



TESIS - BM185407

**PENINGKATAN SISTEM MANAJEMEN
PEMELIHARAAN OVERHAUL BERDASARKAN
ANALISA KEGAGALAN OPERASI SISTEM
PEMBANGKIT DENGAN MENGGUNAKAN METODE
FMEA**

**IKA SYARAH FIRMANSYAH
09211650015034**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Suparno MSIE.**

**Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Thesis ini dengan judul “PENINGKATAN SISTEM MANAJEMEN PEMELIHARAAN OVERHAUL BERDASARKAN ANALISA KEGAGALAN OPERASI SISTEM PEMBANGKIT DENGAN MENGGUNAKAN METODE FMEA”

Thesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Manajemen Teknologi pada Jurusan Manajemen Industri MMT-ITS.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Segenap keluarga, tercinta yang telah memberikan dukungan dan doanya kepada penulis untuk menyelesaikan thesis.
2. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Pujawan., M.Eng., Ph.D., CSCP sebagai kepala Departemen MMT-ITS
3. Bapak Prof. Ir. Suparno, MSIE, PhD selaku dosen pembimbing thesis yang telah memberikan banyak arahan dan bimbingannya dalam pengerjaan thesis ini.
4. Bapak Prof. Ir. Moses Laksono Singgih M.Sc Ph.D selaku dosen penguji thesis yang telah memberikan banyak arahan dan bimbingannya dalam pengerjaan thesis ini.
5. Bapak Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, M.Sc. selaku dosen penguji thesis yang telah memberikan banyak arahan dan bimbingannya dalam pengerjaan thesis ini.
6. Teman – teman angkatan Manajemen Industri yang telah banyak membantu dari proses perkuliahan sampai penyelesaian thesis.
7. Seluruh keluarga besar MMT - ITS, para dosen pengajar, karyawan, dan mahasiswa yang telah banyak memberi ilmu dan bantuan selama penulis menempuh kuliah.

Penulis menyadari bahwa Thesis ini belum sempurna, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Semoga Thesis ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

IKA SYARAH FIRMANSYAH

NRP: 09211650015034

Tanggal Ujian: 6 Agustus 2020

Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE.
NIP: 1948201931099



.....

Penguji:

1. Prof. Ir. Moses Laksono Singgih, M.Sc., M.Reg.Sc., Ph.D.
NIP: 195908171987031002



.....

2. Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, M.Sc.
NIP: 195904301989031001



.....



Kepala Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital

Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP
NIP: 196912311994121076

PENINGKATAN SISTEM MANAJEMEN PEMELIHARAAN OVERHAUL BERDASARKAN ANALISA KEGAGALAN OPERASI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK DENGAN MENGUNAKAN METODE FMEA

Nama : Ika Syarah Firmansyah
NRP : 09211650015034
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Suparno MSIE

ABSTRAK

Kegagalan dalam pengoperasian pembangkit diakibatkan oleh salah satu/lebih fungsi sistem pembangkit berkurang keandalannya atau mengalami kegagalan dalam memenuhi fungsinya. Jika ketidakhandalan terjadi pada sistem operasi dan keselamatan, maka dapat berdampak risiko bagi kegagalan pengoperasian pembangkit. Oleh karena itu, diperlukan analisis risiko kegagalan untuk mengidentifikasi, mengontrol dan meminimalkan dampak dari kegagalan operasi tersebut.

Penelitian ini bertujuan pada pengembangan FMEA dan digunakan untuk menganalisis akar penyebab terjadinya kegagalan dan diagram pareto untuk menunjukkan kegagalan teridentifikasi yang paling kritis untuk segera dilakukan tindakan perbaikan. Sedangkan metode *fault tree analysis* (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.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada proses pemeliharaan overhaul pembangkit terdapat beberapa gangguan peralatan. Untuk setiap gangguan peralatan yang teridentifikasi (*failure mode*) telah dianalisis menggunakan FMEA. Untuk memudahkan penilaian pada gangguan peralatan yang teridentifikasi dilakukan oleh responden dari pihak management dan para ahli pembangkit pada bidangnya melalui wawancara langsung yang akan menghasilkan *risk priority number* (RPN), dimana nilai tertinggi pada HP TBV HRSG gagal beroperasi sebesar 210, pompa HP BFP mati sebesar 196, pompa BCP Vibrasi tinggi 192. Sedangkan setelah akar penyebab terjadinya potential failure mode telah diketahui, maka akan dianalisis dengan *fault tree analysis* (FTA).

