dengan kebijakan-kebijakan dari pemerintah setempat.

2.2 Manajemen Risiko

2.2.1 Definisi Manajemen Risiko

Manajemen risiko adalah proses untuk mengidentifikasi risiko, penilaian risiko, dan pengambilan langkah-langkah untuk mengurangi risiko sehingga berada pada tingkat yang dapat diterima. Kegiatan manajemen risiko termasuk memperbesar probabilitas dan dampak dari peristiwa-peristiwa positif, dan meminimalisasi probabilitas dan dampak dari peristiwa-peristiwa yang tidak diinginkan pada tujuan proyek. Manajemen risiko berdasarkan *Australian/New Zealand Risk Management Standard (AS/NZS 4360:2004)* merupakan suatu budaya, proses-proses dan struktur yang diarahkan menuju manajemen efektif dari peluang-peluang potensial dan efek-efek yang tidak diharapkan. Manajemen risiko merupakan proses yang berkesinambungan yang secara langsung bergantung pada perubahan lingkungan eksternal dan internal dari sebuah organisasi⁷.

2.2.2 Tahapan Manajemen Risiko

Pendekatan-pendekatan yang dilakukan dalam melaksanakan manajemen risiko di suatu organisasi dapat berbeda-beda sesuai dengan karakter dan *risk appetite* yang terdapat di tiap organisasi. *Risk appetite* adalah kecenderungan suatu organisasi dalam menghadapi dan menilai suatu risiko. Tingkah laku yang ditunjukkan suatu organisasi terhadap suatu risiko berbeda-beda. Mungkin bagi

⁷ L. Tchankova, *Risk Identification-Basic Stage in Risk Management*, dalam *Environmental Management and Health*, Emerald, Vol. 13, No. 3, 2002, hal. 290.

organisasi yang bergerak dibidang jasa, risiko tercemarnya nama baik akan dinilai mempunyai dampak yang lebih tinggi daripada risiko keselamatan kerja karyawannya. Namun organisasi yang bergerak di bidang pertambangan misalnya, topik yang berkaitan dengan keselamatan kerja karyawan adalah risiko yang mempunyai dampak tinggi.

Terdapat 6 proses utama dalam proyek manajemen risiko yang diidentifikasi oleh *Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*, enam proses tersebut adalah:

1. Perencanaan risiko manajemen,
2. Identifikasi risiko,
3. Analisis risiko secara kualitatif,
4. Analisis risiko secara kuantitatif,
5. Perencanaan respon terhadap risiko,
6. Kontrol dan pengawasan terhadap risiko

2.2.2.1 Perencanaan Risiko Manajemen

Pemahaman latar belakang organisasi dan berbagai risiko-risiko yang akan dihadapi, ruang lingkup aktivitas manajemen risiko dan pengembangan struktur bagi pelaksanaan aktivitas manajemen risiko merupakan tahap paling awal yang dilakukan dalam penerapan manajemen risiko. Pendokumentasian identifikasi yang dilakukan pada tahap ini menurut AS/NZS 4360:2004 adalah:

- Ruang lingkup aktivitas manajemen risiko yang akan dilakukan beserta hasil yang diharapkan,
- Tujuan atau sasaran organisasi berikut ukuran tingkat kesuksesannya,
- Faktor-faktor penting yang berhubungan dengan lingkungan internal dan eksternal,
- *Stakeholder* yang relevan,
- Kriteria evaluasi risiko-risiko pokok.

2.2.2.2 Identifikasi Risiko

Langkah dasar dalam menerapkan manajemen risiko adalah dengan melakukan identifikasi risiko yang terdapat dalam suatu unit bisnis. Identifikasi risiko melibatkan penentuan risiko-risiko yang mungkin mempengaruhi proyek

selama siklus hidupnya dan dokumentasi dari sifat dan karakteristik risiko-risiko tersebut.

Kegiatan mengidentifikasi risiko membutuhkan klarifikasi yang dapat mencakup semua jenis risiko secara lengkap. Oleh karena itu, sumber-sumber risiko dapat dikelompokkan berdasarkan pada lingkungan asalnya. Salah satunya adalah lingkungan operasional. Aktivitas operasional dalam organisasi menimbulkan risiko dan ketidakpastian. Contohnya kondisi kerja yang tidak menyenangkan dapat mengancam kesehatan fisik dan mental para pekerja, prosedur formal untuk mempekerjakan karyawan baru dapat menimbulkan masalah hukum, proses manufaktur dapat merusak lingkungan dan lain sebagainya.

Proses kunci pada tahap identifikasi risiko berdasarkan AS/NZS 4360:2004 adalah sebagai berikut:

- Menentukan sumber risiko atau bahaya,
- Menentukan kejadian atau insiden,
- Menentukan dampak/konsekuensi,
- Menentukan penyebab (apa dan mengapa),
- Menentukan pengendalian dan batasan keefektifannya,
- Menentukan kapan dan dimana risiko dapat terjadi.

Teknik-teknik yang dapat digunakan untuk menilai maupun mengidentifikasi risiko antara lain:

- Kuisisioner

Informasi yang relevan dapat dikumpulkan melalui pembuatan kuisisioner yang berfokus pada masalah atau lingkup manajemen risiko yang akan dianalisa. Kuisisioner tersebut harus disebarakan pada manajemen atau pihak-pihak yang sesuai dan dapat memberikan penilaian terhadap risiko-risiko yang ada.

- Wawancara lapangan

Wawancara lapangan dengan pihak-pihak yang berkepentingan dengan manajemen risiko atau mempunyai pengetahuan tentang risiko-risiko yang sedang dihadapi dapat menjadi sumber informasi yang berguna.

- Peninjauan dokumen

Dokumentasi kebijakan, sistem, data historis dan lain sebagainya dapat menyediakan informasi-informasi yang diperlukan dalam mengidentifikasi atau menilai suatu risiko.

2.2.2.3 Analisis Risiko

Setelah risiko-risiko kritis dapat diidentifikasi, analisa yang lebih dalam diperlukan untuk mengelola risiko-risiko tersebut dengan baik. Analisis risiko adalah fase ketika tiap risiko yang telah teridentifikasi dievaluasi, dapat dilakukan dengan menilai atau mengukur dua kuantitas risiko yaitu besarnya potensi kerugian dan probabilitas munculnya kerugian tersebut. Untuk menghindari atau mengurangi kesalahan pada penilaian risiko, maka tiap-tiap level dampak dan probabilitas harus dapat didefinisikan dengan jelas dan dikonversikan ke dalam angka-angka tertentu.

2.2.2.4 Evaluasi dan Pengelolaan Risiko

Tujuan dilakukannya evaluasi risiko adalah untuk membantu dalam proses pengambilan keputusan berdasarkan hasil dari proses analisis risiko mengenai risiko mana yang membutuhkan penanganan berdasarkan prioritasnya. Dengan menggunakan informasi-informasi yang terkumpul selama fase identifikasi risiko, analisis risiko maupun evaluasi risiko dibuat keputusan mengenai bagaimana meningkatkan ketahanannya terhadap risiko atau dengan kata lain menentukan cara-cara yang dapat dilakukan untuk mengelola risiko tersebut.

2.3 Enam Kriteria Utama (*Six Big Losses*)

Adalah suatu indikator yang dapat memperlihatkan seberapa bagus (tingkat kehandalan, tingkat produktivitas, dan lain-lain) suatu peralatan atau mesin yang digunakan dalam suatu batch atau lot produksi. Tujuan dari perhitungan *six big losses* ini adalah untuk mengetahui nilai efektivitas keseluruhan (*Overall Equipment Effectiveness/OEE*). Kerugian-kerugian (*losses*) yang utama ada enam (*six major/big losses*) yaitu:

1. *Breakdown losses*,
2. *Setup and adjustment losses*,
3. *Minor stoppage losses*,

4. *Speed losses*,
5. *Quality defect and rework losses*,
6. *Yield losses*.

Dimana keenam kerugian tersebut dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu (Tajiri & Gotoh, 1992):

a. *Availability* terdiri dari:

- *Breakdown losses* yaitu kerugian yang disebabkan adanya kerusakan peralatan yang memerlukan suatu perbaikan. Kerugian ini sebagai contoh terdiri dari *downtime* yang dialami pekerja dan waktu perbaikan dari peralatan.
- *Setup and adjustment losses* disebabkan karena adanya perubahan kondisi operasi seperti kegiatan setup dan penyesuaian tiap shift. Kerugian ini sebagai contoh terdiri dari *downtime*, *setup* (perubahan peralatan, penggantian cetakan, dan perkakas), *start up* dan pengaturan mesin.

b. *Performance rate* terdiri dari:

- *Minor stoppage losses* disebabkan oleh kejadian-kejadian seperti pemberhentian mesin sejenak, kemacetan mesin dan *idle time* dari mesin. Kenyataannya kerugian ini tidak dapat dideteksi secara langsung tanpa adanya alat pelacak. Ketika operator tidak dapat memperbaiki pemberhentian yang bersifat *minor stoppage* dalam waktu yang telah ditentukan dapat dianggap sebagai suatu *breakdown*.
- *Speed losses* yaitu kerugian karena mesin tidak bekerja optimal (kecepatan kerja mesin berkurang) sesuai dengan teoritisnya. Pada kecepatan yang lebih tinggi secara teoritis akan terjadi penurunan kualitas dari produk.

c. *Quality* terdiri dari:

- *Quality defect and rework losses* yaitu kerugian karena produk tidak berada di dalam batas spesifikasi atau kecacatan produksi yang terjadi pada operasi normal. Produk seperti ini harus dibuang atau diproduksi ulang. Kerugian ini meliputi biaya tenaga kerja untuk melakukan *rework* dan biaya dari material yang dibuang.
- *Yield losses* disebabkan material yang tidak terpakai atau sampah bahan baku. *Yield losses* dibagi menjadi dua bagian, yang pertama berupa

sampah bahan baku yang disebabkan dari kesalahan desain, metode manufaktur, dan peralatan yang mengalami gangguan. Yang kedua adalah kerusakan produksi yang disebabkan oleh adanya proses *adjusting* mesin dan juga pada saat mesin melakukan pemanasan (belum pada kondisi kerja yang stabil).

Tabel 2.1. Enam Kategori Kerugian Utama

Six Big Loss Category	OEE Loss Category	Event Examples	Comment
<i>Breakdowns</i>	Down Time Loss	Tooling Failures Unplanned Maintenance General Breakdowns Equipment Failure	There is flexibility on where to set the threshold between a Breakdown (Down Time Loss) and a Small Stop (Speed Loss).
<i>Setup and Adjustments</i>	Down Time Loss	Setup/Changeover Material Shortages Operator Shortages Major Adjustments Warm-Up Time	This loss is often addressed through setup time reduction programs.
<i>Small Stops</i>	Speed Loss	Obstructed Product Flow Component Jams Misdeeds Sensor Blocked Delivery Blocked Cleaning/Checking	Typically only includes stops that are under five minutes and that do not require maintenance personnel.
<i>Reduced Speed</i>	Speed Loss	Rough Running Under Nameplate Capacity Under Design Capacity Equipment Wear Operator Inefficiency	Anything that keeps the process from running at its theoretical maximum speed (a.k.a. Ideal Run Rate or Name plate Capacity).
<i>Startup Rejects</i>	Quality Loss	Scrap Rework In-Process Damage In-Process Expiration Incorrect Assembly	Rejects during warm-up, start up or other early production. May be due to improper setup, warm-up period, etc.
<i>Production Rejects</i>	Quality Loss	Scrap Rework In-Process Damage In-Process Expiration Incorrect Assembly	Rejects during steady-state production.

2.4 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

2.4.1 Sejarah FMEA

Pada tahun 1950-an produk-produk yang dihasilkan semakin berkembang secara kompleks. Dirgantara di Amerika semakin berpacu sejak tahun 1960-an beserta tim dan para insiyur mencoba meluncurkan roket dan kapsul yang lebih

kompleks yang berisikan manusia sehingga para insiyur tersebut dituntut untuk mengadopsi pendekatan yang lebih disiplin dalam menganalisa kemungkinan terjadinya kesalahan dan kegagalan yang potensial.

FMEA pertama kali diterapkan oleh industri pesawat terbang pada pertengahan tahun 1960-an, khususnya untuk menekuni permasalahan pokok dalam bidang keamanan penerbangan. Pada mulanya industri *automotive* mengadaptasi teknik FMEA untuk membangun perbaikan keamanan (*safety*), untuk digunakan sebagai alat perbaikan kualitas. Dan pada tahun 1972 *Ford Motor Company* merupakan perusahaan besar pertama yang mengadopsi FMEA dan mengembangkannya untuk meningkatkan keselamatan dan dipergunakan sebagai perangkat untuk peningkatan mutu.

2.4.2 Definisi FMEA

FMEA merupakan suatu metode penelitian risiko yang dikembangkan oleh NASA (*National Aeronautic Space Exploration*). FMEA adalah sebuah metode evaluasi kemungkinan terjadinya sebuah kegagalan dari sebuah sistem, desain, proses atau *service* untuk dibuat langkah penanganannya. Dalam FMEA, setiap kemungkinan kegagalan yang terjadi dikuantifikasi untuk dibuat prioritas penanganan. Kuantifikasi penentuan prioritas dilakukan berdasarkan hasil perkalian antara rating frekuensi, tingkat kerusakan, dan tingkat deteksi dari risiko. Dengan pengetahuan prioritas risiko, maka kontrol yang dibuat adalah berdasarkan proses yang paling berisiko.

Dalam melakukan analisis FMEA beberapa hal harus diperhatikan yaitu:

- Bahwa setiap permasalahan berbeda dengan yang lainnya
 - Tidak semua permasalahan mempunyai tingkat kepentingan yang sama. Tanpa melakukan prioritas permasalahan yang mungkin terjadi, perusahaan sering kali terjebak kepada permasalahan yang mungkin terjadi saat ini juga tanpa melihat kepentingannya. FMEA dibuat untuk membuat prioritas dari permasalahan yang mungkin terjadi. Dengan prioritas permasalahan maka kita akan dapat lebih efektif dalam menyelesaikan permasalahan tersebut.

- Definisikan fungsi

Fungsi dan tujuan dari analisis yang akan dilakukan harus terlebih dahulu ditentukan. FMEA menganalisa tiap proses dari sisi tujuan dan fungsi. Keadaan kegagalan yang dibuat adalah kegagalan jika proses tidak mencapai tujuan atau tidak berjalan sesuai dengan fungsinya. Untuk itu dibutuhkan identifikasi dari tujuan dan fungsi dari proses yang akan dianalisa.

- Orientasinya adalah kepada pencegahan

Peningkatan yang berkelanjutan harus menjadi motor dalam pelaksanaan FMEA, jika tidak maka analisis yang akan dilakukan akan statis. FMEA sebaiknya dilakukan untuk tujuan memperbaiki kinerja dan bukan karena hanya kebutuhan dokumentasi semata.

Tujuan pokok dari FMEA adalah untuk mengetahui dan mencegah terjadinya gangguan dengan mengetahui risiko yang mungkin terjadi dan membuat strategi penurunan risiko tersebut. Dalam hal operasi sistem reaktor, FMEA dilakukan untuk melihat risiko-risiko kegagalan yang mungkin terjadi dalam pengoperasian sistem reaktor. Dalam hal ini ada tiga komponen yang akan membantu dalam menentukan prioritas dari gangguan yaitu:

- Frekuensi (*occurrence*)

Seberapa banyak gangguan yang dapat menyebabkan sebuah kegagalan pada pengoperasian sistem reaktor.

- Tingkat Kerusakan (*severity*)

Seberapa serius kerusakan yang dihasilkan dengan terjadinya kegagalan proses operasi sistem reaktor.

- Tingkat Deteksi (*detection*)

Bagaimana kegagalan operasi tersebut dapat diketahui sebelum terjadi. Tingkat deteksi juga dapat dipengaruhi dari banyaknya kontrol yang mengatur jalannya proses. Semakin banyak kontrol dan prosedur yang mengatur jalannya sistem operasi reaktor maka diharapkan tingkat deteksi dari kegagalan dapat semakin tinggi.

2.4.3 Jenis FMEA

Terdapat beberapa jenis FMEA yang diterapkan pada saat yang berbeda-beda dengan alasan yang beragam. Tidak semua tipe FMEA dapat diterapkan

untuk setiap industri yang ada, walaupun industri tersebut memiliki produk yang beragam, tergantung kondisi yang dapat mendukungnya.

2.4.3.1 Sistem FMEA

Jenis ini biasanya dipergunakan pada tahap pertama kali untuk merancang suatu sistem. Sistem FMEA digunakan untuk menganalisa sistem dan subsistem yang ada pada tahap konsep dan perancangan. Sistem FMEA memfokuskan diri pada modus kesalahan atau kegagalan yang potensial dan fungsi-fungsi suatu sistem yang disebabkan ketidakefisienan (*defeciencis*) sistem tersebut. Termasuk didalamnya hubungan antara sistem dan elemen-elemen sistem tersebut. Perangkat ini sering dipergunakan untuk membantu menentukan pilihan akhir sistem yang sering dirancang dan berbagai alternatif yang disediakan.

2.4.3.2 Desain FMEA

Desain FMEA dipergunakan setelah rancangan sistem telah ditentukan. Desain FMEA akan mengarahkan modus kesalahan atau kegagalan ke dalam tingkatan komponen dan digunakan untuk menganalisa produk sebelum dilakukan proses manufaktur. Desain FMEA mempunyai titik utama pada modus kesalahan atau kegagalan yang disebabkan ketidakefisienan dalam perancangan.

2.4.3.3 Proses FMEA

FMEA jenis ini akan menguji modus kesalahan atau kegagalan setiap tahap dan suatu proses manufaktur maupun perakitan sebuah produk. Tipe ini tidak harus selalu menguji secara detail modus kesalahan atau kegagalan peralatan yang digunakan untuk proses manufaktur atau perakitan, tetapi harus memperhatikan dimana modus kesalahan atau kegagalan tersebut mempengaruhi secara langsung terhadap kualitas, kekuatan dan produk akhir yang dihasilkan.

2.4.3.4 Service FMEA

Service FMEA dapat digunakan dalam berbagai cara. Pertama ialah untuk industri jasa intensive seperti pertambangan, dimana biaya yang tinggi untuk peralatan dan lingkungan kerja (operasi) membutuhkan pendekatan disiplin yang keras dan tinggi untuk *service*. Kedua ialah untuk melakukan pengujian modus kesalahan atau kegagalan peralatan yang digunakan untuk proses manufaktur dan operasi perakitan. Hal ini menyediakan suatu program pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) yang seksama terutama dimana biaya langsung untuk

perbaikan *breakdown* dapat diperkecil, tetapi biaya tak langsung yang diakibatkan berkurangnya produksi sedikit lebih tinggi.

Tipe-tipe sistem, desain, dan *service* FMEA ini saling berhubungan dalam dokumentasi dan dalam beberapa asumsi yang dipergunakan selama pengembangannya, walaupun demikian proses FMEA menggunakan dokumentasi dan asumsi yang berbeda dengan tipe FMEA lainnya.

2.4.4 Prosedur FMEA

Bentuk kegiatan FMEA tidaklah baku. Setiap perusahaan memiliki bentuknya masing-masing untuk mencerminkan kepentingan organisasi dan permasalahan pada pelanggan. Arah nilai juga tidak bersifat universal jadi tidak ada standar yang tetap. Sistem kriteria nilai setiap perusahaan mencerminkan kepentingan organisasi, proses, produk dan kebutuhan pelanggan.

Pada umumnya ada dua cara untuk memformulasikan panduan pengkelasan yaitu kualitatif dan kuantitatif. Di lain pihak, nilai numeriknya bisa dari 1 sampai 5 atau 1 sampai 10, dan kisaran 1 sampai 10 lebih sering digunakan. Sebenarnya tidak ada panduan pengkelasan atau penetapan kriteria nilai tertentu dalam kegiatan FMEA.

Bentuk umum yang biasanya digunakan dalam kegiatan FMEA dibagi menjadi tiga bagian. Bagian pertama, poin 1 sampai 9 mencerminkan pendahuluan. Tidak ada satupun dari poin tersebut yang merupakan keharusan, tetapi memang menambah informasi untuk kegiatan FMEA dan memberikan informasi yang penting yang mungkin dibutuhkan dalam latihan penyusunan FMEA.

Bagian kedua mencakup poin 10 sampai 23. Poin-poin ini merupakan hal yang penting untuk kegiatan FMEA. Urutan kolom mungkin bisa berubah dan mungkin jumlah kolom bisa bertambah tetapi tidak ada kolom yang bisa diganti poin 10 sampai 23, bisa dipandang sebagai inti dari kegiatan proses FMEA.

Bagian ketiga, poin 24 dan 25 adalah bagian yang memberikan ciri pada proses penyelesaian form FMEA. Meskipun bukan keharusan, tetapi mencerminkan kepemilikan dan pertanggung-jawaban sebuah tim untuk menangani proyek penyusunan jam kerja FMEA. Ciri ini bisa dianggap sebagai penutup FMEA.

Seluruh nomor di dalam kurung merupakan nomor-nomor yang ditandai untuk mendiskusikan bentuk, berikut ini adalah urutannya:

- Proses Identifikasi (1)

Mengidentifikasi proses atau merancang nama atau nomor-nomor referensi atau kode proses yang sesuai.

- Nama bagian (1A)

Dalam hal tertentu nama atau nomor bagian diidentifikasi. Biasanya nomor bagian pelaksanaannya terakhir yang diidentifikasi.

- *Manufacturing and/or Design responsibility* (2)

Menyebutkan tanggung jawab utama untuk sebuah proses (mesin, material, dan sebagainya), aktifitas yang berpengaruh pada *desain system* dan rancang bangun beserta komponennya jika ada. Hal ini harus digunakan sebagai titik referensi desain atau rancang bangun.

- Tanggung jawab personal (2A)

Kadang-kadang perlu menyebutkan orang yang bertanggung jawab atas kegiatan FMEA.

- Keterkaitan dengan area lain (3)

Menyebutkan nama orang lain atau aktifitas (dalam organisasi) yang mempengaruhi atau terlibat dalam rancang bangun bagian tersebut.

- *Involvement of Suppliers or Others* (4)

Mengidentifikasi orang lain, *supplier*, dan/atau hal-hal di luar organisasi yang mempengaruhi desain, baik yang terlibat dalam desain bagian, manufaktur atau rancang bangun.

- *Model or Product* (5)

Menyebutkan model dan/atau produk beserta prosesnya (manufaktur atau rancang bangun).

- *Engineering Release Date* (6)

Mengidentifikasi tanggal (hari-bulan-tahun) yang sudah dijadwalkan untuk peluncuran produk.

- Tanggal Produksi Fungsi (6A)

Mengidentifikasi tanggal-tanggal (hari-bulan-tahun) dan sebagai tinjauan bisa menggunakan tanggal untuk laporan dan sebagainya.

- *Prepared by* (7)

Pada umumnya nama pelaksana proses yang bertanggung jawab atas FMEA dicatat.

- *FMEA date original* (8)

Mencatat tanggal (hari-bulan-tahun) mulai dari awal pelaksanaan kegiatan FMEA.

- *FMEA date–Revision* (9)

Mencatat tanggal (hari-bulan-tahun) revisi terakhir.

- *Process Function* (10)

Menjelaskan fungsi dan proses yang akan dilaksanakan, fungsi ini biasanya dilihat dari spesifikasi desain.

- *Potential Failure Mode* (11)

Kecenderungan kegagalan potensial tentang hilangnya fungsi proses kegagalan spesifik. Kegagalan proses terjadi jika sebuah produk tidak cukup terlindung dan resiko rugi, kegagalan untuk melaksanakan fungsinya secara aman (seperti yang didefinisikan pada spesifikasi pekerjaan) atau kegagalan untuk mengurangi konsekuensi yang tak terelakkan.

- *Potential effect of failure* (12)

Efek potensial dari suatu kegagalan adalah konsekuensi keagalannya untuk proses, operasi, produk, pelanggan atau aturan pemerintah di masa yang akan datang. Pertanyaan yang biasanya muncul adalah: “Apa pengalaman yang terjadi, yang merupakan akibat dari kecenderungan kegagalan?”.

- *Critical Characteristics* (13)

Berisikan karakter-karakter kritis yang biasanya berhubungan dengan desain FMEA, karena perangkat keras yang dibuat telah melewati tahap desain terlebih dahulu.

- *Severity of effects* (14)

Keseriusan adalah tingkatan yang mengindikasikan keseriusan efek kecenderungan kegagalan proses yang potensial. Keseriusan diterapkan pada efek kecenderungan kegagalan.

- *Potential cause of failure* (15)

Penyebab kecenderungan kegagalan proses adalah defisiensi yang mengakibatkan kecenderungan kegagalan. Beberapa teknik yang biasa digunakan diantaranya adalah *brainstorming*, *Fishbone diagram*, FTA, analisa sebab akibat, analisa diagram blok dan label afinitas.

- *Occurrence* (16)

Frekuensi kejadian adalah nilai yang berkaitan dengan perkiraan frekuensi dan/atau jumlah kumulatif kegagalan yang bisa terjadi karena sebab-sebab tertentu terhadap sejumlah komponen yang diproduksi pada tingkat kontrol tertentu (biasanya hal ini tergantung pada proses desainnya). Untuk mengidentifikasi frekuensi setiap penyebab, biasanya menggunakan model matematis (diluar cakupan skripsi ini) atau menggunakan jumlah kumulatif dan kegagalan komponen.

- *Detection Methode* (17)

Merupakan metode pengujian, prosedur analisa yang digunakan untuk pendeteksian suatu kegagalan. Metode ini sangat beragam diantaranya dengan cara *brainstorming*, audit, metode sample secara statistik atau teknik lain yang lebih spesifik seperti *finite element analysis*, *military standard* dan lain-lain.

- *Detection* (18)

Deteksi adalah nilai yang berhubungan dengan nilai, dimana pengendalian proses untuk mendeteksi akar kecenderungan kegagalan tertentu sebelum suatu komponen meninggalkan area proses/manufaktur. Untuk mengidentifikasi nilai deteksi, seseorang harus memperkirakan kemampuan setiap kontrol yang diidentifikasi dalam poin 17 untuk mendeteksi sebelum sampai kepada pelanggan.

- *Risk Priority Number* (RPN) (19)

Angka ini merupakan hasil perkalian dari keseriusan (*severity*), frekuensi (*occurrence*), dan deteksi (*detection*). RPN membatasi prioritas kegagalan serta memberikan susunan rangking dan nilai suatu modulus kesalahan atau kegagalan yang timbul. Dalam tujuan FMEA harus selalu diketahui bahwa tujuan kegiatannya adalah penurunan nilai RPN dengan tindakan yang dilakukan.

- *Recommended Action (20)*

Tujuan rekomendasi tindakan pada FMEA adalah mengurangi tingkat keseriusan, dan nilai frekuensi yang timbul serta meningkatkan kemampuan deteksi terhadap modus kesalahan atau kegagalan.

- *Responsible Area or Person and Completion Date (21)*

Memberikan informasi kepada orang atau bidang yang bertanggung jawab dan tanggal pencapaian target untuk tindakan yang direkomendasikan terhadap kesalahan/kegagalan yang telah ditentukan.

- *Action Taken (22)*

Hal ini merupakan tindak lanjut, rekomendasi dan tidak berarti sesuatu yang telah dilaksanakan. Hal ini ditujukan untuk memberikan arahan kepada pelaksana tindakan apa saja yang harus diambil apabila timbul suatu modus kesalahan atau kegagalan.

- *Revised RPN (23)*

Tim FMEA akan mengevaluasi atau mengkaji ulang konsekuensi tingkat keseriusan, nilai frekuensi dan tingkat deteksi yang dilakukan sebelumnya. Kemudian dilakukan perhitungan RPN baru, untuk kemudian dilakukan penelitian setelah semua modus kesalahan atau kegagalan ditindaklanjuti. Sekarang kita dapat mengetahui perubahan bahwa modus kesalahan/kegagalan pada saat pertama dinilai, kini tidak lagi menjadi prioritas utama. Bisa jadi modus kesalahan atau kegagalan lainnya yang dulu lebih rendah mungkin sekarang mendapatkan prioritas utama. Hal ini merupakan tindakan yang mengarah pada perbaikan kontinyu.

- *Approval Signature (24)*

Mendefinisikan wewenang untuk mengelola FMEA. Nama dan judul tergantung pada organisasi. Nama yang khas mungkin adalah manajer pelaksana.

- *Concurrence Signatures (25)*

Mendefinisikan tanggung jawab untuk kewenangan penyempurnaan dan implementasi FMEA.

Tabel 2.2. Contoh Form FMEA

Proses/produk:
FMEA team:
Team leader:

No FMEA:
Tanggal FMEA:
Page:

Alat dan Fungsi	Mode kegagalan	Efek dari kegagalan	Severity	Penyebab kegagalan	Occurance	Kontrol yang dilakukan	Detection	RPN

(Sumber: D. H. Stamatis, *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*)

2.4.5 Hasil Keluaran FMEA

Output yang diharapkan dari FMEA adalah:

1. Daftar kegagalan pada pengoperasian dan pemeliharaan sistem reaktor RSG-GAS yang diurutkan berdasarkan RPN (*Risk Priority Number*),
2. Daftar karakteristik fungsi/sistem yang kritisal,
3. Daftar rekomendasi untuk mengatasi keadaan kritisal,
4. Daftar tata cara penanggulangan.

Keuntungan yang diharapkan dengan menggunakan FMEA adalah:

1. Dapat mengidentifikasi prioritas dari risiko yang mungkin terjadi,
2. Dapat mengidentifikasi kekurangan pada proses dan memberikan sebuah perencanaan untuk mengatasinya,
3. Membantu dalam membuat *control plan* untuk menanggulangi risiko yang mungkin terjadi,
4. Membuat prioritas dari *corrective action*,
5. Memberikan gambaran mengenai *corrective action* yang telah dilakukan.

FMEA dapat dijalankan oleh seorang individu, namun tentunya hal itu akan menyebabkan tidak maksimal karena hanya dilihat dari satu sudut pandang seseorang saja. Jadi akan lebih baik jika FMEA dijalankan oleh sebuah tim yang berdiskusi mengenai FMEA, dimana semua anggota tim memiliki kebebasan untuk mengemukakan pendapatnya mengenai risiko kegagalan yang ada.

Untuk melakukan FMEA biasanya juga digunakan alat bantu (*tools*) lainnya untuk membantu menganalisis risiko yang ada sehingga dapat diidentifikasi akar permasalahan risiko tersebut. Tools yang sering digunakan untuk membantu analisis FMEA antara lain:

1. *Control Plan*

Control plan merupakan kumpulan perencanaan tindakan untuk menjamin kualitas suatu proses, produk, atau layanan. Dalam *control plan* terdapat daftar semua parameter proses dan karakteristik desain yang berhubungan dengan kepuasan pelanggan dan membutuhkan perencanaan tindakan penjaminan kualitas. Kegagalan dapat diidentifikasi jika perencanaan tersebut tidak dilaksanakan.

2. Diagram Alir (*Flowchart*)

Diagram alir umumnya digunakan ketika melakukan FMEA untuk suatu proses atau suatu layanan. Dengan diagram alir ini dapat diidentifikasi proses-proses mana saja yang dapat menimbulkan kegagalan didalam sistem.

3. *Quality Function Deployment* (QFD)

Dengan menggunakan QFD dapat diidentifikasi kelemahan dan kekuatan serta juga dapat mengidentifikasi karakteristik produk/layanan yang dibutuhkan pelanggan. QFD dan FMEA memiliki banyak persamaan, keduanya memiliki tujuan untuk *continual improvement*, berfokus pada pengeliminasian kegagalan, serta berpatokan pada kepuasan pelanggan.

4. Diagram Sebab Akibat (*Fishbone Diagram*)

Diagram sebab akibat dapat digunakan dalam FMEA untuk membantu mengidentifikasi akar permasalahan. Pada umumnya penggunaan diagram sebab akibat belum akan sampai pada akar permasalahan yang paling dalam. Untuk itu dapat digunakan diagram *Cause Failure Mode Effect* (CFMEA) yang akan membantu untuk mengidentifikasi akar permasalahan risiko yang paling dalam.

2.5 FTA (Fault Tree Analysis)

2.5.1 Sejarah dan Definisi FTA

Teknik *Fault Tree Analysis* diperkenalkan oleh *Bell Telephone Laboratories* pada tahun 1962. Pada evaluasi *Safety System Intercontinental Minuteman Missile*. Perusahaan Boeing meningkatkan teknik ini dan memperkenalkan program komputer untuk analisa kualitatif dan kuantitatif FTA. Sekarang ini FTA banyak digunakan untuk analisis risiko dan reliabilitas.

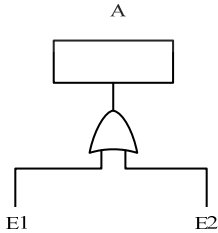
Fault Tree Analysis (FTA) adalah metode untuk menganalisa kegagalan sistem kegagalan dari gabungan beberapa sub-sistem dan level yang dibawahnya dan juga kegagalan komponen. *Fault tree* mengilustrasikan hubungan antara *basic event* (akar kejadian yang menyebabkan *top event* terjadi) dan *top event* (kejadian yang terjadi). *Basic event* bisa saja kondisi lingkungan, kesalahan SDM, spesifik kegagalan komponen. Simbol yang menghubungkan ini disebut *logic gate* (gerbang logika).

FTA dapat berupa kualitatif, kuantitatif atau keduanya tergantung dari *objective* yang akan dianalisa. Hasil dari analisa tersebut adalah:

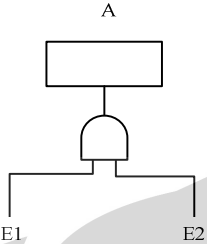
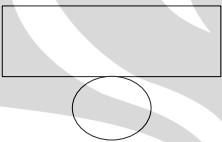
1. Daftar kemungkinan kegagalan yang disebabkan faktor lingkungan, kesalahan SDM, atau kegagalan komponen,
2. Probabilitas kejadian yang akan terjadi dalam waktu tertentu.

Simbol dari FTA tergantung dari standar yang diikuti. Berikut ini adalah simbol FTA yang biasa digunakan:

Tabel 2.3. Simbol yang digunakan Dalam FTA

Simbol	Deskripsi
<p data-bbox="378 1461 800 1493">“OR gate”</p> 	<p data-bbox="824 1562 1310 1646"><i>OR gate</i> mengindikasikan output A terjadi jika salah satu E_i terjadi</p>

Tabel 2.3. Simbol yang digunakan Dalam FTA

Simbol	Deskripsi
 <p>“AND gate”</p>	<p><i>AND gate</i> mengindikasikan event A terjadi jika semua input E_i terjadi secara simultan</p>
 <p><i>Basic event</i></p>	<p><i>Basic event</i> merupakan akar kejadian yang menyebabkan kegagalan atau kesalahan.</p>

2.5.2 Prosedur Fault Tree Analysis

Berikut adalah step yang biasa dilakukan dalam FTA:

1. Definisi dari kegagalan/resiko yang terjadi,
Pada tahap ini kegagalan yang terjadi dapat dilihat berdasarkan *historical data*, kemudian dilakukan diskusi untuk menentukan penyebab kegagalan.
2. Konstruksi dari *fault tree*,
Pembentukan *fault tree diagram* berdasarkan kegagalan yang terjadi.
3. Identifikasi dari *minimal cut set*,
Cut set merupakan satu set kejadian/*basic event* yang (bersamaan) terjadi untuk memastikan *top event* terjadi.
4. Analisa kualitatif,
5. Analisa kuantitatif.

Critical event yang akan dianalisa biasanya disebut *Top event*. Sangat penting sekali mendefinisikan *Top Event* dengan sangat jelas tanpa definisi yang ambigu. Deskripsi dari *Top Event* selalu menjawab dari pertanyaan apa, dimana dan kapan:

What : Deskripsi tipe *critical event* yang terjadi

Where : Deskripsi dimana *critical event* terjadi

When : Deskripsi kapan *critical event* terjadi

Tabel 2.4. Keuntungan dan Kerugian FTA

Keuntungan	Kerugian
Mengidentifikasi dan mencatat kegagalan secara sistematis	Adanya tree yang sangat besar apabila analisa dilakukan secara mendalam
Sesuai dengan parallel, redundant atau alternative kegagalan	Event yang sama mungkin terjadi dalam tree yang berbeda, sehingga menyebabkan kebingungan
Sesuai dengan gabungan beberapa event	Tidak mempresentasikan antar pernyataan dalam setiap event
Sesuai untuk sistem yang mempunyai sub sistem yang banyak	Mebutuhkan fault tree yang berbeda dalam setiap event
Dapat memberikan model logika yang paling minimum	Penyebab utama yang diidentifikasi oleh fault tree hanya berhubungan dengan keluaran yang spesifik
Dapat digunakan pada konversi model logika pada pengukuran probabilitas	Fault tree analisis tidak sesuai dengan sistem repair dan maintenance yang kompleks
Mengidentifikasi probabilitas penyebab top event terjadi	--
Mencari dan dapat meramalkan penyebab utama dalam event	--

2.5.3 Analisa Kualitatif FTA

Analisa kualitatif adalah analisa dengan melakukan pembentukan rangkaian *logic expression*. Dimana *top event* dirangkai dengan penyebabnya yaitu *basic event*. Dari rangkaian *logic expression* yang terbentuk didapatkan *minimal cut sets* sebagai output dari analisa kualitatif, minimal cut set ini memperlihatkan *basic event* apa saja yang dapat menyebabkan *top event* terjadi.

2.5.4 Analisa Kuantitatif FTA

Analisa kuantitatif adalah analisa probabilitas terhadap kejadian yang terjadi. Dengan *cut set* (rangkaihan dari *basic event* yang menyebabkan *top event*

terjadi) yang ada, maka dapat dihitung probabilitas dari *top event* dengan adanya probabilitas dari setiap event. Probabilitas dari setiap event bisa didapatkan dengan menggunakan data historis atau *engineering judgment* apabila tidak ada data historis.

Pada FTA analisa kuantitatif menggunakan gabungan gerbang logika dan hukum *Boolean algebra*. Berikut adalah aturan probabilitas pada setiap gerbang:

- *OR gate*

OR gate merupakan union (gabungan) dari event. Jika event A dan B merupakan input dari output Q maka:

$$\Pr(Q) = \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(A \cap B) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$= \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(A)\Pr(B/A) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$= \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(B)\Pr(A/B) \dots\dots\dots(2.3)$$

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam probabilitas dalam *OR gate*:

1. Jika A dan B adalah *independent* (berdiri sendiri) maka $\Pr(B/A) = \Pr(B)$ dan $\Pr(Q) = \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(A)\Pr(B)$,
2. Jika B adalah *dependent* (berhubungan) dengan A, maka $\Pr(B/A) = 1$ dan $\Pr(Q) = \Pr(B)$

- *AND gate*

AND gate merupakan *intersection* (irisan) dari *event*. Jika event A dan B merupakan input dari Q maka:

$$\Pr(Q) = \Pr(A)\Pr(B/A) \dots\dots\dots(2.4)$$

$$= \Pr(B)\Pr(A/B) \dots\dots\dots(2.5)$$

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam probabilitas dalam *AND gate*:

1. Jika A dan B adalah *independent* maka $\Pr(B/A) = \Pr(B)$, $\Pr(A/B) = \Pr(A)$ dan $\Pr(Q) = \Pr(A)\Pr(B)$,
2. Jika A dan B *dependent* maka $\Pr(B/A) = 1$ dan $\Pr(Q) = \Pr(A)$.

2.6 Teori Manajemen Pemeliharaan

Manajemen adalah sebuah proses dimana tujuan organisasi dicapai melalui penggunaan sumber daya (manusia, uang, energi, material, ruang dan waktu). Sumber daya ini dikenal sebagai input dan tujuan yang dicapai dikenal sebagai output dari proses.

Ukuran keberhasilan seorang manajer biasanya diukur dari rasio antara output dan input yang dikenal sebagai produktivitas.

$$\text{produktivitas} = \frac{\text{output (produk, servis)}}{\text{input (sumber daya)}} \dots\dots\dots(2.6)$$

2.6.1 Definisi Manajemen Pemeliharaan

Pemeliharaan atau *maintenance* didefinisikan sebagai suatu kegiatan yang dibutuhkan untuk mempertahankan kondisi suatu fasilitas atau peralatan agar tetap seperti kondisi saat baru dibangun, sehingga peralatan tersebut dapat beroperasi terus-menerus sesuai dengan kapasitas produksi aslinya. Definisi lain pemeliharaan adalah keseluruhan kegiatan yang dilakukan untuk menjaga unit produksi atau memperbaiki sampai pada kondisi yang bisa diterima untuk dapat memenuhi fungsi produksinya.

Manajemen pemeliharaan merupakan kegiatan yang berhubungan dengan perencanaan, organisasi dan kepegawaian, implementasi program dan metode kontrol kegiatan pemeliharaan.

2.6.2 Tujuan Pemeliharaan

Tujuan pemeliharaan secara umum adalah

1. Untuk memperpanjang kegunaan dari asset.
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi dan pengembalian investasi (*return on investment*) yang maksimum.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.
5. Untuk menyediakan informasi biaya dan efektivitas pemeliharaan kepada manajemen.

2.6.3 Fungsi Pemeliharaan

Secara umum fungsi pemeliharaan dapat dikategorikan sebagai berikut

1. Fungsi manajemen yang meliputi kebijakan pemeliharaan, organisasi dan sistem, perencanaan, penjadwalan, dan kontrol kegiatan pemeliharaan, evaluasi dan analisis ekonomi, peningkatan keahlian pekerja dan motivasi,

manajemen subkontraktor, kontrol anggaran, pencatatan data, pengukuran kinerja, pengontrolan suku cadang dan penggantian mesin.

2. Fungsi teknis yang meliputi analisis kinerja peralatan, analisis penyebab kegagalan, analisis penggantian, persiapan standarisasi, dan instruksi untuk inspeksi.
3. Fungsi operasional yang meliputi inspeksi (rutin atau periodik), persiapan operasional (lubrikasi, penyetelan, perbaikan), pekerjaan teknik (*machining, welding* dan *finishing*).