Kata kunci : Manajemen risiko, Analisis risiko, FMEA, FTA

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

IMPROVEMENT OF OVERHAUL MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM BASED ON FAILURE ANALYSIS OF OPERATION SYSTEM USING FMEA METHOD

Name : Ika Syarah Firmansyah
NRP : 09211650015034
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Suparno MSIE

ABSTRACT

Failure in the operation of the generator is caused by one / more function of the generating system having reduced reliability or experiencing failure to fulfill its function. If unreliability occurs in the operating and safety systems, it can have an impact on the risk of failure of plant operation. Therefore, a failure risk analysis is required to identify, control and minimize the impact of the operation failure.

This study aims at developing FMEA and is used to analyze the root causes of failure and a Pareto diagram to show the most critical failures identified for immediate corrective action. Meanwhile, the fault tree analysis (FTA) method analyzes system failures from a combination of several systems, the levels below and component failures. The results achieved are priority failures based on the largest RPN value, which is then carried out for recommendations for handling them.

The results of this study indicate that in the maintenance process of the generator overhaul there are several equipment disturbances. For each identified equipment fault (failure mode) was analyzed using FMEA. To facilitate the assessment of identified equipment disturbances, it was carried out by respondents from management and generator experts in their fields through direct interviews which would result in a risk priority number (RPN), where the highest value on HP TBV HRSG failed to operate by 210, HP BFP pumps died by 196, high vibration BCP pump 192. Meanwhile, after the root cause of the potential failure mode has been identified, it will be analyzed with a fault tree analysis (FTA).

Keywords: Risk management, Risk analysis, FMEA, FTA

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	III
ABSTRAK	V
ABSTRACT	VII
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR GAMBAR	XIII
DAFTAR TABEL	XV
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 MANFAAT PENELITIAN.....	5
1.5 BATASAN DAN ASUMSI PENELITIAN	5
1.6 SISTEMATIKA PENELITIAN	5
BAB 2	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 PEMBANGKIT LISTRIK	7
2.1.1 Bagian Pembangkit Uap dan Gas.....	7
2.2 TEORI MANAJEMEN PEMELIHARAAN	9
2.2.1 Definisi Manajemen Pemeliharaan	9
2.2.2 Tujuan Pemeliharaan.....	10
2.2.3 Fungsi Pemeliharaan	10
2.2.4 Jenis Pemeliharaan	11
2.2.5 Kendala Dalam Manajemen Pemeliharaan	12
2.3 RISIKO.....	14

2.3.1	Definisi Risiko.....	14
2.3.2	Klasifikasi Risiko	16
2.4	ENAM KRITERIA UTAMA (<i>SIX BIG LOSSES</i>).....	18
2.5	FMEA (<i>FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS</i>).....	20
2.5.1	Sejarah FMEA	20
2.5.2	Definisi FMEA	21
2.5.3	Jenis FMEA	22
2.5.4	Prosedur FMEA.....	23
2.5.5	Hasil Keluaran FMEA	28
2.6	FTA (<i>FAULT TREE ANALYSIS</i>).....	29
2.6.1	Sejarah dan Definisi FTA.....	29
2.6.2	Prosedur <i>Fault Tree Analysis</i>	31
2.6.3	Analisa Kuantitatif FTA.....	32
2.7	PENELITIAN TERDAHULU.....	33
BAB 3	.....	37
METODOLOGI PENELITIAN	.....	37
3.1	TAHAP PENELITIAN AWAL	37
3.2	TAHAP PENGUMPULAN DATA.....	39
3.3	TAHAP PENGOLAHAN DATA	39
3.3.1	Analisa Risiko	39
3.4	TAHAP ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	41
3.5	TAHAP KESIMPULAN DAN SARAN.....	41
BAB 4	.....	43
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	43
4.1	PENGUMPULAN DATA.....	43
4.1.1	Pembelajaran Fungsi Dan Struktur Sistem Pembangkit.....	43
4.1.2	Mencari dan Mengumpulkan Data Historis Tentang Kegagalan Sistem Pembangkit dan Brainstorming Untuk Mengumpulkan Informasi Mengenai Kegagalan Yang Belum Ter-record Sebelumnya	50