2.6.4 Jenis Pemeliharaan

Jenis pemeliharaan dapat dibagi menjadi

1. Pemeliharaan Darurat (*breakdown maintenance*)

Pemeliharaan yang hanya dilakukan ketika kondisi peralatan rusak. Tidak ada biaya yang dialokasikan untuk tindakan pencegahan kerusakan. Jenis ini cocok bila suku cadang yang dimiliki memadai. Pada sistem pemeliharaan ini tidak dilakukan pemeliharaan apapun sampai terjadi kerusakan pada mesin, hal tersebut sesuai dengan filosofinya yaitu:

- Biaya atau modal peralatan (*original cost*) kecil,
- Biaya pergantian suku cadang (*replacement cost*) rendah,
- Biaya perbaikan tinggi,
- Fasilitas produksi tidak terlalu berpengaruh pada proses produksi, waktu yang hilang dan lain sebagainya.

Perusahaan yang tidak memahami dengan baik tentang tujuan pemeliharaan akan melihat jenis pemeliharaan ini ekonomis dan murah. Hal ini dikarenakan disamping filosofi tersebut pada sistem pemeliharaan ini juga tidak memerlukan biaya yang besar seperti biaya untuk mengadakan petunjuk pemeliharaan, biaya pelatihan dan tidak ada biaya lainnya yang dikeluarkan sampai mesin tersebut rusak. Tetapi dibalik semua itu akan mengakibatkan kepanikan dan anggaran yang besar saat mesin mengalami kerusakan. Selain itu, dampak keterlambatan pesanan produk akibat mesin tidak dapat digunakan juga akan menambah nilai kerugian dari jenis pemeliharaan ini.

2. Pemeliharaan Rutin (*routine maintenance*)

Pemeliharaan yang dilakukan secara periodik menurut siklus operasi yang berulang. Contohnya pemeliharaan harian, mingguan atau berdasarkan jam operasi (*running hour*). Pemeliharaan rutin bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan dan mengurangi biaya perbaikan.

3. Pemeliharaan Korektif (*corrective maintenance*)

Pemeliharaan yang dilakukan untuk mengembalikan kondisi peralatan yang sudah rusak/tidak berfungsi dengan baik sehingga kondisi yang diharapkan dapat dipenuhi. Tujuannya adalah agar terjadi peningkatan produktivitas peralatan.

4. Pemeliharaan Pencegahan (*preventive maintenance*)

Yaitu kegiatan pemeliharaan terencana yang dilaksanakan berdasarkan pada suatu rencana kegiatan inspeksi yang dilakukan secara periodik untuk mendeteksi adanya tanda-tanda gangguan yang akan mengakibatkan *break down*, mesin dan produksi terhenti, penurunan kondisi mesin/alat. Inspeksi ini dikombinasikan dengan kegiatan pemeliharaan untuk menghilangkan, mengontrol, atau mengembalikan kondisi alat atau mesin sesuai dengan kriteria/standar yang ditetapkan. Bisa juga dikatakan PM merupakan sistem deteksi dan penanggulangan cepat pada gangguan mesin/alat sebelum terjadi produk cacat ataupun kerugian lainnya.

5. Pemeliharaan Prediktif (*predictive maintenance*)

Pemeliharaan ini melakukan peramalan waktu kerusakan, penggantian dan perbaikan peralatan sebelum terjadinya kerusakan. Pemeliharaan ini menggunakan teknik-teknik maju untuk memaksimalkan waktu operasi (*operation time*) dan menghilangkan pekerjaan-pekerjaan yang tidak perlu (PQM, 2001).

Pada jenis pemeliharaan ini penggantian komponen atau suku cadang dilakukan pada waktu yang telah ditentukan yaitu sebelum terjadi kerusakan (hampir rusak) baik merupakan kerusakan total maupun titik dimana pengurangan mutu telah menyebabkan mesin bekerja dibawah standar yang telah ditetapkan. Pendeteksian ini dilakukan menggunakan

alat untuk memperkirakan kapan kegiatan pemeliharaan dapat dilakukan seperti Indikator peka panas dll.

2.6.5 Kendala Dalam Manajemen Pemeliharaan

Kendala-kendala yang kerap terjadi dalam sistem manajemen pemeliharaan terutama dalam membuat dan mengimplementasikan program pemeliharaan adalah:

- Kurangnya metodologi yang sistematis dan konsisten
- Program pemeliharaan melibatkan banyak pihak yang berhubungan dengan bagian pemeliharaan, sulit untuk menyatukan dan memuaskan semua pihak secara bersama-sama
- Adanya perbedaan-perbedaan tujuan yang saling bertentangan, misalnya meningkatkan ketersediaan mesin, kapasitas, dan kualitas ditengah-tengah kendala-kendala seperti rencana produksi, persediaan suku cadang, tenaga kerja dan keterampilan.

2.6.6 Penilaian Kinerja Manajemen Pemeliharaan

“kamu tidak dapat memimpin sesuatu yang tidak dapat kamu ukur”

“the most comprehensive report on how leading organizations are implementing performance measurement programs in their of business excelent”

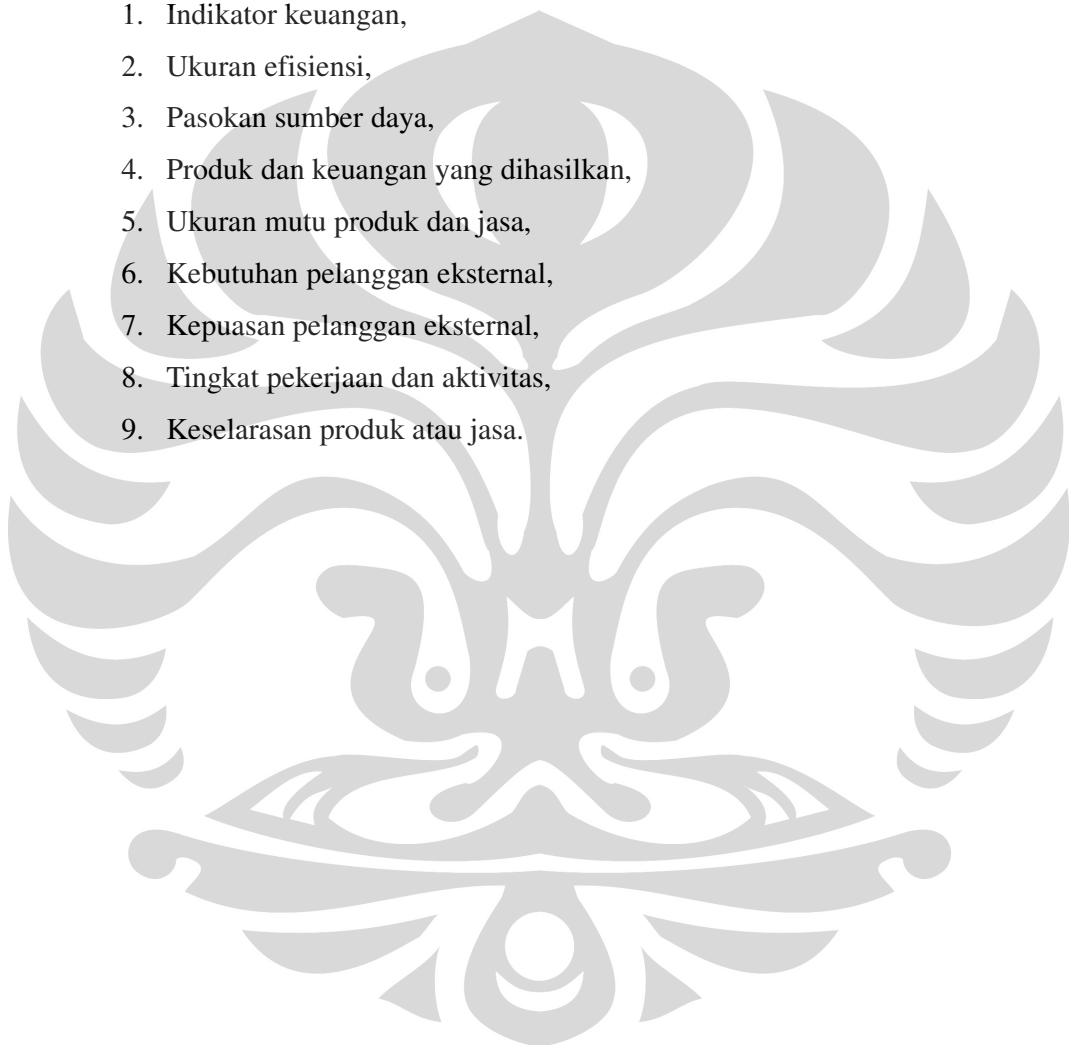
Dua kutipan tersebut menunjukkan bahwa penilaian kinerja manajemen telah menjadi hal yang sangat penting di era persaingan ketat antar perusahaan sekarang ini. Penilaian kinerja digunakan untuk memastikan kinerja manajemen agar kesuksesan perusahaan dapat dicapai. Dalam merancang sistem penilaian kinerja perlu diperhatikan empat faktor utama yaitu:

1. Sudut pandang pihak yang memerlukan penilaian,
2. Level manajemen yang bertanggung jawab terhadap pengukuran dan pelaporan,
3. Pihak-pihak yang akan berpartisipasi dalam tindak lanjut terhadap hasil penilaian kinerja,
4. Frekuensi pengukuran yang dilaksanakan.

Saat ini penilaian kinerja bisnis telah mengalami pergeseran dan taktik pemberian nilai telah mengalami perubahan. Pengaruh sumber daya terbaru telah muncul dan pendekatan terbaru telah diperkenalkan. Hanya perusahaan-

perusahaan yang memiliki teknik penilaian kinerja terbaru yang akan mencapai puncak keberhasilan. Untuk sukses dalam persaingan, setiap perusahaan harus mengevaluasi ulang kinerja bisnisnya, cara menilainya, dan hasil akhirnya. Hal-hal baru cenderung muncul dan menjadi *trend*, hal ini perlu dianalisis dan dievaluasi. Secara umum jumlah ukuran kinerja yang dimiliki perusahaan ada sembilan tipe yaitu:

1. Indikator keuangan,
2. Ukuran efisiensi,
3. Pasokan sumber daya,
4. Produk dan keuangan yang dihasilkan,
5. Ukuran mutu produk dan jasa,
6. Kebutuhan pelanggan eksternal,
7. Kepuasan pelanggan eksternal,
8. Tingkat pekerjaan dan aktivitas,
9. Keselarasan produk atau jasa.



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Profil Perusahaan/Institusi

Kegiatan pengembangan dan pengaplikasian teknologi nuklir di Indonesia diawali dari pembentukan panitia negara untuk menyelidiki *radioaktivitas* tahun 1954. Panitia negara tersebut mempunyai tugas melakukan penyelidikan terhadap kemungkinan adanya jatuhnya radioaktif dari uji coba senjata nuklir di Lautan Pasifik.

Dengan memperhatikan perkembangan pendayagunaan dan pemanfaatan tenaga atom bagi kesejahteraan masyarakat, maka melalui Peraturan Pemerintah No. 65 tahun 1958 pada tanggal 5 Desember 1958 dibentuklah Dewan Tenaga Atom dan Lembaga Tenaga Atom (LTA) yang kemudian disempurnakan menjadi Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) berdasarkan UU No. 31 tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom. Selanjutnya setiap tanggal 5 Desember yang merupakan tanggal bersejarah bagi perkembangan teknologi nuklir di Indonesia dan ditetapkan sebagai hari jadi BATAN.

Pada perkembangan berikutnya untuk lebih meningkatkan penguasaan di bidang iptek nuklir pada tahun 1965 diresmikan pengoperasian reaktor atom pertama (Triga Mark II) di Bandung. Kemudian berturut-turut dibangun pula beberapa fasilitas litbangyasa yang tersebar di berbagai pusat penelitian antara lain Pusat Penelitian Tenaga Atom Pasar Jumat Jakarta (1966), Pusat Penelitian Tenaga Atom GAMA Yogyakarta (1967), dan Reaktor Serba Guna 30 MW (1987) disertai fasilitas penunjangnya seperti: fabrikasi dan penelitian bahan bakar, uji keselamatan reaktor, pengelolaan limbah radioaktif dan fasilitas nuklir lainnya.

Sementara itu dengan perubahan paradigma pada tahun 1997 ditetapkan UU No. 10 tentang ketenaganukliran yang diantaranya mengatur pemisahan unsur pelaksana kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir (BATAN) dengan unsur pengawas tenaga nuklir (BAPETEN).

3.2 Kedudukan, Tugas Pokok dan Fungsi

Sesuai dengan UU No. 10/1997 tentang Ketenaganukliran dan Keppres RI No. 64/2005, BATAN ditetapkan sebagai Lembaga Pemerintah Non Departemen berada di bawah dan bertanggungjawab kepada Presiden. BATAN dipimpin oleh seorang Kepala dan dikoordinasikan oleh Menteri Negara Riset dan Teknologi.

Tugas pokok BATAN adalah melaksanakan tugas pemerintahan di bidang penelitian, pengembangan dan pemanfaatan tenaga nuklir sesuai ketentuan Peraturan perundang-undangan yang berlaku.

BATAN menyelenggarakan fungsi:

1. Pengkajian dan penyusunan kebijakan nasional di bidang penelitian, pengembangan dan pemanfaatan tenaga nuklir.
2. Koordinasi kegiatan fungsional dalam pelaksanaan tugas BATAN.
3. Fasilitasi dan pembinaan terhadap kegiatan instansi pemerintah di bidang penelitian, pengembangan dan pemanfaatan tenaga nuklir.
4. Penyelenggaraan pembinaan dan pelayanan administrasi umum di bidang perencanaan umum, ketatausahaan, organisasi dan tata laksana, kepegawaian, keuangan, kearsipan, hukum, persandian, perlengkapan dan rumah tangga.

3.3 Visi, Misi, Komposisi dan Jumlah Pegawai

Visi

Terwujudnya iptek nuklir berkeselamatan handal sebagai pemicu dan pemacu kesejahteraan.

Misi

1. Melaksanakan litbangyasa iptek nuklir untuk bidang energi dan non energi.
2. Melakukan diseminasi hasil litbangyasa iptek nuklir.
3. Melaksanakan kegiatan demi kepuasan pemangku kepentingan.

Komposisi dan Jumlah Pegawai

Pegawai Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN seluruhnya berjumlah 180 orang yang terdiri dari Bidang Tata Usaha, Bidang Operasi Reaktor, Bidang

Sistem Reaktor, Bidang Keselamatan, Unit Jaminan Mutu, dan Unit Pengamanan Nuklir.

3.4 Uraian Singkat Fasilitas

Reaktor Nuklir Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) yang dibangun di kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) Serpong merupakan salah satu fasilitas yang dimiliki oleh BATAN. RSG-GAS dikelola dan dioperasikan oleh Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG). Dari struktur organisasi Badan Tenaga Nuklir Nasional, PRSG berada di bawah Deputi Kepala Bidang Pengembangan Teknologi dan Energi Nuklir. Tugas pokok Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) sesuai KEPPRES No. 197 tahun 1998 adalah melaksanakan penelitian dan pengembangan teknologi reaktor, pengoperasian reaktor RSG-GAS, melakukan pelayanan iradiasi, serta bertanggung jawab terhadap keselamatan yang ditetapkan oleh Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional.

Reaktor Serba Guna dibangun sejak tahun 1983 setelah dicapai kritis pertama pada 27 Maret 1987, kemudian diresmikan oleh presiden RI pada tanggal 20 Agustus 1987. Akhirnya pada bulan Maret 1992 dicapai operasi reaktor pada daya penuh 30 MW.

Teras reaktor berada di dalam kolam reaktor, komponen reaktor tersusun dalam plat *grid* reaktor 10×10. Teras reaktor dan reflektor dimaksudkan untuk memberikan volume yang besar pada kanal iradiasi vertikal dan susunan optimum lokasi *beam tube* dengan fluks neutron termal tinggi dibuat dengan blok reflektor Beryllium. Fasilitas RSG-GAS didesain mengikuti persyaratan standar desain IAEA (*International Atomic Energy Agency*) untuk reaktor penelitian. Dalam kondisi operasi normal, kondisi kecelakaan, kejadian yang diantisipasi dan kondisi kecelakaan yang dipostulasikan sistem didesain dengan operasi selamat dan reaktor *shut down*, pembuangan panas peluruhan, dan pelepasan radioaktivitas tetap terkungkung.

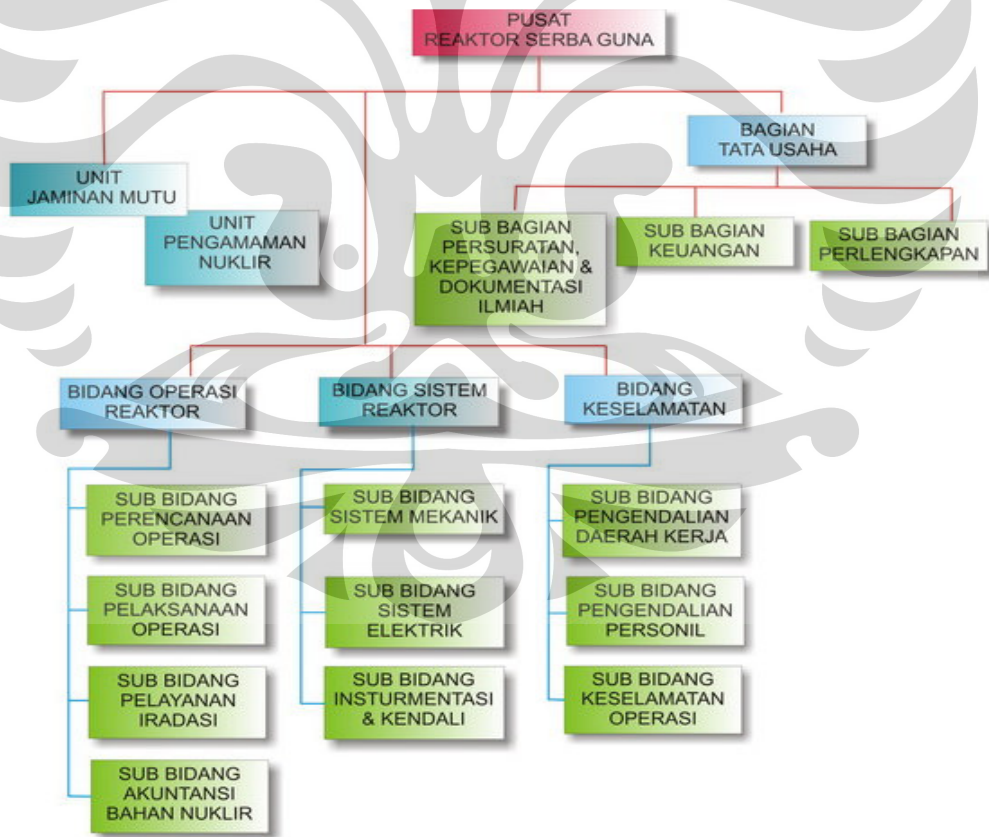
Fasilitas RSG-GAS mempunyai sistem keselamatan inheren yang melekat di dalam desain teras reaktor. Selain itu, RSG-GAS juga dilengkapi dengan ragam keselamatan teknis (*Engineered Safety Feature, ESF*). *ESF* diimplementasikan dalam bentuk desain pertahanan berlapis maupun penggunaan prinsip redundan

pada sistem keselamatan reaktor. Dalam mendesain reaktor digunakan prinsip *fail-safe* yaitu setiap kegagalan yang terjadi pada sistem reaktor akan membuat reaktor *scram* (padam) secara otomatis sehingga kriteria keselamatan dipenuhi.

Tabel 3.1. Spesifikasi RSG-GAS

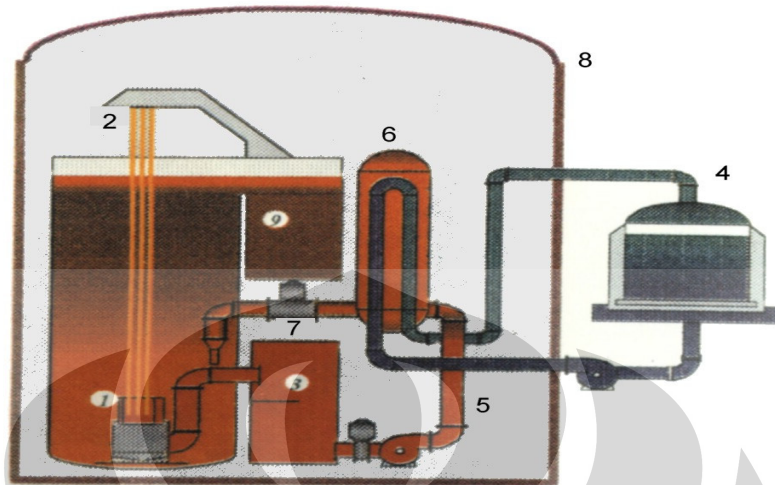
Daya Thermal	30 MWatt
Fluks Neutron (rerata)	10^{14} n/cm ²
Tipe Reaktor	MTR
Bahan Bakar	U ₃ Si ₂ Al
Jumlah Bahan Bakar	40
Jumlah Batang Kendali	8
Pendingin Reaktor	H ₂ O
Debit Pendingin	800 kg/detik
Pengkayaan U ²³⁵	19.75%

3.5 Struktur Organisasi PRSG-GAS BATAN



Gambar 3.1. Struktur Organisasi PRSG-BATAN

3.6 Pengenalan Sistem dan Material Reaktor Riset (RSG-GAS)



Gambar 3.2. Sistem dan Material Reaktor Riset (RSG-GAS)

Keterangan gambar:

1. Teras reaktor
2. Batang kendali
3. Ruang tunda
4. Pendingin sekunder
5. Pendingin primer
6. Penukar panas (*Heat Exchanger*)
7. Katup isolasi
8. Gedung reaktor sebagai pengungkung lepasan zat radioaktif
9. Kolam bahan bakar segar

Bahan bakar uranium mengalami reaksi fusi dan fisi yang terjadi pada teras reaktor sehingga menghasilkan neutron dan panas. Jumlah neutron dikendalikan oleh batang kendali sedangkan panas yang dihasilkan dibuang melalui sistem pendingin primer menuju *heat exchanger*. Didalam *heat exchanger* panas yang dibawa oleh pendingin primer dipindahkan ke pendingin sekunder. Kemudian panas hasil pertukaran didalam pendingin sekunder dibuang ke lingkungan melalui *cooling tower*. Sedangkan untuk neutron didalam teras dimanfaatkan untuk produksi radioisotop dan neutron yang terbawa oleh sistem pendingin primer akan diluruhkan didalam tangki tunda.

3.7 Metode Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan salah satu fase yang sangat penting dalam penyusunan skripsi, karena tahap ini merupakan langkah awal dalam membuat analisa mengenai keadaan dan menarik kesimpulan.

Tahap pengumpulan data ini akan membahas mengenai pengumpulan data yang dilakukan dalam rangka membuat analisa dan kesimpulan.

Tahap pengumpulan data FMEA:

1. Mempelajari fungsi, struktur sistem reaktor dan sistem scram reaktor,
2. Mencari dan mengumpulkan data historis tentang kegagalan sistem reaktor dan brainstorming untuk mengumpulkan informasi mengenai kegagalan yang belum ter-*record* sebelumnya,
3. Pengolahan data FMEA

3.7.1 Pembelajaran fungsi dan struktur sistem reaktor

Pada tahap ini dilakukan studi literature mengenai sistem reaktor yang ada di PRSG-GAS BATAN, melakukan kajian dan mempelajari hal-hal (sistem) yang berkaitan dengan sistem scram reaktor.

3.7.1.1 Sistem Kendali Reaktivitas

Sistem batang kendali terdiri atas dua bagian yang berbeda yaitu elemen kendali dan mekanisme penggerak batang kendali. Sistem kendali reaktivitas dirancang untuk operasi normal reaktor maupun untuk keselamatan pemadaman. Pemadaman reaktor yang berkaitan dengan keselamatan akan diawali oleh Sistem Proteksi Reaktor (*Reactor Protection System, RPS*). Untuk RPS diperhitungkan tersedianya langkah-langkah yang berkaitan dengan keselamatan misalnya redundansi/diversitas, pemisahan ruang, dll.

Sistem kendali reaktivitas berfungsi sebagai berikut:

- a. Untuk menyediakan kendali yang perlu sehingga memungkinkan bagi operator untuk mempertahankan daya reaktor;
- b. Untuk memadamkan reaktor dan mempertahankan kondisi sub-kritis;
- c. Untuk membatasi masuknya reaktivitas;
- d. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada teras reaktor karena efek reaktivitas;

- e. Untuk mencegah urutan pengoperasian batang kendali yang tidak tepat dengan cara *interlock*; dan
- f. Untuk mempertahankan daya reaktor secara otomatis pada tingkat daya yang dipilih oleh operator.

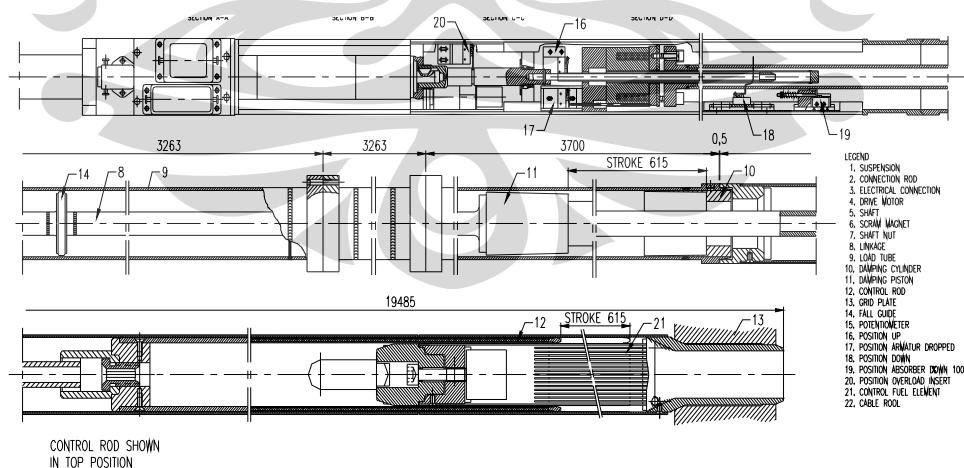
Komponen-Komponen Utama dari Sistem Kendali Reaktivitas

Sistem kendali reaktivitas terdiri atas komponen-komponen utama berikut:

1. Mekanisme penggerak batang kendali yang dilengkapi dengan pengendali dan catu daya;
2. Perangkat penyerap batang kendali;
3. Sistem kendali penggerak batang penyerap; dan
4. Sistem kendali kalang tertutup untuk daya reaktor.

1. Mekanisme penggerak batang kendali (*Control Rod Drive Mechanism, CRDM*)

Mekanisme penggerak batang kendali elektromekanik (CRDM) bertanggung jawab atas penyetelan batang kendali pada arah vertikal di dalam teras reaktor. Unit CRDM yang terdiri atas unit penggerak, gigi pengangkat internal, dan pipa penyangga eksternal diletakkan pada elemen bakar kendali dan disekrup dengan kencang. Elemen bakar kendali, batang kendali, gigi pengangkat dan unit penggerak dengan pipa penyangga dengan demikian merupakan suatu unit yang lengkap, yang hanya dapat dipindahkan dari teras reaktor atau diletakkan kembali sebagai unit integral.



Gambar 3.3. Penggerak batang kendali

- Operasi normal CRDM

Motor tiga-fase menggerakkan spindel mur-bola melalui gigi transmisi yang secara langsung dihubungkan ke motor. Spindel ini memutar masuk mur bola yang terpasang di dalam *scram magnet*. Selama operasi normal *scram magnet* menahan gigi pengangkat internal dengan batang kendali yang terhubung dan tidak dapat memutar rumah persegi karena bentuknya. Ini berarti bahwa *scram magnet* dan dengan demikian batang kendali dinaikkan atau diturunkan oleh gigi pengangkat pada rotasi spindel mur-bola. Apabila batang kendali macet selama penurunan, maka spindel mur-bola yang berputar bergerak ke atas dan mengaktifkan tuas dari kedua saklar “*Overload insert*”, yang terletak di dalam alur cincin. Posisi batang kendali bawah ditunjukkan oleh saklar batas “posisi di bawah”, sedangkan posisi atas oleh saklar batas “posisi di atas”. Masing-masing posisi dari batang kendali ditampilkan oleh potensiometer.

- Operasi pemancungan CRDM

Pemancungan reaktor dapat dilakukan secara *manual* atau secara otomatis pada posisi batang kendali manapun dan juga selama operasi pengaturan posisi. *Scram magnet* dihilangkan energinya dengan mematikan arus di dalam koil dari pemancungan magnet, dan *magnet yoke* dengan gigi pengangkat dan batang kendali masuk ke dalam posisi pemancungan karena gravitasi. Jatuhnya batang kendali diarahkan didalam penyangga atau pipa pengarah melalui cincin pengarah (*guide ring*).

2. Perangkat penyerap batang kendali

Bagian penyerap neutron pada perangkat penyerap terdiri atas pelat penyerap dengan lebar 65 mm dan tebal 5,08 mm, panjang aktifnya adalah 625 mm.

3. Sistem kendali penggerak batang penyerap

Sistem kendali penggerak batang penyerap untuk kendali manual mencakup saklar perintah, perintah *interlock* elektronik dan tampilan yang perlu dan peralatan *annunciation*. Saklar perintah memungkinkan operator untuk memilih perintah ke bawah (*DOWN-command*), perintah ke atas (*UP-command*), atau moda STOP untuk setiap batang kendali. Saklar dirancang untuk mencegah

gerakan batang kecuali di bawah perintah operator langsung. Perintah ke bawah (*DOWN-command*) mendahului perintah ke atas (*UP-command*).

4. Sistem kendali kalang tertutup daya reaktor

Sistem kendali daya reaktor kalang tertutup mengatur tingkat daya yang diinginkan, kerapatan fluks neutron ke suatu nilai yang konstan.

3.7.1.2 Sistem Pendingin Reaktor dan Sistem Yang Berkaitan

Sistem utama reaktor yang terdiri dari sistem pendingin primer, sistem pendingin sekunder, dan sistem pendingin kolam.

Fungsi sistem pendingin primer dan sekunder adalah untuk menjamin suhu di dalam teras dan reflektor sesuai batas operasi yang diijinkan selama reaktor beroperasi normal sampai daya termal desain. Sistem pendingin kolam digunakan untuk membuang panas peluruhan setelah reaktor dipadamkan secara normal (*shut-down*) dan selama catu daya listrik utama (PLN) mengalami gangguan atau kegagalan.

3.7.1.3 Sistem Proteksi Reaktor (*Reactor Protection System, RPS*)

Fungsi dari Sistem Proteksi Reaktor ialah untuk memantau dan memproses variabel-variabel yang perlu untuk keselamatan reaktor dan lingkungan. Sistem ini mematikan reaktor dan menghidupkan sistem-sistem keselamatan yang lain.

Ragam Keselamatan Teknis yang termasuk dalam Sistem Proteksi Reaktor adalah:

- a. Pemrosesan sinyal analog yang redundan,
- b. Sistem redundan terpisah satu dengan yang lain untuk menghindari apabila salah satu sistem gagal akan mempengaruhi yang lain,
- c. Pemisahan oleh batas-batas fisik,
- d. Banyak bagian yang bisa diuji sendiri dan dimungkinkan dilaksanakannya pengujian saat beroperasi,
- e. Logika penentuan dua dari tiga,
- f. Perbandingan sinyal analog yang kontinyu,
- g. Sifat gagal selamat dari bagian logik menggunakan sistem pulsa dinamis,
- h. Tersedia sumber daya ganda untuk kabinet elektronik,
- i. Dirancang tahan gempa.

3.7.1.4 Instrumentasi Proteksi Radiasi

Instrumentasi sistem proteksi radiasi berfungsi untuk memantau paparan radiasi dan kontaminasi di dalam gedung reaktor yang berasal dari operasi reaktor, aktivitas pengotor air pendingin, aktivitas hasil korosi, pelepasan hasil fisi dan aktivitas hasil eksperimen.

Instrumentasi sistem proteksi radiasi di RSG-GAS dirancang sebagai pemantau daerah kerja. Pemantau keadaan tidak normal dan pemantau udara yang melewati cerobong.

Instrumentasi sistem proteksi radiasi dibagi menjadi 4 sistem, yaitu:

1. Pemantau laju dosis gamma,
2. Pemantau udara ruang kerja,
3. Pemantau cerobong udara,
4. Pemantau sistem proses,

3.7.2 Mencari dan Mengumpulkan Data Historis Tentang Kegagalan Sistem Reaktor dan *Brainstorming* Untuk Mengumpulkan Informasi Mengenai Kegagalan Yang Belum Ter-record Sebelumnya

Data kegagalan operasi (*scram*) sistem reaktor didapat dari Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG-GAS) BATAN. Data ini berisikan jumlah kegagalan operasi (*scram*) tiap teras yang sering terjadi pada 5 tahun terakhir operasi reaktor, dimana telah direkapitulasi berdasarkan tahun-tahun yang telah ditentukan dari hasil pengolahan data kejadian terbesar.

3.7.2.1 Enam kerugian utama (*six big losses*)

Pada pengolahan data diberikan batasan yaitu tidak dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai OEE, tetapi hanya untuk menentukan kriteria kegagalan operasi sistem reaktor yang terjadi berdasarkan kriteria *six big losses*.

Dari data kegagalan operasi sistem reaktor yang terjadi dapat diklasifikasikan bahwa kegagalan sistem termasuk dalam kategori *break down* dan *small stop*. Kegagalan yang terjadi sering diakibatkan karena pemberhentian mesin sejenak/mendadak dan terdapat beberapa jenis kegagalan yang memerlukan perbaikan atau penggantian komponen mesin. Asumsi ini dilakukan berdasarkan *historical* kegagalan operasi sistem reaktor, tindakan perbaikan yang dilakukan,

wawancara terhadap operator dan supervisor yang berpengalaman yang melakukan perbaikan dalam menanggulangi kegagalan tersebut.

Berikut rincian kegagalan (*scram*) operasi reaktor.

Tabel 3.2. Tahun 2005

No.	Tahun	Bulan	Jenis kerusakan	Sistem	Frek	Jumlah kegagalan
1	2005	Mei	Indikator JDA 02 osilasi	Drive unit	4	1
2			JDA 01 overload insert			
3			Rack-rod tidak bisa naik turun			
4		Juli	Absorber batang kendali jatuh	Drive unit	2	1
5			JDA 01 jatuh			
6		Agust	JDA 06 jatuh	Drive unit	3	1
7		Sept	JDA 06 jatuh	Drive unit	3	1
8			JDA 05 jatuh			
9	2005		JDA 02 jatuh			
10		Okt	Penanganan target	Proses	1	1
11			JDA 08 jatuh	Drive unit	3	3
12			JDA 05 jatuh	Drive unit	5	
13			PA01 AP001 mati	Proses	1	
14		Nov	JDA 08 jatuh	Drive unit	4	3
15			JDA 05 jatuh		6	
16			JDA 02 jatuh		3	
17		Des	Alarm negatif floating limit value	RPS	1	1

Tabel 3.3. Tahun 2006

No.	Tahun	Bulan	Jenis kerusakan	Sistem	Frek	Jumlah kegagalan
1	2006	Mei	Pompa PA01 AP01 mati karena PA01 CP01 low	proses	1	1
2		Juli	Low voltage fault	RPS	1	1
3			Daya > 1% saat mengoperasikan primer-bridging	RPS	1	1
4		Sept	Gangguan pada JDA 09	Drive unit	1	1
5		Nov	Negative floating limit value alarm	RPS	5	1
6		Des	Negative floating limit value alarm	RPS	1	1

Tabel 3.4. Tahun 2007

No.	Tahun	Bulan	Jenis kerusakan	Sistem	Frek	Jumlah kegagalan
1	2007	Jan	Fluktuasi perioda	RPS	1	1
2		Feb	Fluktuasi perioda	RPS	1	1
3		Maret	Post Flat Limit Value	RPS	2	1
4		April	Instrumentasi JKT02	RPS	2	1
5		Mei	JE01 AP03 mati, massa flow minimum	proses	1	1
6		Juni	NFL Limit Value saat menari target	RPS	2	1
7		Juli	PA01 AP01 low. Katup PA02 AA02 tidak dapat menutup	proses	1	1
8		Agust	PA02 AP01 mati	proses	1	1

Tabel 3.5. Tahun 2008

No.	Tahun	Bulan	Jenis kerusakan	Sistem	Frek	Jumlah kegagalan
1	2008	Jan	Pompa JE01 AP01 mati, fuse power suplay putus.	proses	1	1
2		Feb	JKT03 CX841 osilasi	RPS	2	1
3		Maret	JKT01 CX811 osilasi	RPS	1	1
4		Mei	JDA 07 armature drop	drive unit	1	1
5		Juni	Negative floating limit value	RPS	5	1
6		Agus	Intrumentasi kanal ukur neutron daerah intermediate redudance 2 (JKT 02 CX 821) mengalami gangguan saat penurunan daya	RPS	2	1
7		Sept	Timer motor sistem pendingin primer jalur 1 (JE01 AP01) rusak	proses	1	1

Tabel 3.6. Tahun 2009

No.	Tahun	Bulan	Jenis kerusakan	Sistem	Frek	Jumlah kegagalan
1	2009	Feb	Gangguan pada modul unit penggerak JDA-06	drive unit	2	1
2			Gangguan unit penggerak batang kendali JDA 07+08 (RR).	drive unit		
3		April	Gangguan pada unit penggerak JDA-02	drive unit	3	1
4		Juni	Gangguan instrumen JKT 02	RPS	2	3
5			Gangguan pada unit penggerak JDA-02	drive unit	2	
6			Gangguan instrumen RPS	RPS	1	
7		Juli	Gangguan pada unit penggerak JDA-02	drive unit	3	3
8			Gangguan instrumen JKT 02 Redudance 2	RPS	1	
9			Gangguan Unit Penggerak JDA-07	drive unit	2	

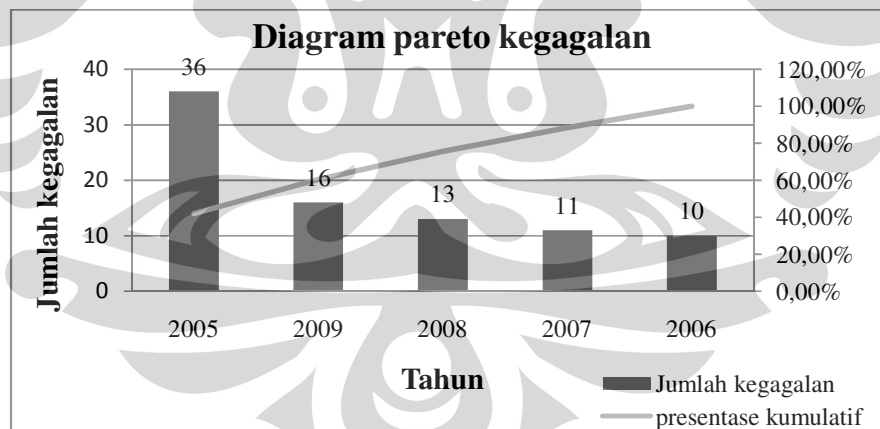
Dari data diatas dapat dikelompokkan berdasarkan kegagalan operasi sistem yang sering terjadi.

Tabel 3.7 Rekapitulasi Kegagalan Operasi Sistem Reaktor

No.	Sistem Reaktor	Jenis kerusakan	Jumlah kegagalan
1.	Gangguan drive unit	Batang kendali jatuh, gangguan pada unit penggerak, alarm.	47 kegagalan
2.	Gangguan reactor protection system	Negative floating limit value alarm, gangguan instrumen, fluktuasi perioda, alarm.	31 kegagalan
3.	Gangguan sistem proses reaktor	Pompa mati, electric failure, alarm.	8 kegagalan

Tabel 3.8. Rekapitulasi Data Kegagalan Operasi (*Scram*) Reaktor RSG-GAS

No	Tahun	Jumlah kegagalan	presentase kegagalan	presentase kumulatif
1	2005	36	41,86%	41,86%
2	2009	16	18,60%	60,47%
3	2008	13	15,12%	75,58%
4	2007	11	12,79%	88,37%
5	2006	10	11,63%	100,00%



Gambar 3.4. Diagram pareto kegagalan

3.7.3 Pengolahan Data FMEA

Pengembangan model FMEA yang dilakukan meliputi beberapa tahapan yaitu

3.7.3.1 Pemilihan tim dan pencarian ide masalah (*brainstorming*)

Sebelum FMEA dimulai maka diperlukan pembentukan sebuah tim yang mewakili proses/sistem yang akan dianalisa. Tim FMEA harus terdiri dari anggota

yang paham proses/sistem dan dapat memberi kontribusi pada FMEA itu sendiri. Pada analisa risiko kegagalan sistem reaktor RSG-GAS BATAN pemilihan tim FMEA berasal dari tiga divisi atau sub bidang sistem reaktor (BOR) yaitu Sub. Bidang mekanik, Sub. Bidang elektrik, Sub. Bidang instrumentasi dan kendali, dan sebagai ketua saya sendiri. Tim FMEA yang dibentuk hanya bertujuan untuk memberikan rekomendasi tindakan bagi institusi/lembaga untuk menangani masalah kegagalan yang terjadi dan mungkin akan terjadi.

Beberapa pertimbangan yang dilakukan dalam memilih ahli/responden ini antara lain:

1. Berhubungan langsung dengan sistem operasi reaktor;
2. Pengalaman kerja yang dimiliki, hal ini sangat penting guna mendapatkan jawaban yang akurat dari kuisisioner tersebut. Pengalaman kerja ini menjadi hal yang sangat penting karena dengan makin lamanya pengalaman kerja yang dimiliki maka diharapkan pengetahuan yang dimiliki semakin baik;
3. Jabatan yang dimiliki, dalam hal ini jabatan yang dimiliki ahli/reponder bisa menunjukkan tingkat keahlian dalam pekerjaannya.

Berikut adalah data peserta *brainstorming* dan responder sebagai berikut:

Tabel 3.9. Daftar Anggota Tim Brainstorming dan Responder Kuisisioner

No.	Nama	Jabatan	Divisi/Bagian	Pengalaman kerja
1.	Ir. Yusi Eko Yulianto. Dipl, Ing	Ka. Bag. Bidang Sistem Reaktor	BOR	23 tahun
2.	Santosa Pujiarta, Amd	Ka. Sub. Bag Mekanik	BOR	23 tahun
3.	Kiswanto, ST	Ka. Sub. Bag Elektrik	BOR	21 tahun
4.	Cahyana, ST	Ka. Sub. Bag Instrumentasi, kendali	BOR	21 tahun

3.7.3.2 Meninjau proses

Untuk suatu proses FMEA anggota tim harus mengetahui aliran proses yang ada secara tepat. Analisa dimulai dengan mengajukan pertanyaan “bagian mana yang paling penting dari proses dan yang berkaitan dengan sistem scram reaktor?”. Analisa dimulai pada alat/sistem reaktor RSG-GAS BATAN yang mengalami kegagalan sesuai dengan data historis dari tahun 2005 - 2009.