4.1.3	Pengolahan Data FMEA	54
4.2	ANALISA DATA FMEA	59
4.2.1	Menentukan Rating Tiap Modus-Modus Kesalahan atau Kegagalan.....	59
4.2.2	Menghitung Nilai Prioritas Risiko dari Tiap Efek (RPN)	59
4.2.3	Peringkat RPN dan Memprioritaskan Risiko Kegagalan Untuk Mengambil Tindakan	60
4.2.4	Usulan Tindakan Pengurangan Modus Kegagalan Yang Berisiko Tinggi	63
4.3	ANALISA RESIKO TIAP KEGAGALAN DENGAN <i>FAILURE TREE ANALYSIS</i> (FTA)	65
4.3.1	FTA Pada HP TBV HRSG gagal beroperasi	66
4.3.2	FTA Pada Pompa HP BFP mati	67
4.3.3	FTA Pada Pompa BCP Vibrasi tinggi.....	67
BAB 5	.....	69
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	69
5.1	KESIMPULAN.....	69
5.2	SARAN.....	70
DAFTAR PUSTAKA	.....	71
LAMPIRAN	.....	73

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Perbandingan Target dan Realisasi <i>WorkOrder Warranty</i>	2
Gambar 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah	4
Gambar 2.1 Siklus PLTGU	8
Gambar 2.2 Kurva Risiko	15
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	38
Gambar 3.2 Tahapan manajemen risiko menurut AS/NZS 4360:2004	41
Gambar 4.1 Cara kerja PLTGU	44
Gambar 4.2 Siklus Terbuka (PLTGU)	44
Gambar 4.3. Diagram Alir GTG Gresik (Siklus Terbuka).....	47
Gambar 4.4 Sistem HRSG	49
Gambar 4.5 Diagram Pareto Kegagalan.....	54
Gambar 4.6 Diagram CFME Sistem Pembangkit Unit Gresik	57
Gambar 4.7 FMEA <i>priority matrix</i>	62
Gambar 4.8 <i>Logic expression</i> HP TBV HRSG gagal beroperasi	66
Gambar 4.9 <i>Logic expression</i> Pompa HP BFP mati	67
Gambar 4.10 <i>Logic expression</i> Pompa BCP Vibrasi tinggi.....	67

(Halaman Ini Sengaja Dikосongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Pembangkit yang ada di Gresik, Jawa Timur	2
Tabel 2.1. Enam Kategori Kerugian Utama.....	19
Tabel 2.2. Contoh Form FMEA	28
Tabel 2.3. Simbol yang digunakan Dalam FTA	30
Tabel 2.4. Keuntungan dan Kerugian FTA.....	31
Tabel 2.5. Perbandingan dengan penelitian terdahulu	41
Tabel 4.1. Tahun 2014	51
Tabel 4.2. Tahun 2015	51
Tabel 4.3. Tahun 2016	52
Tabel 4.4. Tahun 2017	52
Tabel 4.5. Tahun 2018	53
Tabel 4.6 Rekapitulasi Kegagalan Operasi Pembangkit Gresik	53
Tabel 4.7 Rekapitulasi Data Kegagalan Operasi Pembangkit Gresik.....	54
Tabel 4.8. Daftar Anggota Tim <i>Brainstorming</i>	55
Tabel 4.9. Form FMEA Sistem Pembangkit PT. PJB UP Gresik	56
Tabel 4.10. Rating Keseriusan (<i>Severity</i>).....	57
Tabel 4.11. Rating Frekuensi Kejadian (<i>Occurrence</i>)	58
Tabel 4.12. Rating Deteksi.....	59
Tabel 4.13. FMEA Daftar kegagalan	60
Tabel 4.14. Daftar Resiko Kegagalan dengan Nilai RPN Tertinggi	61
Tabel 4.15. Tindakan Rekomendasi Resiko Kegagalan RPN Tertinggi.....	64

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

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. Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting dan vital yang tidak dapat dilepaskan dari keperluan sehari-hari. Kekurangan energi listrik dapat mengganggu aktivitas manusia. Oleh sebab itu kesinambungan dan ketersediaan energi listrik harus dipertahankan. Maka daripada itu PT Pembangkitan Jawa Bali (PJB) sebagai perusahaan pembangkitan listrik dan anak perusahaan dari PT PLN bergerak di bidang pembangkitan listrik, operasi, perawatan, dan bisnis lainnya terkait kelistrikan nasional. PJB memiliki segmen usaha utama sebagai penyedia tenaga listrik melalui 9 (sembilan) Unit Pembangkitan (UP) dan Unit Jasa Pemeliharaan Pembangkit (UPHAR) di Indonesia.