3.7.3.3 Mendiskusikan modus-modus kesalahan atau kegagalan potensial

Setelah anggota tim FMEA memahami proses yang ada, maka mulai dicari modus-modus kegagalan potensial (*potential failure modes*) yang dapat terjadi pada sistem reaktor RSG-GAS. Identifikasi kegagalan potensial bisa dikenali dari kegagalan yang terjadi terhadap fungsi dari prosesnya. Kegiatan identifikasi ini dilakukan dengan brainstorming dengan melihat data historis yang ada, ditambah dengan ide dan pengetahuan anggota tim FMEA serta studi literatur. Data dan informasi dituangkan pada bagian alat dan mode kegagalan pada form FMEA sistem reaktor RSG-GAS.

Tabel 3.10. Form FMEA Sistem Reaktor RSG-GAS Batan

Proses/produk : No. FMEA :
 FMEA tim : Date :
 Team leader : Page :

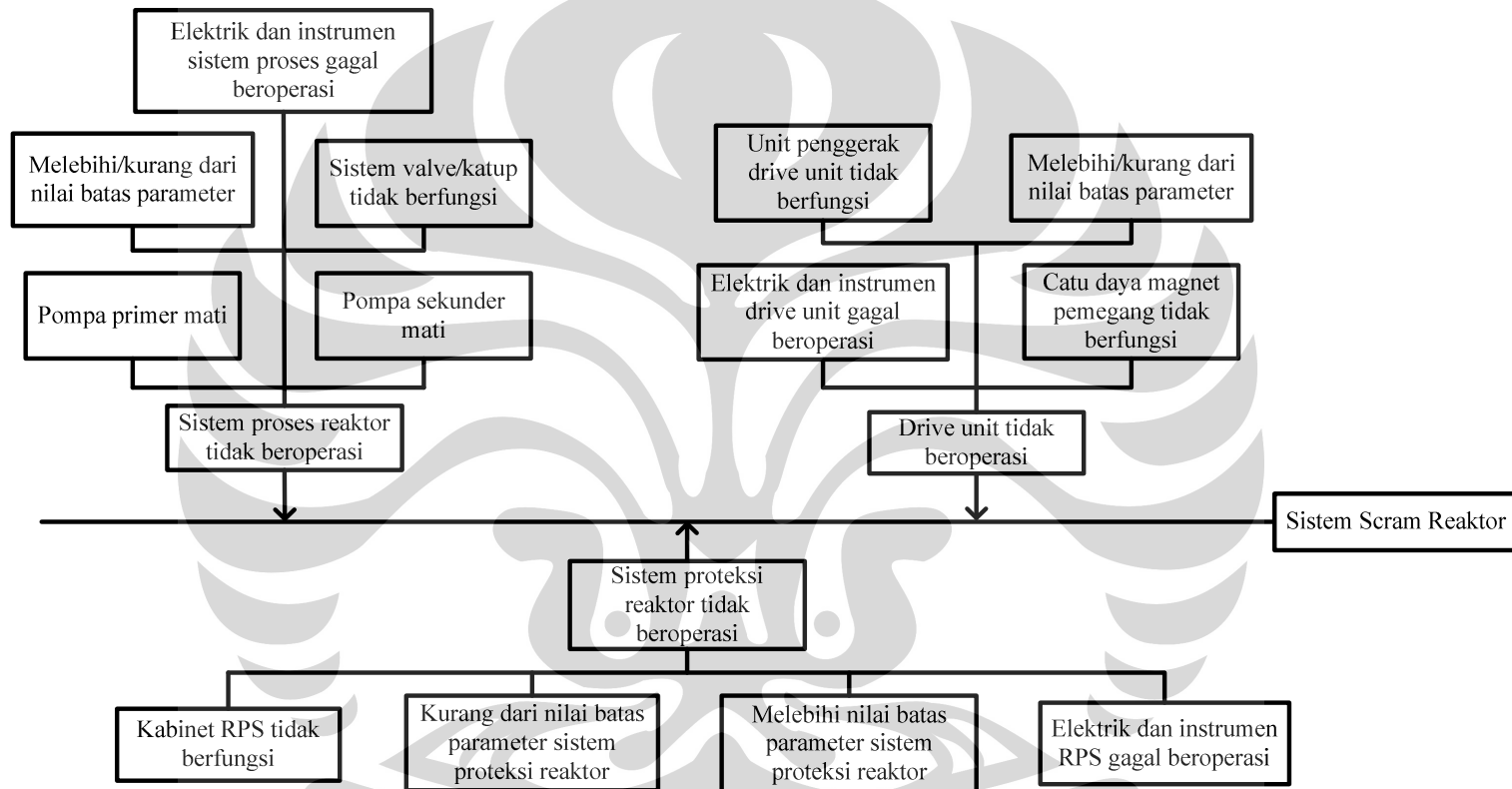
Potensial failure mode	Potential effect of failure mode	Severity	Class	Potential causes of failure mode	Occurrences	Current control	Detection	Risk priority number (RPN)

3.7.3.4 Mendata efek potensial tiap modus-modus kesalahan atau kegagalan

Dengan terkumpulnya data dan informasi kegagalan pada form FMEA, tim selanjutnya mendata efek/akibat potensial yang terjadi dari setiap kegagalan. Data dan informasi dituangkan pada bagian efek dari kegagalan pada form FMEA sistem reaktor RSG-GAS.

3.7.3.5 Mendata penyebab kegagalan potensial (*Potential Cause of Failure*)

Penyebab suatu modus kegagalan potensial harus diarahkan pada akar masalah atau kegagalan bukan berdasarkan gejala yang sering timbul. Identifikasi dapat dilihat dari hubungan modus kegagalan potensial dan efeknya pada diagram CFME. Data dan informasi dituangkan pada bagian penyebab kegagalan pada form FMEA sistem reaktor RSG-GAS.



Gambar 3.5. Diagram CFME Sistem Reaktor RSG-GAS

3.7.3.6 Mendata Pengendalian Kegagalan Saat Ini (*Current Control*)

Pengendalian saat ini merupakan suatu tindakan yang telah dilakukan untuk mendeteksi, menanggulangi permasalahan yang timbul. Data dan informasi dituangkan pada bagian kontrol yang dilakukan pada form FMEA sistem reaktor RSG-GAS.

3.7.3.7 Menentukan Standar Rating Keseriusan (*severity*), Kejadian (*occurrences*), Deteksi dari tiap Modus-Modus Kesalahan atau Kegagalan.

Berdasarkan tabel dibawah ini kita dapat menentukan tingkat/rating keseriusan dari kegagalan operasi sistem reaktor.

Tabel 3.11. Rating Keseriusan (*Severity*)

Skala	Severity	Description	Non productive time
10	Hazardous without warning	Dapat membahayakan operator dan sistem itu sendiri tanpa ada peringatan	>6x24 jam
9	Hazardous with warning	Dapat membahayakan operator dan sistem dengan ada peringatan terlebih dahulu	>5x24 - 6x24 jam
8	Very high	Kegagalan mengganggu sistem secara total	>4x24 - 5x24 jam
7	High	Kegagalan mengganggu 50% kerja sistem	>3x24 - 4x24 jam
6	Moderate	Kegagalan mengganggu 25% kerja sistem	>2x24 - 3x24 jam
5	Low	Kegagalan mengganggu 10% kerja sistem	>24 - 2x24 jam
4	Very low	Kegagalan mempengaruhi kerja sistem	>12 - 24 jam
3	Minor	Kegagalan memberi efek minor pada sistem	>6-12 jam
2	Very minor	Kegagalan memberi efek yang dapat diabaikan	>3-6 jam
1	None	Kegagalan tidak memberi efek	0-3 jam

Sumber: Cayman Bussiness System, 1964. Com, Failure Mode and Effect Analysis, 2002 dan JVC FMEA Module Training, ISO/TS 169/49 yang dimodifikasi.

Tabel 3.12. Rating Frekuensi Kejadian (*Occurrence*)

Skala	Occurence	Kriteria verbal	Possible failure rate
10	Very high	Kegagalan yang terjadi terus menerus	≥ 1 in 2
9			1 in 3
8	High	Kegagalan yang sering terjadi	1 in 8
7			1 in 20
6	Moderate	Kegagalan yang kadang-kadang terjadi	1 in 80
5			1 in 400
4			1 in 2.000
3	Low	Kegagalan relatif sedikit	1 in 15.000
2	Very low	Kegagalan hampir tidak pernah terjadi	1 in 150.000
1	Remote	Kegagalan tidak pernah terjadi	1 in 1.500.000

Sumber: Cayman Bussiness System, 1964. Com, Failure Mode and Effect Analysis, 2002 dan JVC FMEA Module Training, ISO/TS 169/49 yang dimodifikasi.

Tabel 3.13. Rating Deteksi

skala	Detection	Kriteria verbal
10	Almost impossible	Pengecekan hampir tidak mungkin mendeteksi kegagalan
9	Very remote	Sangat kecil kemungkinan untuk pengecekan bisa mendeteksi kegagalan
8	Remote	Pengecekan mempunyai peluang untuk mendeteksi kegagalan
7	Very low	Pengecekan mempunyai peluang yang rendah untuk mendeteksi kegagalan
6	Low	Pengecekan kemungkinan mendeteksi kegagalan
5	Moderate	Pengecekan kemungkinan akan mendeteksi kegagalan
4	Moderately high	Pengecekan kemungkinan besar akan mendeteksi kegagalan
3	High	Pengecekan mempunyai peluang besar mendeteksi kegagalan
2	Very high	Pengecekan hampir pasti dapat mendeteksi kegagalan
1	Almost certain	Pengecekan pasti dapat mendeteksi kegagalan

Sumber: Cayman Bussiness System, 1964. Com, Failure Mode and Effect Analysis, 2002 dan JVC FMEA Module Training, ISO/TS 169/49 yang dimodifikasi.

3.8 Penyebaran Kuisisioner

Penyebaran kuisisioner ini dilakukan untuk mengetahui sistem manajemen pemeliharaan yang dilakukan di PRSG-BATAN secara umum. Kuisisioner ini disebarkan kepada kepala bidang, kepala sub bidang, operator, serta teknisi karena merekalah yang melakukan pemeliharaan dan pengoperasian sistem reaktor. Jumlah kuisisioner yang disebarkan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.14. Jumlah Penyebaran Kuisisioner

Jabatan	Jumlah
Kepala bidang	2 orang
Kepala sub bidang	4 orang
Supervisor	2 orang
Operator	12 orang
Teknisi	20 orang
Jumlah	40 orang

Pembagian jumlah responder dilakukan secara acak hanya pada dua bidang yang memang berkaitan dengan pengoperasian reaktor dan sistem pemeliharaan reaktor di RSG-GAS yaitu bidang operasi reaktor (BOR) dan bidang sistem reaktor (BSR).

3.8.1 Pengolahan Kuisisioner

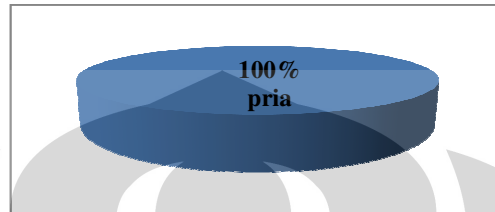
Pengolahan kuisisioner ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *Microsoft Excel* untuk menghitung jumlah responden pada masing-masing jawaban pertanyaan. Kemudian hasil dari kuisisioner tersebut disajikan dengan menggunakan tabel *pie chart* yang juga menampilkan presentase responden. Dari hasil pengolahan inilah penulis akan mengetahui dan menganalisa pemeliharaan yang diterapkan pada sistem operasi reaktor berdasarkan jawaban mayoritas responden kecuali terdapat kasus-kasus tertentu yang akan dijelaskan kemudian.

Pemilihan pengolahan menggunakan *pie chart* adalah karena diagram *pie chart* merupakan *tool* yang paling sederhana dan mudah dimengerti dalam mempresentasikan hasil kuisisioner, dan juga akan membantu penulis dalam menganalisa hasil kuisisioner tersebut. Pengolahan data akan dibagi dalam 4 bagian

sesuai pembagian pada kuisioner yaitu data responden, kondisi umum mesin, operator dan manajemen pemeliharaan. Tiap pertanyaan akan diwakili oleh satu *pie chart* dan hasil pengolahan *pie chat* dapat dilihat sebagai berikut:

1. Data responder

1. Jenis kelamin

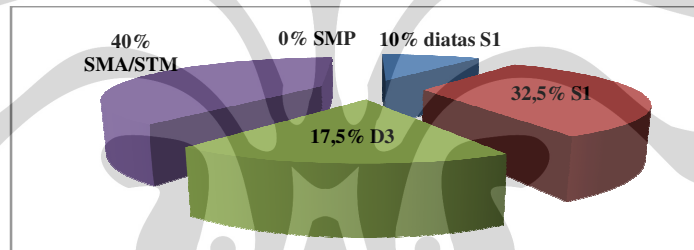


Gambar 3.6. *Pie chart* jawaban no. 1

2. Jabatan anda sekarang di PRSG-BATAN:

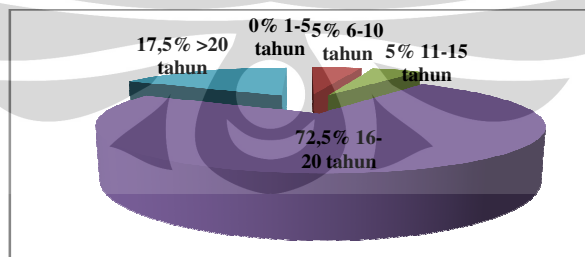
Responder berasal dari berbagai jenis jabatan sesuai dengan kebutuhan

3. Latar belakang pendidikan



Gambar 3.7. *Pie chart* jawaban no. 3

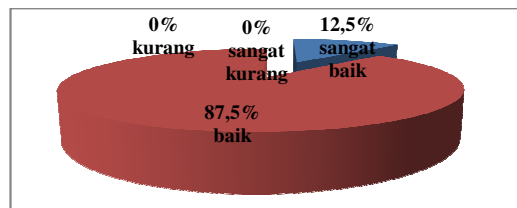
4. Berapa lama anda berkerja di PRSG-BATAN



Gambar 3.8. *Pie chart* jawaban no. 4

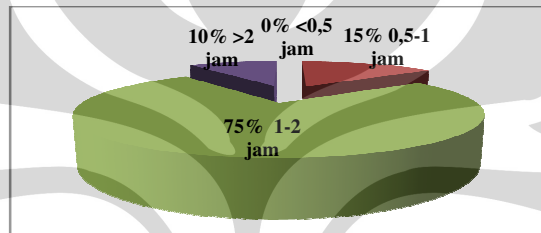
2. Kondisi umum mesin

5. Bagaimana kondisi sistem/mesin saat ini secara umum



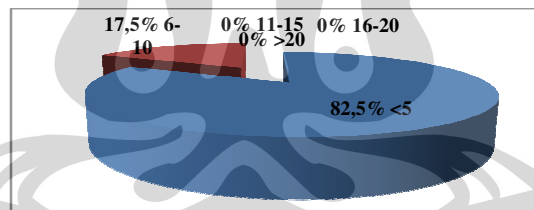
Gambar 3.9. Pie chart jawaban no. 5

6. Berapa lama waktu yang diperlukan untuk mempersiapkan mesin sebelum beroperasi



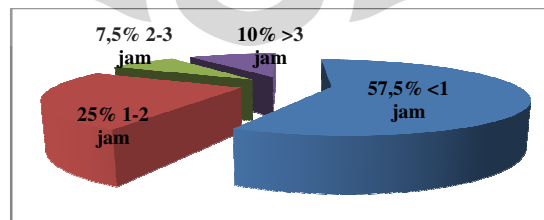
Gambar 3.10. Pie chart jawaban no. 6

7. Berapa kali umumnya terjadi kerusakan mesin dalam waktu 1 bulan



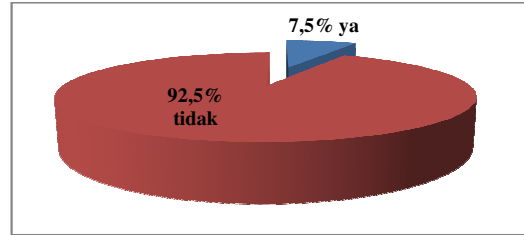
Gambar 3.11 Pie chart jawaban no. 7

8. Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kerusakan minor



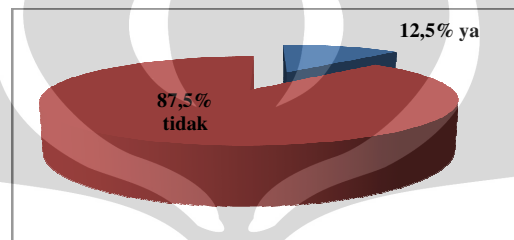
Gambar 3.12 Pie chart jawaban no. 8

13. Apakah operator mengerti cara membongkar dan memasang mesin



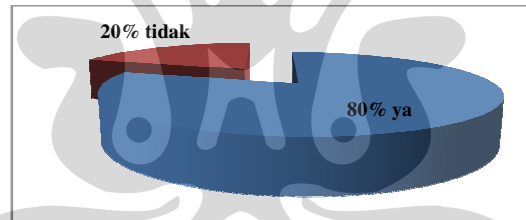
Gambar 3.17. Pie chart jawaban no. 13

14. Apakah operator mengerti cara memperbaiki kerusakan mesin



Gambar 3.18 Pie chart jawaban no. 14

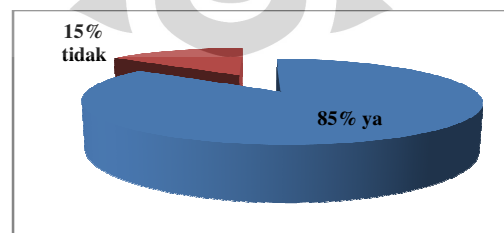
15. Apakah perusahaan pernah mengadakan pelatihan untuk operator