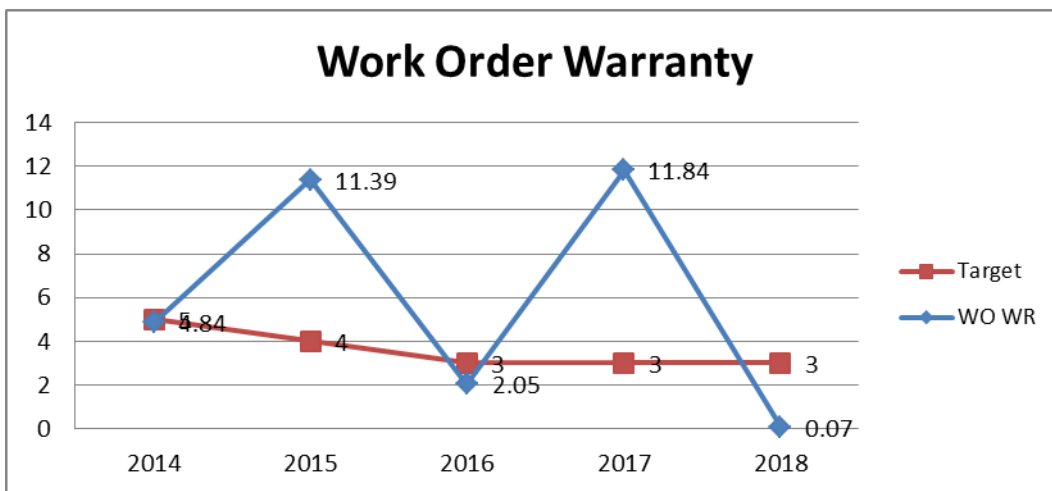
Melihat banyaknya kebutuhan listrik indonesia, maka perlu menjaga kehandalan unit pembangkit yang dioperasikan. Pemanfaatan energi listrik sudah banyak dilakukan diberbagai daerah misalnya pengoperasian pembangkit di Gresik yang ditujukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik area jawa timur dan sekitarnya. Di Indonesia energi listrik dimanfaatkan untuk kepentingan dalam bidang pendidikan, rumah tangga, teknologi dan berbagai litbang lain dalam bidang industri. Hal ini ditandai dengan adanya 3 jenis pembangkit yang saat ini masih berdiri di Gresik.

Tabel 1.1. Pembangkit yang ada di Gresik, Jawa Timur

No	Nama Pembangkit	Daya (MW)	Status	Tahun Operasi	Tahun Shutdown
1	PLTG	2x20	Shutdown	1978	2018
2	PLTU	4x100	Shutdown	1986	2019
3	PLTGU	3x500	Operasi	1994	-

(Sumber: www.ptjib.com)

Berdasarkan data tabel diatas, PT. PJB UP Gresik memiliki beberapa macam jenis pembangkit dan variasi kapasitas daya yang dioperasikan. Merujuk data tersebut, Unit Gresik menunjukkan menurunnya eksistensi pembangkit yang dimiliki PT. PJB di Gresik. Dan bertolak belakang dengan banyaknya kebutuhan listrik indonesia. Pembangkit PT. PJB sendiri mulai satu persatu di *shutdown* (dimatikan total) dengan alasan efisiensi pembangkit yang menurun dikarenakan menurunnya performa peralatan dalam pembangkitnya. Menurunnya performa pengoperasian pembangkit diakibatkan oleh salah satu/lebih fungsi sistem pembangkit berkurang kehandalannya atau mengalami kegagalan dalam memenuhi fungsinya. Itu tampak dari data permintaan pekerjaan pemeliharaan yang masih banyak.