Gambar 3.19. Pie chart jawaban no. 15

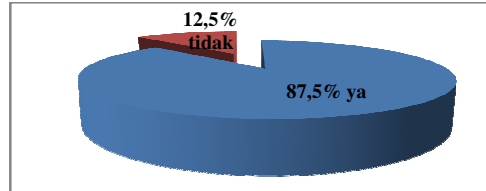
4. Manajemen pemeliharaan

16. Apakah sudah ada jadwal pemeliharaan untuk mesin secara umum



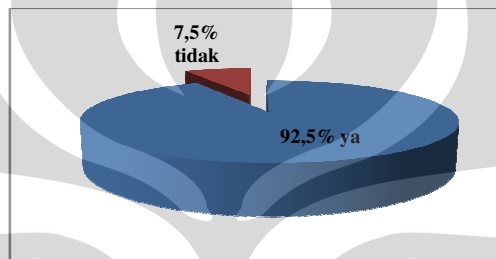
Gambar 3.20. Pie chart jawaban no. 16

17. Apakah jadwal tersebut dilaksanakan sesuai waktunya



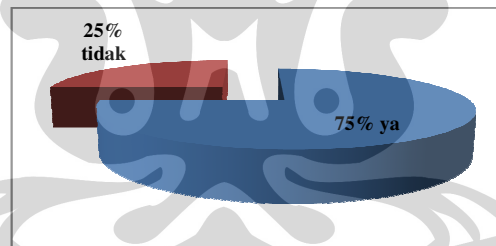
Gambar 3.21. Pie chart jawaban no. 17

18. Apakah selama ini pekerjaan pemeliharaan dilaksanakan sepenuhnya oleh teknisi



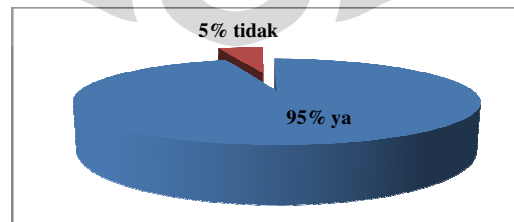
Gambar 3.22. Pie chart jawaban no. 18

19. Apakah seluruh teknisi siap sedia untuk memperbaiki mesin



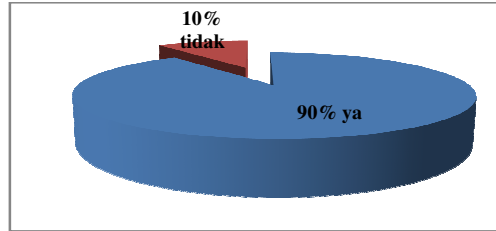
Gambar 3.23. Pie chart jawaban no. 19

20. Apakah teknisi memperoleh pelatihan mengenai pemeliharaan mesin



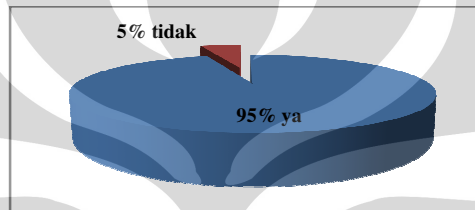
Gambar 3.24. Pie chart jawaban no. 20

21. Apakah teknisi mempunyai job description yang jelas dalam pemeliharaan



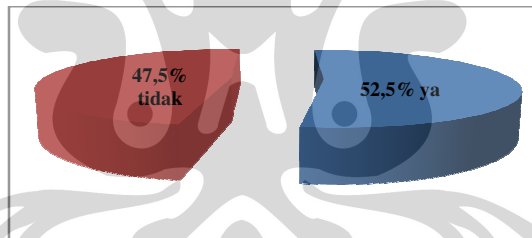
Gambar 3.25. *Pie chart* jawaban no. 21

22. Apakah ada prosedur yang harus dilalui teknisi sebelum melakukan perbaikan



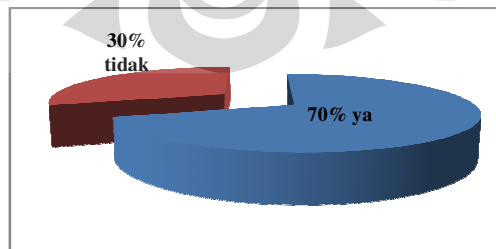
Gambar 3.26. *Pie chart* jawaban no. 22

23. Apakah suku cadang senantiasa tersedia dalam pemeliharaan



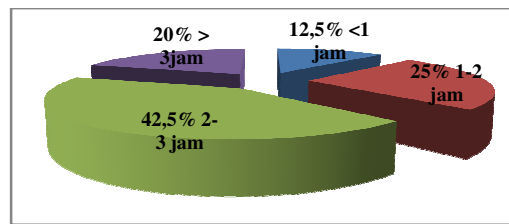
Gambar 3.27. *Pie chart* jawaban no. 23

24. Apakah pemeliharaan yang sekarang sudah cukup memadai



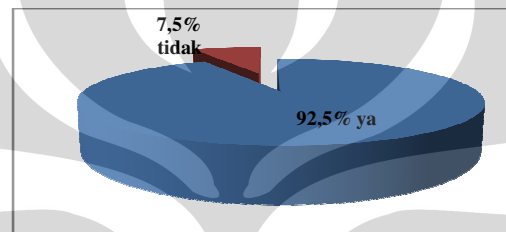
Gambar 3.28. *Pie chart* jawaban no. 24

25. Berapakah total waktu terbaik untuk melakukan pemeliharaan mesin dalam sehari



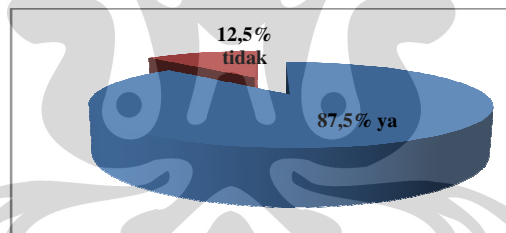
Gambar 3.29. Pie chart jawaban no. 25

26. Apakah anda pernah mendengar TPM



Gambar 3.30. Pie chart jawaban no. 26

27. Menurut anda perlukah PRSG-BATAN menerapkan TPM



Gambar 3.31. Pie chart jawaban no. 27

BAB 4 PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data FMEA

4.1.1 Menentukan Rating Tiap Modus-Modus Kesalahan atau Kegagalan

Dengan data dan informasi yang diperoleh berdasarkan hasil *brainstroming* anggota tim FMEA, kemudian dilakukan penentuan standar rating tingkat keseriusan/dampak (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*) dan deteksi (*detection*). Penilaian ini dilakukan dengan penyebaran kuisioner kepada masing-masing anggota tim FMEA yang kemudian berdiskusi untuk menentukan rating dari tiap-tiap modus kegagalan yang terjadi.

4.1.2 Menghitung Nilai Prioritas Risiko dari Tiap Efek (RPN)

Risk Priority Number (RPN) merupakan perhitungan sederhana yang mengalikan tingkat keseriusan (*severity*) dengan frekuensi kejadian (*occurrence*), dan pendeteksian (*detection*). Dengan demikian rumus RPN adalah sebagai berikut:

$$\text{Risk Priority Number (RPN)} = \text{Severity} \times \text{Occurance} \times \text{Detection} \quad \dots(4.1)$$

4.1.3 Peringkat RPN dan Memprioritaskan Risiko Kegagalan Untuk Mengambil Tindakan

Dari hasil pengumpulan data dan pengolahan data yang telah dituangkan ke dalam form FMEA pada lampiran, maka dapat dilihat peralatan/mesin sistem reaktor RSG-GAS yang mempunyai risiko kegagalan tertinggi. Nilai kegagalan sistem didapatkan dari hasil perhitungan RPN yang dilakukan oleh tim FMEA. Berikut adalah empat resiko kegagalan dengan nilai RPN tertinggi yang sudah diranking:

Tabel 4.1. Daftar Resiko Kegagalan dengan Nilai RPN Tertinggi

No.	Daftar Resiko Kegagalan Operasi Sistem Reaktor RSG-GAS	Risk Priority Number
1.	Catu daya magnet pemegang tidak berfungsi	200
2.	Unit penggerak drive unit tidak berfungsi	200
3.	Elektrik dan instrumen drive unit gagal beroperasi	160
4.	Pompa primer mati	160

Pemilihan empat kegagalan sistem diatas berdasarkan hasil perhitungan nilai RPN tertinggi yang diperoleh masing-masing sistem. Dapat dilihat bahwa catu daya magnet pemegang tidak berfungsi mendapatkan nilai RPN terbesar yaitu 200, kemudian unit penggerak *drive unit* tidak berfungsi, elektrik dan instrumen drive unit gagal beroperasi dan pompa primer mati.

Empat kegagalan sistem tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut.

- Catu daya magnet pemegang tidak berfungsi

Berdasarkan tabel dan hasil *brainstorming* tim FMEA, penyebab kegagalan catu daya magnet pemegang tidak berfungsi adalah kenaikan atau penurunan ekstrim parameter RPS. Pada sistem reaktor banyak sekali parameter yang harus dipenuhi/dissetting sebelum melakukan pengoperasian. Kegagalan tersebut terjadi karena ada salah satu fungsi dari sistem yang terkait gagal untuk melakukan operasi karena melebihi atau kurang dari nilai batas parameter, sehingga menyebabkan sistem drive unit tidak bisa beroperasi sesuai fungsinya.

- Unit penggerak *drive unit* tidak berfungsi

Berdasarkan tabel dan hasil *brainstorming* tim FMEA, penyebab kegagalan unit penggerak drive unit tidak berfungsi adalah motor penggerak tidak dapat berfungsi. Motor penggerak dalam sistem ini berfungsi untuk menggerakkan batang kendali yang mekanisme kerjanya diuraikan pada bab sebelumnya. Kerusakan tersebut dapat berupa motor penggerak macet, dan kegagalan ini menyebabkan sistem drive unit tidak bisa beroperasi sesuai fungsinya.

- Elektrik dan instrumen drive unit gagal beroperasi

Berdasarkan tabel dan hasil *brainstorming* tim FMEA, penyebab kegagalan elektrik dan instrumen drive unit gagal beroperasi adalah *drive unit module* tidak berfungsi. Kegagalan ini menyebabkan sistem drive unit tidak bisa beroperasi sesuai fungsinya.

- Pompa primer mati

Berdasarkan tabel dan hasil *brainstorming* tim FMEA, penyebab kegagalan pompa primer mati adalah *instrument, electric short*, bearing panas

dan/atau motor mati mendadak. Kerusakan tersebut mengakibatkan tekanan, *flow*, *temperature* dan *level* yang berfungsi sebagai indikator parameter akan memberikan sinyal scram pada RPS untuk memadamkan/mematikan reaktor dan juga akan menyebabkan sistem proses reaktor tidak beroperasi.

4.1.4 Usulan Tindakan Pengurangan Modus Kegagalan Yang Berisiko Tinggi

Tindakan rekomendasi dapat berupa tindakan yang spesifik dari studi FMEA tingkat lanjut. Ide tindakan rekomendasi ini adalah untuk mengurangi nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang terjadi. Tujuannya adalah untuk mengurangi atau mengeliminasi kegagalan yang terjadi.

- Titik kritis pada sistem operasi sistem reaktor RSG-GAS.

Dari form FMEA dapat dilihat titik kritis pada sistem operasi reaktor RSG-GAS BATAN yang mempunyai nilai RPN tertinggi, artinya alat ini memberi kontribusi terbesar terhadap kegagalan pada sistem operasi reaktor RSG-GAS yaitu:

Sistem	: Operasi Reaktor RSG-GAS
Sub Sistem	: <i>Drive unit</i>
Nama komponen	: sistem CRDM- <i>Control Rod Drive Mechanism</i>
Fungsi komponen	: bertanggung-jawab atas penyetelan batang kendali pada arah vertikal di dalam teras reaktor
Modus kegagalan	: catu daya magnet pemegang failure
Penyebab potensial	: kenaikan/penurunan ekstrim parameter RPS
Dampak potensial	: magnet pemegang tidak bisa berfungsi
Kendali saat ini	: <i>trouble shooting</i>
Rekomendasi tindakan	: setting parameter dan uji fungsi sebelum operasi

Usulan langkah penanganan atau rekomendasi tindakan merupakan hasil *brainstorming* dari anggota tim FMEA dengan mempertimbangkan mode kegagalan, efek kegagalan, penyebab kegagalan dan kontrol yang dilakukan pada saat ini. Ada empat risiko kegagalan yang dievaluasi, untuk kemudian diberi usulan langkah-langkah penanganan risikonya. Hal ini berdasarkan pada nilai RPN tertinggi yang diperoleh dari masing-masing sistem yang ada dalam form FMEA. Tindakan rekomendasi ini merupakan tindakan pencegahan yang

dilakukan oleh tim untuk mengurangi frekuensi kegagalan operasi. Sehingga diharapkan setelah dilakukan tindakan tersebut dan dilakukan perhitungan RPN ulang maka akan menghasilkan nilai RPN yang kecil untuk masalah tersebut atau dengan kata lain rekomendasi tindakan yang di usulkan berhasil mengurangi tingkat kegagalan operasi.

Tabel 4.2. Tindakan Rekomendasi 4 Resiko Kegagalan Operasi dengan RPN Tertinggi

No.	Daftar Resiko Kegagalan Operasi Sistem Reaktor RSG-GAS	RPN	Tindakan Rekomendasi
1.	Catu daya magnet pemegang tidak berfungsi	200	setting parameter dan uji fungsi sebelum operasi
2.	Unit penggerak drive unit tidak berfungsi	200	Pengecekan dan uji fungsi penggerak batang kendali
3.	Elektrik dan instrumen drive unit gagal beroperasi	160	Uji fungsi dan pengecekan berkala
4.	Pompa primer mati	160	Uji fungsi dan pengecekan berkala

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat tindakan rekomendasi yang diusulkan oleh tim FMEA, yang bertujuan untuk melakukan pencegahan dari kegagalan sistem operasi yang terjadi.

- Pada catu daya magnet pemegang tidak berfungsi, penyetingan yang dilakukan untuk mengatur nilai parameter tiap sistem agar sesuai dengan nilai batas parameter yang ditentukan sebelum melakukan operasi,
- Unit penggerak *drive unit* tidak berfungsi, uji fungsi yang dilakukan adalah untuk memastikan kendali atau penggerak dapat beroperasi sesuai fungsinya yaitu untuk melakukan penyetelan batang kendali,
- Elektrik dan instrumen *drive unit* gagal beroperasi, uji fungsi ini dilakukan dengan mengecek semua perangkat instrumen yang berkaitan dengan

pengoperasian controlling sistem dan elektrik agar dapat beroperasi sesuai fungsinya,

- Pompa primer mati, pengecekan dan uji fungsi yang dilakukan untuk memastikan pompa bekerja dengan baik sebelum melakukan operasi. Dengan uji fungsi ini diharapkan juga kegagalan yang terjadi dapat dihilangkan sehingga pompa dapat beroperasi sesuai fungsinya yaitu melakukan sistem proses reaktor.

Berikut adalah uji fungsi yang dilakukan untuk sistem *drive unit* yang merupakan bagian dari sistem penggerak batang kendali dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Uji fungsi motor batang kendali, cara pengujian kinerja motor dengan cara menguji respon motor hingga posisi *coupled/absorber down* 100%,
2. Uji fungsi transmisi batang kendali ditambah dengan pelumasan ulir poros penggerak,
3. Uji fungsi kinerja switch pada sistem penggerak batang kendali yaitu:
 - a. Posisi *up* dan *down*
 - b. *Absorber down* 100%/coupled
 - c. *Armature/dropped*
 - d. Status sistem enam kontak, penyedia arus ke magnet batang kendali
 - e. *Overload insert*
4. Posisi terbawah batang kendali.

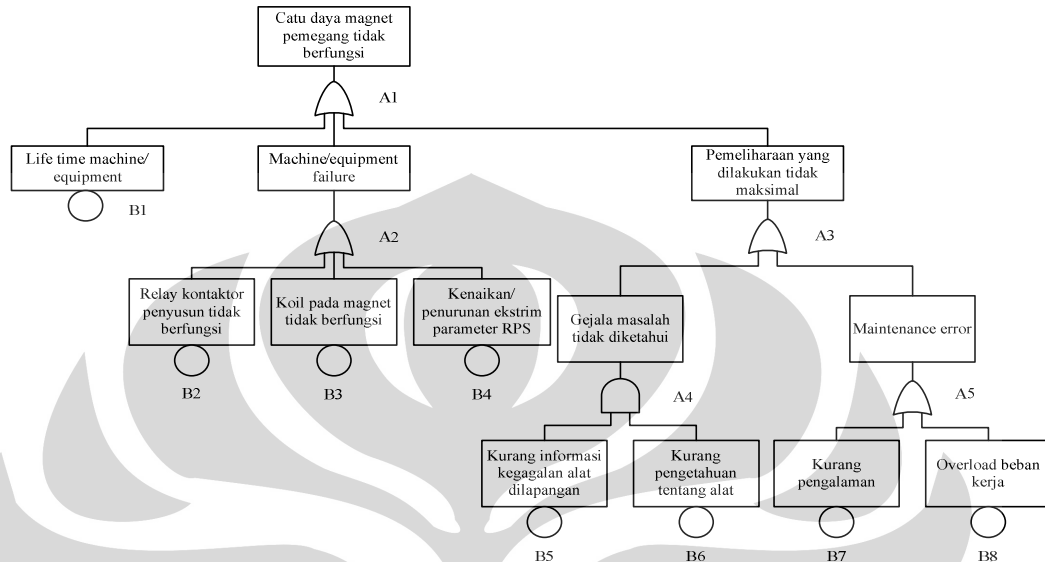
Sedangkan uji fungsi untuk kegagalan pompa primer mati dapat dilakukan dengan melakukan pengecekan sesuai jadwal dan prosedur pemeliharaan, pemeriksaan kondisi bearing, level oli motor atau pompa sebelum melakukan pengoperasian reaktor.

4.2 Analisa Data FTA

Diagram FTA berikut merupakan analisa yang dilakukan untuk mengetahui minimal *cut sets* dari setiap kegagalan yang terjadi. Dimana minimal *cut sets* tersebut merupakan *event* atau penyebab yang mengakibatkan terjadinya *top event* atau kegagalan. Dalam hal ini yang dianalisa adalah kegagalan dengan nilai RPN tertinggi dalam pengoperasian sistem reaktor RSG-GAS yang terdiri

dari setiap *basic event* berdasarkan beberapa *cause factor* seperti pada gambar dibawah ini.

4.2.1 Catu Daya Magnet Pemegang tidak Berfungsi



Gambar 4.1. *Logic expression* catu daya magnet pemegang tidak berfungsi

Aljabar boolean

1. Logika *top down*

$$A1 = B1 + A2 + A3$$

$$A2 = B2 + B3 + B4$$

$$A3 = A4 + A5$$

$$A4 = B5 \times B6$$

$$A5 = B7 + B8$$

2. Substitusi

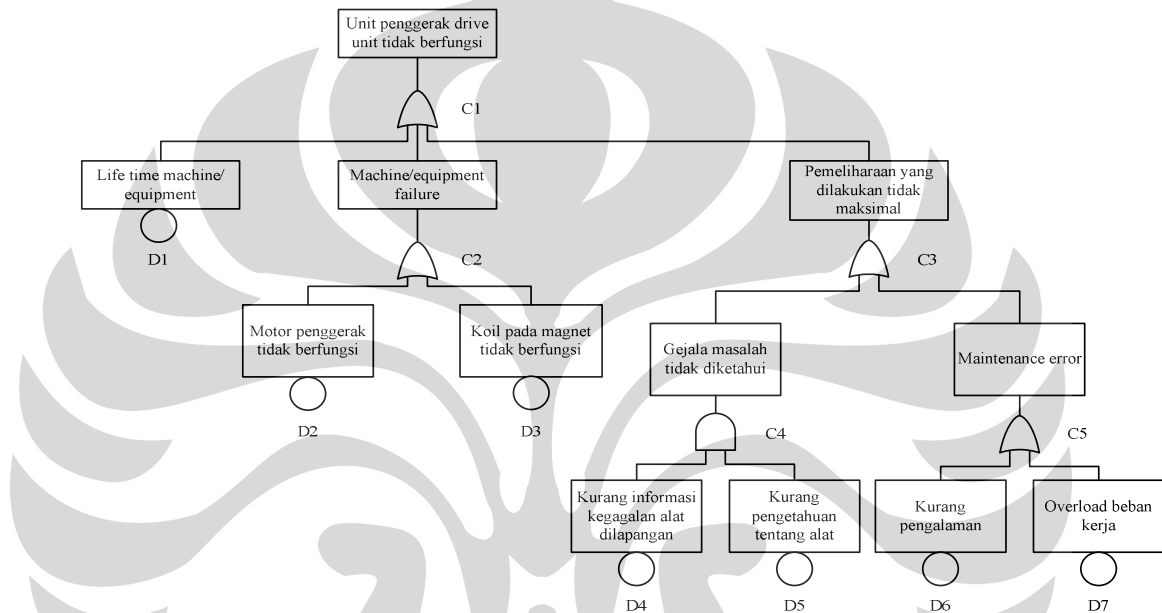
$$A3 = (B5 \times B6) + (B7 + B8)$$

$$A1 = B1 + (B2 + B3 + B4) + [(B5 \times B6) + (B7 + B8)]$$

Minimal *cut sets* yang merupakan *basic events* catu daya magnet pemegang tidak berfungsi ada 7 *cut sets*, dimana kegagalan tersebut dapat disebabkan oleh *life time machine/equipment*, *machine/equipment failure* atau pemeliharaan yang dilakukan tidak maksimal. Pada *cause factor machine/equipment failure* penyebab dasar yang terjadi adalah relay kontaktor

penyusun tidak berfungsi, koil pada magnet tidak berfungsi atau kenaikan/penurunan ekstrim parameter RPS. Dari pemeliharaan yang tidak maksimal yaitu gejala masalah tidak diketahui atau *maintenance error*. Dari cause factor gejala masalah tidak diketahui adalah kurang informasi kegagalan alat dilapangan dan kurang pengetahuan tentang alat, sedangkan dari *maintenance error* ada 2 basic events yaitu kurang pengalaman atau overload beban kerja.

4.2.2 Unit Penggerak *Drive Unit* tidak berfungsi



Gambar 4.2. Logic expression unit penggerak drive unit tidak berfungsi

Aljabar boolean

1. Logika *top down*

$$C1 = D1 + C2 + C3$$

$$C2 = D2 + D3$$

$$C3 = C4 + C5$$

$$C4 = D4 \times D5$$

$$C5 = D6 + D7$$

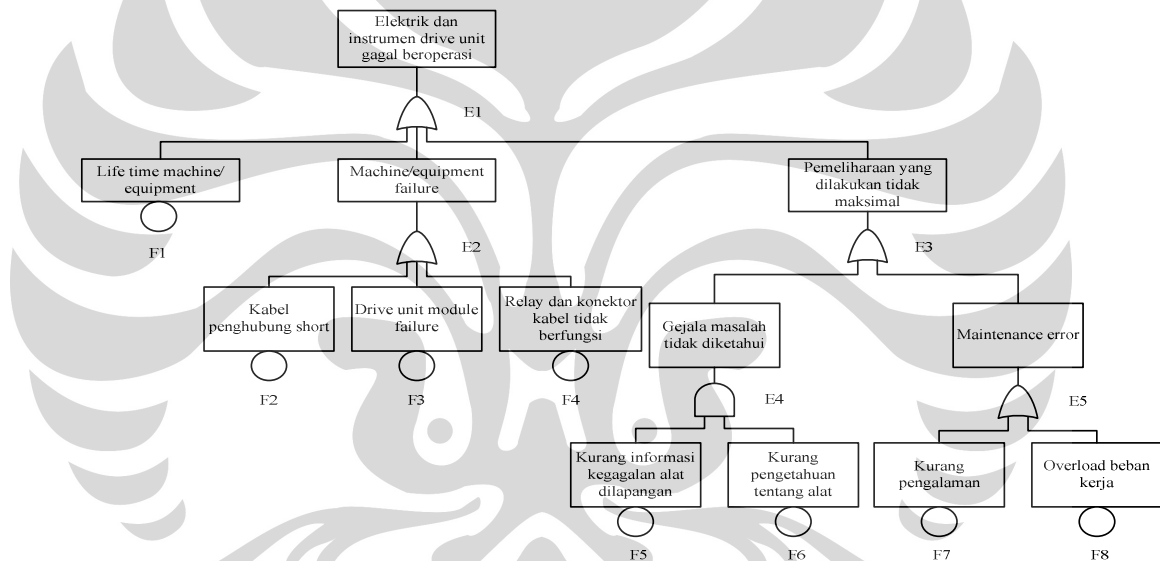
2. Substitusi

$$C3 = (D4 \times D5) + (D6 + D7)$$

$$C1 = D1 + (D2 + D3) + [(D4 \times D5) + (D6 + D7)]$$

Minimal *cut sets* yang merupakan basic events unit penggerak *drive unit* tidak berfungsi ada 6 cut sets, dimana kegagalan tersebut dapat disebabkan oleh *life time machine/equipment*, *machine/equipment failure* atau pemeliharaan yang dilakukan tidak maksimal. Pada *cause factor machine/equipment failure* penyebab dasar yang terjadi adalah motor penggerak tidak berfungsi atau koil pada magnet tidak berfungsi. Dari pemeliharaan yang tidak maksimal yaitu gejala masalah tidak diketahui atau *maintenance error*. Dari cause factor gejala masalah tidak diketahui adalah kurang informasi kegagalan alat dilapangan dan kurang pengetahuan tentang alat, sedangkan dari *maintenance error* ada 2 *basic events* yaitu kurang pengalaman atau *overload* beban kerja.