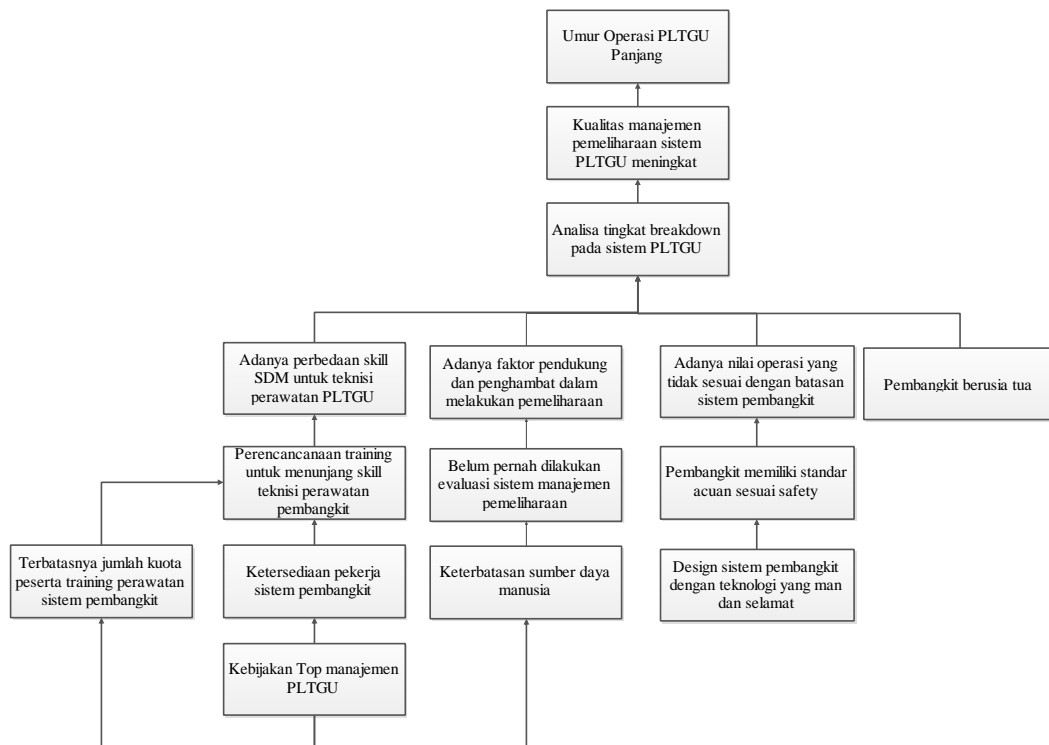
Gambar 1.1 Perbandingan Target dan Realisasi *WorkOrder Warranty*
(Sumber: PT. PJB)

Grafik diatas merupakan salah satu perbandingan persentase realisasi aktual dengan target maksimal pekerjaan *rework* (pekerjaan ulang) pemeliharaan pembangkit di PT.PJB Gresik pada durasi proyek overhaul 2014 sampai 2018. Data diatas menunjukkan adanya inefisiensi dalam hasil pekerjaan *maintenance* overhaul dalam pemeliharaan pembangkit di PT. PJB. Sehingga perlu dilakukan analisa aktivitas pemeliharaan pada kegiatan pemeliharaan di lapangan.

Kompleksnya kegiatan yang ada di pembangkitan dan keterbatasan manajemen perusahaan untuk melakukan monitoring disetiap aspek kegiatan pemeliharaan diperlukan adanya penelitian secara sistematis dan strategis untuk melihat tingkat produktivitas di perusahaan. Dengan meningkatkan produktivitas di perusahaan, maka juga akan meningkatkan profit perusahaan. Salah satu cara meningkatkan produktivitas perusahaan adalah dengan mengurangi pekerjaan *rework* pada kegiatan pemeliharaan. Pekerjaan *rework* adalah mengerjakan sesuatu paling tidak satu kali lebih banyak, yang disebabkan oleh ketidakcocokan dengan permintaan (Josephson dkk,2002).

Pekerjaan *rework* yang dilakukan secara terus menerus didalam pelayanan jasa akan mengakibatkan permasalahan besar pada proyek yaitu kualitas pelayanan yang tidak sesuai dengan *design plan*, waktu pengerjaan yang terlambat, dan kecelakaan kerja. Permasalahan-permasalahan tersebut akan mengakibatkan terhambatnya aktifitas proyek dan berakibat pada terlambatnya jadwal penyelesaian proyek.