4.2.3 Elektrik dan instrumen *drive unit* gagal beroperasi



Gambar 4.3. Logic expression elektrik dan instrumen *drive unit* gagal beroperasi

Aljabar boolean

1. Logika *top down*

$$E1 = F1 + E2 + E3$$

$$E2 = F2 + F3 + F4$$

$$E3 = E4 + E5$$

$$E4 = F5 \times F6$$

$$E5 = F7 + F8$$

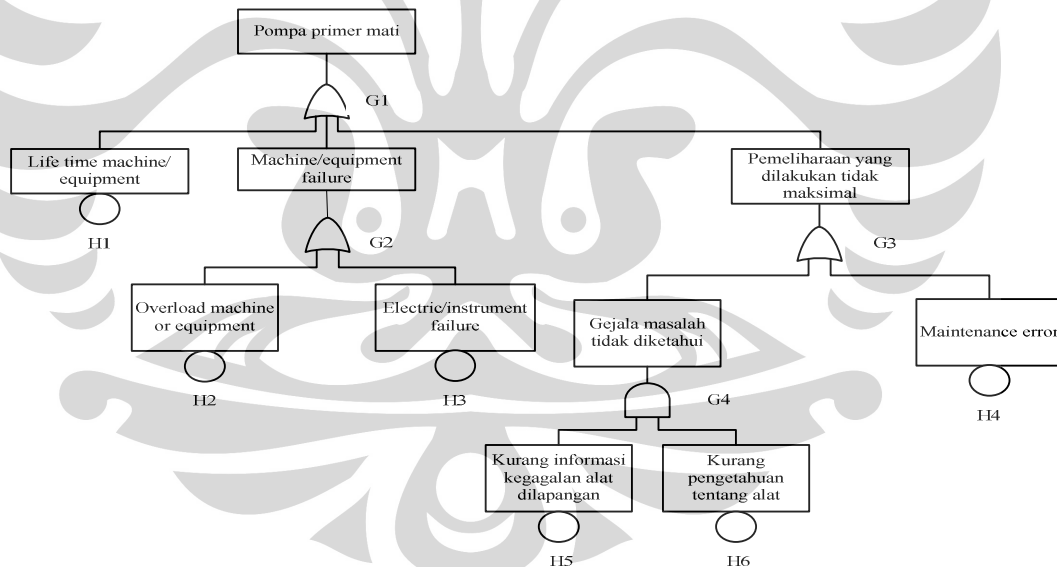
2. Substitusi

$$E3 = (F5 \times F6) + (F7 + F8)$$

$$E1 = F1 + (F2 + F3 + F4) + [(F5 \times F6) + (F7 + F8)]$$

Minimal cut sets yang merupakan *basic events* elektrik dan instrumen *drive unit* gagal beroperasi ada 7 *cut sets*, dimana kegagalan tersebut dapat disebabkan oleh *life time machine/equipment*, *machine/equipment failure* atau pemeliharaan yang dilakukan tidak maksimal. Pada *cause factor machine/equipment failure* penyebab dasar yang terjadi adalah kabel penghubung short, drive unit module failure atau relay dan konektor kabel tidak berfungsi. Dari pemeliharaan yang tidak maksimal yaitu gejala masalah tidak diketahui atau *maintenance error*. Dari *cause factor* gejala masalah tidak diketahui adalah kurang informasi kegagalan alat dilapangan dan kurang pengetahuan tentang alat, sedangkan dari *maintenance error* ada 2 basic events yaitu kurang pengalaman atau *overload* beban kerja.

4.2.4 Pompa primer mati



Gambar 4.4. Logic expression pompa primer mati

Aljabar boolean

1. Logika top down

$$G1 = H1 + G2 + G3$$

$$G2 = H2 + H3$$

$$G3 = G4 + H4$$

$$G4 = H5 \times H6$$

2. Substitusi

$$G3 = (H5 \times H6) + H4$$

$$G1 = H1 + (H2 + H3) + [(H5 \times H6) + H4]$$

Minimal *cut sets* yang merupakan *basic events* pompa primer mati ada 5 cut sets, dimana kegagalan tersebut dapat disebabkan oleh *life time machine/equipment*, *machine/equipment failure* atau pemeliharaan yang dilakukan tidak maksimal. Pada *cause factor* pemeliharaan yang tidak maksimal yaitu gejala masalah tidak diketahui atau *maintenance error*. Dari *cause factor* gejala masalah tidak diketahui adalah kurang informasi kegagalan alat dilapangan dan kurang pengetahuan tentang alat.

Dari gambar *logic expression diagram* diatas berdasarkan empat risiko kegagalan dengan nilai RPN tertinggi, dengan mempertimbangkan *cause factor* yang ada maka dapat ditentukan minimal *cut sets* untuk masing-masing kegagalan tersebut.

Tabel 4.3. Daftar Minimal *Cut Sets* Empat Resiko Kegagalan dengan RPN Tertinggi.

No.	Daftar resiko kegagalan operasi sistem reaktor RSG-GAS	Cut sets	
1.	Catu daya megnet pemegang tidak berfungsi	B1/B2/B3/B4/B7/B8	B5×B6
2.	Unit penggerak drive unit tidak berfungsi	D1/D2/D3/D6/D7	D4×D5
3.	Elektrik dan instrumen drive unit gagal beroperasi	F1/F2/F3/F4/F7/F8	F5×F6
4.	Pompa primer mati	H1/H2/H3/H4	H5×H6

Berdasarkan hasil analisa dengan *Fault Tree Analysis* (FTA) dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ketersediaan informasi kegagalan dilapangan dapat membantu mengetahui kegagalan yang akan terjadi,
2. Perlu dilakukan pendataan mengenai kegagalan yang pernah terjadi dan *trouble shooting* apa saja yang dilakukan, yang kemudian dapat dijadikan pedoman untuk menambah pengetahuan para pekerja/teknisi dalam melakukan perbaikan serta mengantisipasi kegagalan yang terjadi,
3. Pembagian beban kerja yang tepat perlu dilakukan untuk memaksimalkan pemeliharaan yang dilakukan.

4.3 Analisa Kuisisioner

Setelah hasil kuisisioner diolah, maka penulis menganalisanya dalam tiga bagian yaitu keadaan mesin, operator dan manajemen pemeliharaan. Untuk bagian data responden tidak akan dianalisa secara khusus, namun dapat dilihat dari pengolahan diatas semua personil telah terwakili dan dapat dilakukan analisa lebih lanjut.

4.3.1 Analisa Keadaan Mesin

Secara umum kondisi mesin atau sistem operasi reaktor RSG-GAS dalam kategori baik (87,5% responden), bahkan ada 12,5% responden lainnya yang mengkategorikannya dalam kategori sangat baik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem reaktor yang ada masih dapat beroperasi secara aman sesuai dengan fungsinya.

Sekarang bagaimana untuk mempertahankan agar sistem yang dalam kategori baik tersebut dapat bertahan lama dan dapat beroperasi sesuai fungsinya. Dilihat dari kegagalan sistem atau mesin yang terjadi dalam satu bulan yaitu sebesar 82,5% responden menyatakan kerusakan mesin/sistem mayoritas 5 kali dalam sebulan dan diperlukan waktu sekitar 1 jam untuk memperbaiki kerusakan minor tersebut. Apabila kerusakan ini didiamkan terus menerus maka akan mengganggu operasi reaktor secara keseluruhan karena membutuhkan waktu sekitar 1-2 jam untuk melakukan set up sebelum memulai operasi. Sedangkan

waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan apabila terjadi breakdown maintenance dibutuhkan waktu 1-3 hari untuk memperbaiki sistem/mesin yang mengalami kerusakan tersebut.

Dari hasil kuisioner dapat diketahui bahwa kerusakan yang terjadi lebih disebabkan pada kurang optimalnya pemeliharaan yang dilakukan baik sistem/mesin yaitu 32,5% responden. Walaupun sudah terdapat jadwal pemeliharaan namun karena keterbatasan personil teknisi untuk melakukan pemeliharaan maka pemeliharaan yang seharusnya dilakukan tertunda karena harus ada sistem yang diprioritaskan terlebih dahulu. Hal ini diperkuat bahwa 92,5% responden menyatakan bahwa pemeliharaan sepenuhnya dilakukan oleh teknisi, jadi peran operator dalam membantu melakukan perbaikan atau pemeliharaan adalah minimum.

Pada bagian elektrik sering terjadi gangguan atau kerusakan yang mengakibatkan reaktor gagal beroperasi. Kerusakan yang terjadi tidak hanya pada bagian elektriknya saja namun juga pada bagian instrumentasi yang banyak berpengaruh terhadap sistem operasi reaktor itu sendiri. Perlu dibuat penjadwalan perbaikan untuk mengurangi kerusakan yang terjadi pada sistem elektrik atau instrumentasi reaktor.

4.3.2 Analisa Operator

Dari hasil pengolahan kuisioner dapat dilihat bahwa sebagian besar operator tidak mengerti cara memeriksa atau mengecek mesin yaitu 82,5%. Operator juga tidak dapat melakukan pembongkaran atau pemasangan dalam perbaikan mesin yaitu 92,5% responden. Ditambah juga operator tidak mengerti cara memperbaiki mesin/sistem yang mengalami kerusakan. Walaupun terdapat pelatihan yang diselenggarakan oleh lembaga (institusi) untuk operator, namun pelatihan yang diberikan lebih dititikberatkan pada cara pengoperasian sistem reaktor itu sendiri. Jadi dapat disimpulkan bahwa apabila terjadi kerusakan perbaikan sepenuhnya adalah tanggung jawab dari teknisi pemeliharaan yang dapat dilihat pada pertanyaan 18. Budaya tersebut harus dihilangkan bahwa pemeliharaan atau perbaikan adalah sepenuhnya tugas teknisi.

4.3.3 Analisa Manajemen Pemeliharaan

Dari hasil kuisisioner yaitu 85% responden menyatakan bahwa jadwal pemeliharaan sistem reaktor memang sudah ada, namun karena kurangnya personil dan tidak melibatkan operator dalam melakukan pemeliharaan maka sistem pemeliharaan yang dilakukan pun tidak optimal.

Mengenai suku cadang sistem reaktor RSG-GAS, walaupun suku cadang senantiasa tersedia yaitu 52,5% responden, namun ada 47,5% responden yang menyatakan bahwa suku cadang tidak tersedia. Hal ini disebabkan karena semua part yang ada di sistem reaktor sebagian besar sudah tua dan juga banyak part yang tidak tersedia di lokal (*import*). Sehingga perlu waktu yang cukup lama untuk mendatangkannya. Untuk menanggulangnya maka program pemeliharaan menjadi kuncinya karena ketika program pemeliharaan diterapkan, disitu akan dijadwalkan pula penggunaan suku cadang yang tentunya akan memudahkan kepala sub bidang atau kepala bidang untuk menyediakan kebutuhan part tersebut.

Dari hasil kuisisioner juga diperoleh bahwa waktu terbaik untuk melakukan pemeliharaan mesin dalam sehari adalah 2-3 jam. Waktu tersebut dapat dikategorikan cukup lama dalam melakukan perbaikan, apabila program pemeliharaan dilakukan dengan tepat kemungkinan waktu untuk melakukan pemeliharaan tersebut dapat berkurang. Dengan kata lain jadwal operasi yang telah ditetapkan dapat tercapai. Di akhir kuisisioner penulis menanyakan tentang penerapan TPM di RSG-GAS, ternyata ada 87,5% responden menyatakan setuju untuk diterapkan TPM pada program pemeliharaan sistem reaktor. Namun penerapan TPM juga masih terdapat kendala dari hasil diskusi yang dilakukan yaitu budaya operator hanya melakukan proses pengoperasian saja tanpa terlibat dalam hal pemeliharaan sistem reaktor.

4.3.4 Kesimpulan Kuisisioner

Dari keseluruhan analisa diatas dapat disimpulkan beberapa hal yang perlu mendapatkan perhatian khusus sehubungan dengan manajemen pemeliharaan sistem reaktor RSG-GAS adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya pelatihan bagi operator untuk mengetahui dan mengenali sistem atau mesin yang berkaitan dengan sistem reaktor,

2. Keterlibatan operator dalam melakukan perbaikan/pemeliharaan penting untuk diterapkan sehingga budaya yang selama ini ada dapat diubah, sehingga pemeliharaan sistem yang dilakukan akan menjadi maksimal,
3. Ketersediaan suku cadang sistem reaktor juga merupakan faktor penting untuk meningkatkan sistem manajemen pemeliharaan, karena jika terjadi kerusakan yang memerlukan penggantian part akan mudah dilakukan dan waktu perbaikan akan relatif singkat.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan, pengolahan dan analisa data yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sesuai dengan tujuan penelitian.

Analisa FMEA

Berikut adalah hasil 13 risiko kegagalan operasi yang didiskusikan oleh tim FMEA dengan nilai RPN masing-masing yaitu:

1. Catu daya magnet pemegang tidak berfungsi dengan nilai RPN 160 yang menyebabkan magnet pemegang tidak bisa berfungsi pada sistem *drive unit*, yang disebabkan oleh relay kontaktor penyusun tidak berfungsi.
2. Catu daya magnet pemegang tidak berfungsi dengan nilai RPN 200 yang menyebabkan magnet pemegang tidak bisa berfungsi pada sistem *drive unit*, yang disebabkan oleh kenaikan atau penurunan ekstrim parameter RPS.
3. Unit penggerak *drive unit* tidak berfungsi dengan nilai RPN 200 yang menyebabkan batang kendali tidak dapat bergerak pada sistem *drive unit*, yang disebabkan oleh motor penggerak tidak berfungsi.
4. Elektrik dan instrumen *drive unit* gagal beroperasi dengan nilai RPN 72 yang menyebabkan magnet pemegang tidak bisa berfungsi pada sistem *drive unit*, yang disebabkan oleh kabel penghubung short.
5. Elektrik dan instrumen *drive unit* gagal beroperasi dengan nilai RPN 96 yang menyebabkan magnet pemegang tidak bisa berfungsi pada sistem *drive unit*, yang disebabkan oleh koil pada magnet gagal berfungsi.
6. Elektrik dan instrumen *drive unit* gagal beroperasi dengan nilai RPN 160 yang menyebabkan magnet pemegang tidak bisa berfungsi pada sistem *drive unit*, yang disebabkan oleh *drive unit module failure*.
7. Elektrik dan instrumen *drive unit* gagal beroperasi dengan nilai RPN 48 yang menyebabkan magnet pemegang tidak bisa berfungsi pada sistem *drive unit*, yang disebabkan oleh konektor kabel gagal berfungsi.

8. Kabinet RPS tidak berfungsi dengan nilai RPN 63 yang memberikan sinyal pemutus catu daya pada magnet pemegang pada sistem proses reaktor, yang disebabkan oleh short sirkuit pada kabel dikabinet.
9. Kabinet RPS tidak berfungsi dengan nilai RPN 63 yang memberikan sinyal pemutus catu daya pada magnet pemegang pada sistem proses reaktor, yang disebabkan oleh kegagalan module elektronik kabinet.
10. Kabinet RPS tidak berfungsi dengan nilai RPN 63 yang memberikan sinyal pemutus catu daya pada magnet pemegang pada sistem proses reaktor, yang disebabkan oleh kegagalan sistem kabinet.
11. Parameter RPS melewati harga batas dengan nilai RPN 128 yang memutuskan supply catu daya pada magnet pada sistem proses reaktor, yang disebabkan oleh kenaikan atau penurunan ekstrim parameter RPS.
12. Pompa primer mati dengan nilai RPN 160 yang menyebabkan tekanan, flow, level drop, temperatur high pada sistem proses reaktor yang disebabkan oleh instrumen/elektrik short, bearing panas dan motor mati.
13. Pompa sekunder mati dengan nilai RPN 160 yang menyebabkan tekanan, flow, level drop, temperatur high pada sistem proses reaktor yang disebabkan oleh instrumen/elektrik short, bearing panas dan motor mati.

Analisa FTA

- Catu daya magnet pemegang tidak berfungsi

Ada 7 cut sets yang menyebabkan *top event* terjadi yaitu *life time machine/equipment*, relay kontaktor penyusun tidak berfungsi, koil pada magnet tidak berfungsi, kenaikan/penurunan ekstrim parameter RPS, kurang informasi kegagalan alat dilapangan dan kurang pengetahuan tentang alat, kurang pengalaman, overload beban kerja.

- Unit penggerak drive unit tidak berfungsi

Ada 6 cut sets yang menyebabkan *top event* terjadi yaitu *life time machine/equipment*, motor penggerak tidak berfungsi, koil pada magnet tidak berfungsi, kurang informasi kegagalan alat dilapangan dan kurang pengetahuan tentang alat, kurang pengalaman, overload beban kerja.

- Elektrik dan instrumen drive unit gagal beroperasi

Ada 7 cut sets yang menyebabkan *top event* terjadi yaitu *life time machine/equipment*, kabel penghubung short, drive unit module failure, relay dan konektor kabel tidak berfungsi, kurang informasi kegagalan alat dilapangan dan kurang pengetahuan tentang alat, kurang pengalaman, overload beban kerja.

- Pompa primer mati

Ada 5 cut sets yang menyebabkan *top event* terjadi yaitu *life time machine/equipment*, *overload machine*, *electric and instrument failure*, kurang informasi kegagalan alat dilapangan dan kurang pengetahuan tentang alat.

5.2 Saran

Dari hasil pengolahan data, analisa dan kesimpulan yang dilakukan kemudian penulis memberikan saran dan masukan. Dimana untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisa dari berbagai aspek yang terkait dengan sistem reaktor untuk mencapai tujuan akhir penelitian yang lebih kompleks, dengan melibatkan semua faktor dan kegagalan yang ada.

Saran dan masukan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Penelitian dapat dilakukan dengan *probabilistic safety assessment/analysis* (PSA) yang menganalisa dari lingkup yaitu:
 - a. Level 1
Probabilitas/frekuensi kerusakan teras
 - b. Level 2
Frekuensi lepasan produk fisi dari penyungkup ke lingkungan
 - c. Level 3
Resiko terhadap individual dan sosial (masyarakat)
2. Penelitian juga dapat melibatkan faktor keselamatan/dampak keselamatan dari kegagalan sistem yang ada.

DAFTAR REFERENSI

- Bluvband, Zigmund,. & Grabov, Pavel. *Failure Analysis of FMEA*. ALD Ltd.
- Bluvband, Zigmund,. Nakar, Oren,. & Grabov, Pavel. *Expanded FMEA (EFMEA)*. ALD Ltd,. Motorola Ltd.
- Cheng, Guangxu., Zhang, Yaoheng., & Liu, Yajie. (2005). *Reliability Analysis Techniques Based On FTA For Reactor-Regenerator System*. Beijing, China. International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology.
- Chin, Kwai Sang,. Wang, Ying Ming,. Poon, Gary Ka Kwai,. & Yang, Jian Bo. *Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach*. May 14, 2008. www.elsevier.com/locate/cor.
- Corder, A., & Kusnul. (1992). *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Jakarta: Erlangga.
- Dizdar, N. (2003). *Fault Tree Analysis For System Reliability*. Turkey: Karabuk Technical Education Faculty.
- Mann, Lawrence. (1978). *Maintenance Management*. Toronto: Lexington Books
- Rausand, Marvin. *System Analysis Fault Tree Analysis*. October 7, 2005. Department of Production and Quality Engineering Norwegian University of Science and Technology.
- Regan, S. (2003). *Risk Management Implementation and Analysis*. AACE International Transactions, 2003, hal 10.
- Rotaru, Ana, Eng. (2008). *Total Productive Maintenance Overview*. University Of Pitesti

Stamatis, D. H. *Failure Mode and Effect Analysis*. FMEA from Theory to Execution.

Sunarlim, Monika. (2001). *Perancangan Program Pemeliharaan Mesin Produksi dalam Upaya Penerapan Preventive Maintenance (PM) di PT. Schering Indonesia*. Depok: Skripsi Teknik Industri Universitas Indonesia.





KUISIONER PENELITIAN SISTEM MANAJEMEN PEMELIHARAAN REAKTOR RSG-GAS

PENGANTAR

Sebelumnya kami mengucapkan terimakasih atas kesediaan Bapak/Ibu untuk mengisi kuesioner ini. Suatu kehormatan bagi kami untuk dapat mengikutsertakan Bapak/Ibu dalam penelitian ini sebagai wakil dari Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN. Adapun penelitian ini ditujukan untuk menemukan dan menganalisa resiko kegagalan pada manajemen pemeliharaan Reaktor riset.

Jawaban Bapak/Ibu nantinya merupakan acuan bagi kami untuk menganalisa dan menentukan resiko kegagalan yang terjadi dalam pemeliharaan sistem reaktor pada umumnya. Untuk itu bantuan Bapak/Ibu berupa jawaban yang tepat & sesuai sangat kami harapkan.

Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi untuk meningkatkan sistem manajemen pemeliharaan di Reaktor serba guna BATAN. Atas perhatian dan kerjasama Bapak/Ibu kami mengucapkan terima kasih.

Hormat kami,
Peneliti

Rano Saputra Martas
(NPM: 0706201222)

Lampiran 1

DAFTAR PERTANYAAN

1. Data responder

1. Jenis kelamin

Pria	
Wanita	

2. Jabatan anda sekarang di PRSG-BATAN:

3. Latar belakang pendidikan

	Di atas S1(S2, S3)
	Tingkat S1
	Tingkat D3
	Tingkat SMA/STM
	Tingkat SMP

4. Berapa lama anda bekerja di PRSG-BATAN

	1-5 tahun
	6-10 tahun
	11-15 tahun
	16-20 tahun
	>20 tahun

2. Kondisi umum mesin

5. Bagaimana kondisi mesin saat ini secara umum

	Sangat baik
	Baik
	Kurang
	Sangat kurang

6. Berapa lama waktu yang diperlukan untuk mempersiapkan mesin sebelum beroperasi

	<0,5 jam
	0,5-1 jam
	1-2 jam
	>2 jam

7. Berapa kali umumnya terjadi kerusakan mesin dalam waktu 1 bulan

	<5
	6 – 10
	11 – 15
	16 – 20
	>20

8. Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kerusakan minor

	<1 jam
	1 - 2 jam
	2 – 3 jam
	>3 jam

Lampiran 1

9. Berapa lama waktu yang diperlukan untuk memperbaiki breakdown (mesin tidak bekerja sama sekali) hingga tidak bisa beroperasi

<input type="checkbox"/>	<1 hari
<input type="checkbox"/>	1 – 3 hari
<input type="checkbox"/>	4 – 5 hari
<input type="checkbox"/>	>5 hari

10. Apa yang sering menjadi penyebab mesin rusak

<input type="checkbox"/>	Operator salah melakukan prosedur operasi
<input type="checkbox"/>	Lingkungan tidak sesuai dengan karakteristik mesin
<input type="checkbox"/>	Overload dalam produksi
<input type="checkbox"/>	Mesin tidak dirawat (tidak ada penggantian spare part, pelumasan dll)
<input type="checkbox"/>	Lain-lain...

11. Apakah bagian elektrik mesin sering mengalami gangguan saat beroperasi

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

3. Operator

12. Apakah operator mengerti cara mengecek/memeriksa kondisi mesin

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

13. Apakah operator mengerti cara membongkar dan memasang mesin

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

14. Apakah operator mengerti cara memperbaiki kerusakan mesin

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

15. Apakah perusahaan pernah mengadakan pelatihan untuk operator

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

4. Manajemen pemeliharaan

16. Apakah sudah ada jadwal pemeliharaan untuk mesin secara umum

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

17. Apakah jadwal tersebut dilaksanakan sesuai waktunya

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

18. Apakah selama ini pekerjaan pemeliharaan dilaksanakan sepenuhnya oleh teknisi

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

Lampiran 1

19. Apakah seluruh teknisi siap sedia untuk memperbaiki mesin

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

20. Apakah teknisi memperoleh pelatihan mengenai pemeliharaan mesin

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

21. Apakah teknisi mempunyai job description yang jelas dalam pemeliharaan

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

22. Apakah ada prosedur yang harus dilalui teknisi sebelum melakukan perbaikan

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

23. Apakah suku cadang senantiasa tersedia dalam pemeliharaan

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

24. Apakah pemeliharaan yang sekarang sudah cukup memadai

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

25. Berapakah total waktu terbaik untuk melakukan pemeliharaan mesin dalam sehari

<input type="checkbox"/>	<1 jam
<input type="checkbox"/>	1-2 jam
<input type="checkbox"/>	2-3 jam
<input type="checkbox"/>	>3 jam

26. Apakah anda pernah mendengar TPM

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

27. Menurut anda perlukah PRSG-BATAN menerapkan TPM

<input type="checkbox"/>	Ya
<input type="checkbox"/>	Tidak

Lampiran 1

Proses: sistem scram reaktor RSG-GAS BATAN
 FMEA tim: Yusi eko, Santosa, Kiswanto, Cahyana
 Team leader: Rano Saputra

Lampiran 2

Alat dan Fungsi	Mode kegagalan	Efek dari kegagalan	Severity	Penyebab kegagalan	Occurance	Kontrol yang dilakukan	Detection	RPN	Rekomendasi tindakan
Drive unit	Catu daya magnet pemegang tidak berfungsi	Magnet pemegang tidak bisa berfungsi	8	1. relay kontaktor penyusun tidak berfungsi	5	replace relay kontaktor, trouble shooting	4	160	melakukan pengecekan secara berkala
Drive unit	Catu daya magnet pemegang tidak berfungsi	Magnet pemegang tidak bisa berfungsi	8	2. kenaikan/penurunan ekstrim parameter RPS	5	trouble shooting	5	200	setting parameter dan uji fungsi sebelum operasi
Drive unit	Unit penggerak drive unit tidak berfungsi	batang kendali tidak dapat bergerak	8	Motor penggerak tidak berfungsi	5	perbaiki motor penggerak	5	200	pengecekan dan uji fungsi motor penggerak batang kendali

Proses: sistem scram reaktor RSG-GAS BATAN
 FMEA tim: Yusi eko, Santosa, Kiswanto, Cahyana
 Team leader: Rano Saputra

Lampiran 2

Alat dan Fungsi	Mode kegagalan	Efek dari kegagalan	Severity	Penyebab kegagalan	Occurance	Kontrol yang dilakukan	Detection	RPN	Rekomendasi tindakan
Drive unit	Electric and instrument drive unit gagal beroperasi	Magnet pemegang tidak bisa berfungsi	8	1. kabel perhubung short	3	trouble shooting, pengecekan	3	72	
Drive unit	Electric and instrument drive unit gagal beroperasi	Magnet pemegang tidak bisa berfungsi	8	2. koil pada magnet gagal berfungsi	4	trouble shooting, pengecekan	3	96	
Drive unit	Electric and instrument drive unit gagal beroperasi	Magnet pemegang tidak bisa berfungsi	8	3. drive unit module failure	4	change drive unit module	5	160	Uji fungsi dan pengecekan berkala
Drive unit	Electric and instrument drive unit gagal beroperasi	Magnet pemegang tidak bisa berfungsi	8	4. konektor kabel gagal berfungsi	2	replace connector and uji fungsi	3	48	

Proses: sistem scram reaktor RSG-GAS BATAN
 FMEA tim: Yusi eko, Santosa, Kiswanto, Cahyana
 Team leader: Rano Saputra

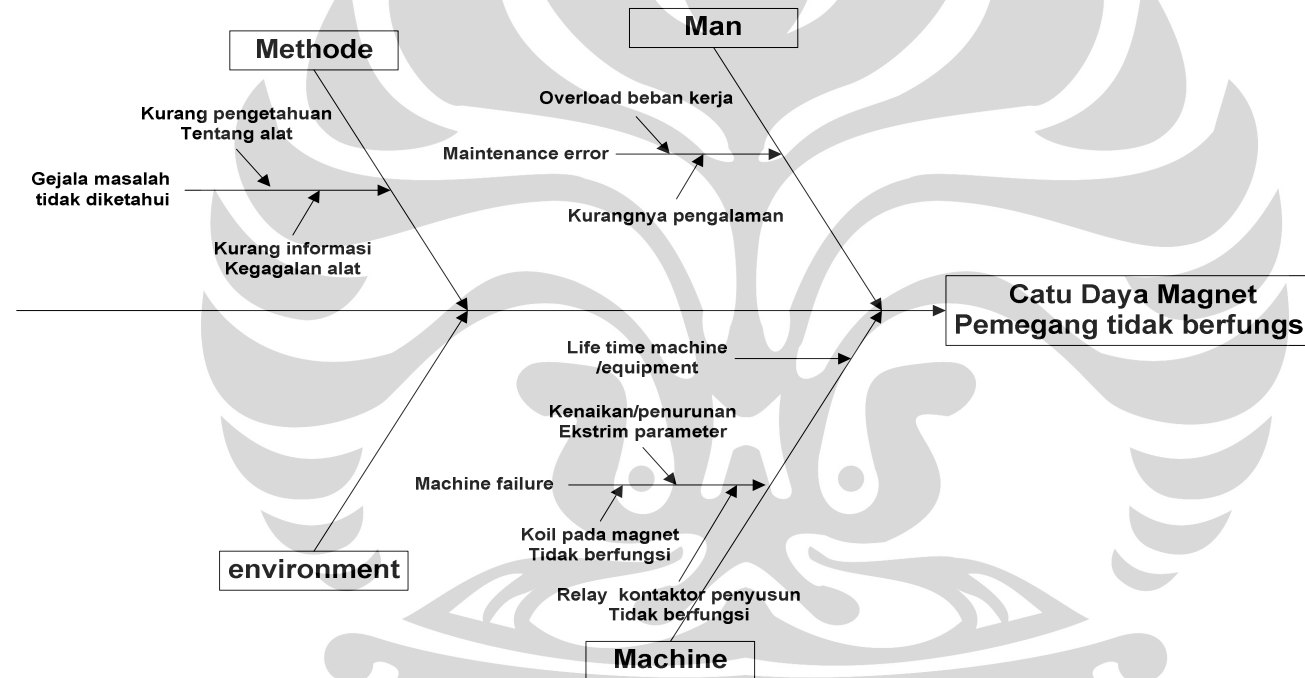
Lampiran 2

Alat dan Fungsi	Mode kegagalan	Efek dari kegagalan	Severity	Penyebab kegagalan	Occurance	Kontrol yang dilakukan	Detection	RPN	Rekomendasi tindakan
Reactor protection system	Kabinet RPS tidak berfungsi	memberikan sinyal pemutus catu daya pada magnet pemegang	7	1. short circuit pada kabel dikabinet	3	trouble shooting, uji fungsi	3	63	
Reactor protection system	Kabinet RPS tidak berfungsi	memberikan sinyal pemutus catu daya pada magnet pemegang	7	2. kegagalan module elektronik pada kabinet	3	replace module and trouble shooting	3	63	
Reactor protection system	Kabinet RPS tidak berfungsi	memberikan sinyal pemutus catu daya pada magnet pemegang	7	3. kegagalan pada sistem kabinet	3	trouble shooting	3	63	

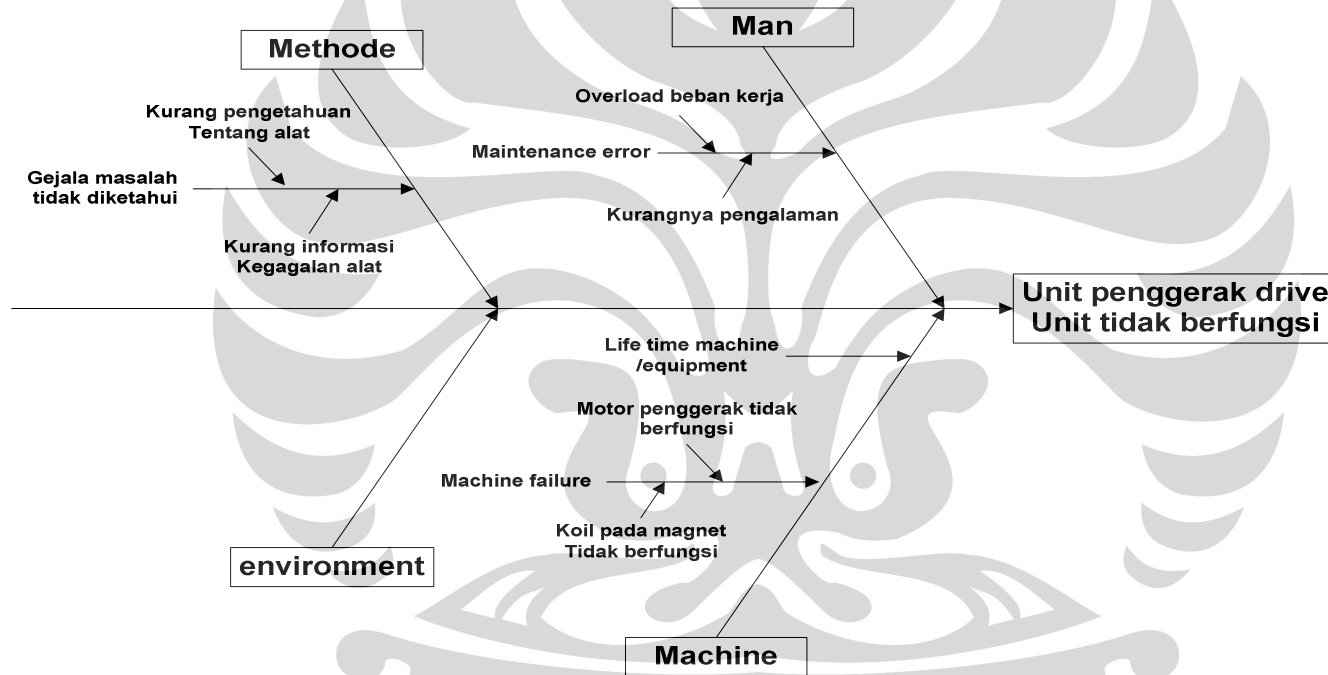
Proses: sistem scram reaktor RSG-GAS BATAN
 FMEA tim: Yusi eko, Santosa, Kiswanto, Cahyana
 Team leader: Rano Saputra

Lampiran 2

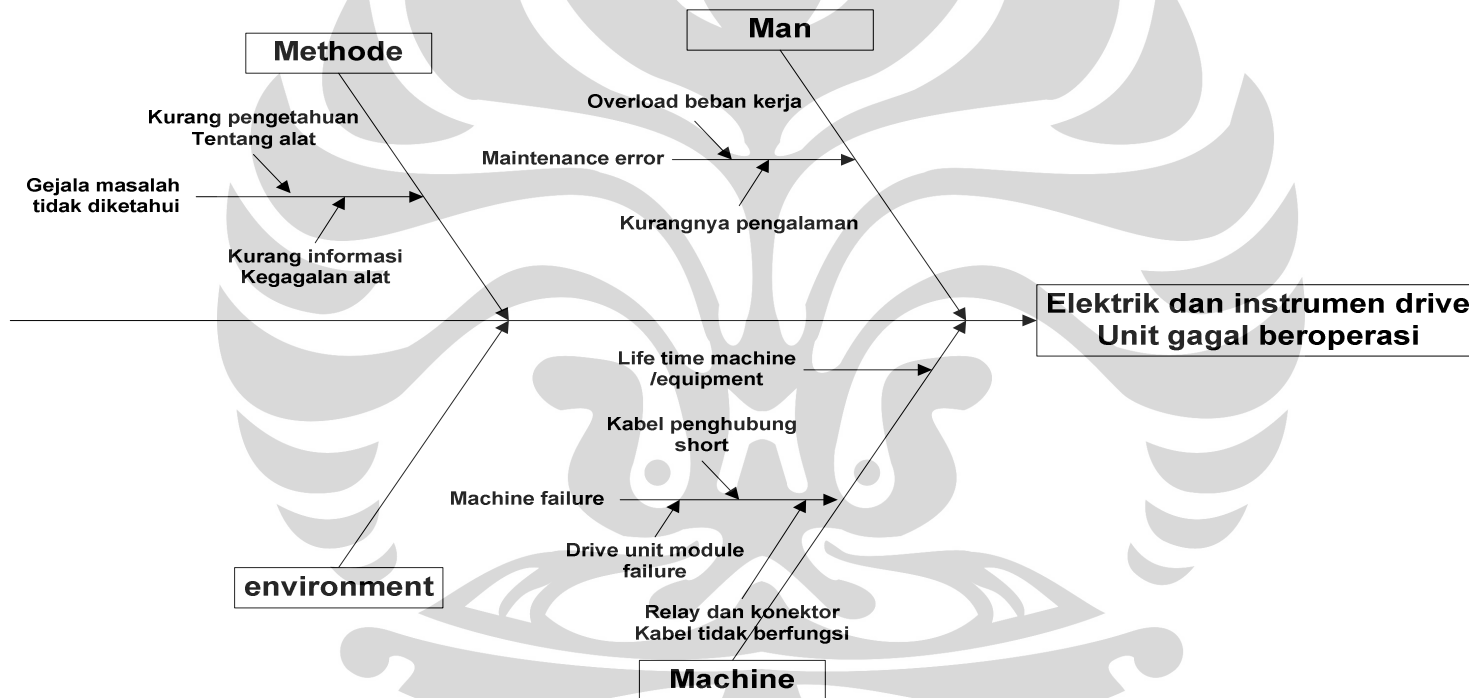
Alat dan Fungsi	Mode kegagalan	Efek dari kegagalan	Severity	Penyebab kegagalan	Occurance	Kontrol yang dilakukan	Detection	RPN	Rekomendasi tindakan
Reactor protection system	Parameter RPS melewati harga batas (failure)	Memutuskan supply catu daya pada magnet	8	kenaikan/penurunan ekstrim parameter RPS	4	uji fungsi dan simulasi setiap jalur parameter	4	128	
Reactor process system failure	Pompa primer mati	Tekanan, flow, level drop, temp high memberikan sinyal scram pada RPS	8	instrument, elektrik short, bearing panas, motor mati	4	pengecekan dan uji fungsi sebelum operasi	5	160	Uji fungsi dan pengecekan berkala
Reactor process system failure	Pompa sekunder mati	Tekanan, flow, level drop, temp high memberikan sinyal scram pada RPS	8	instrument, elektrik short, bearing panas, motor mati	4	pengecekan dan uji fungsi sebelum operasi	5	160	



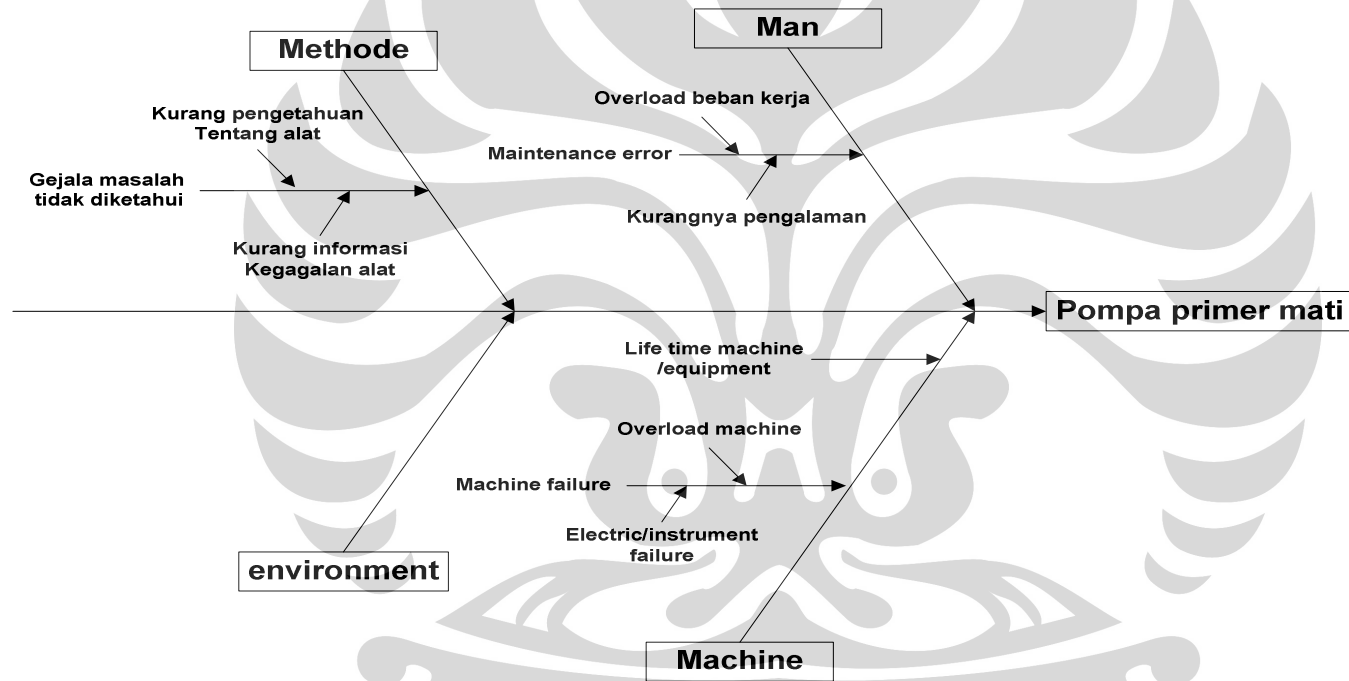
Fishbone Diagram



Fishbone Diagram



Fishbone Diagram



Fishbone Diagram