Dari banyaknya permasalahan pembangkit, bisa buat diagram sederhana membantu memetakan hubungan antara semua kemungkinan penyebab masalah. Dari ini, bisa dapat mengidentifikasi penyebab paling signifikan, dan dapat menggunakannya untuk mengidentifikasi akar penyebab kemungkinan masalah.



Gambar 1.2. Diagram Keterkaitan Masalah

1.2 Perumusan Masalah

Dengan adanya risiko-risiko yang ditimbulkan oleh pekerjaan *rework*, maka dilakukan analisis untuk mendapatkan perencanaan penanganan risiko serta alternatif-alternatif untuk mengurangi risiko tersebut. Rumusan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Aktifitas apa yang memiliki persentase gangguan (*breakdown*) dominan didalam kegiatan pemeliharaan pembangkit?
2. Aktifitas apa yang memiliki prioritas penanganan risiko terbesar?
3. Apa alternatif penanganan risiko terbaik untuk perusahaan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Melakukan analisis pekerjaan *rework* setelah pemeliharaan overhaul pembangkit

2. Menemukan faktor-faktor kegagalan yang terjadi dalam pengoperasian sistem pembangkit
3. Menentukan alternatif penanganan risiko dalam pemeliharaan pembangkit

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat umum di Pembangkit Listrik antara lain:

1. Memberikan arah peningkatan pada manajemen pemeliharaan overhaul yang paling efektif dengan kualitas yang maksimal.
2. Meminimalisir kegagalan operasi pembangkit setelah pemeliharaan overhaul pembangkit.

1.5 Batasan dan Asumsi Penelitian

1.5.1 Batasan Penelitian

1. Membahas penanganan risiko untuk aktifitas *rework* dalam proyek pemeliharaan overhaul di PT.PJB UPHT.
2. Hanya menganalisa proses aktifitas pemeliharaan overhaul di PT. PJB UP Gresik
3. Analisa dilakukan pada pemeliharaan peralatan pembangkit di PT. PJB Gresik

1.5.2 Asumsi Permasalahan

1. Penilaian pekerjaan *rework* pada kegiatan pemeliharaan overhaul pembangkit yang dilakukan beberapa responden mewakili seluruh pekerja di perusahaan.
2. Proses aktifitas yang dilakukan pada setiap kegiatan pemeliharaan semua pembangkit dianggap sama.
3. Tidak ada perubahan teknik/ metode dalam proses pemeliharaan pembangkit di PT. PJB Gresik.

1.6 Sistematika Penelitian

Untuk memudahkan pengertian yang dibahas didalam penelitian ini, penulis membuat uraian penjelasan secara garis besar disetiap bab didalam penelitian ini, yaitu:

- BAB I PENDAHULUAN**
Membahas mengenai latar belakang pemilihan topik pada bidang jasa pemeliharaan pembangkit, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, asumsi penelitian dan sistematika penelitian.
- BAB II TINJAUAN PUSTAKA**
Berisi tentang landasan-landasan teori yang berkaitan dengan topik penyusunan penelitian ini. Didalamnya melingkupi teori-teori proses pemeliharaan pembangkit, manajemen risiko, manajemen pemeliharaan, dan metode dalam penilaian risiko.
- BAB III METODOLOGI PENELITIAN**
Membahas tentang metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan didalam penelitian ini. Dan juga berisi langkah-langkah penyelesaian permasalahan didalam penelitian ini.
- BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**
Membahas mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang digunakan dalam penelitian. Melakukan analisis terhadap hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Pada bagian ini juga menjelaskan alternatif-alternatif yang dapat digunakan untuk penanganan risiko di PT. PJB UPHT.
- BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**
Menjelaskan hasil dari penelitian yang dilakukan pada bab-bab sebelumnya yaitu menjelaskan hasil analisa terhadap tahap pemeliharaan yang memiliki nilai gangguan peralatan tertinggi dan alternatif yang dapat diterapkan PT. PJB Gresik dalam pencegahan risiko kegiatan pemeliharaan overhaul pembangkit.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik

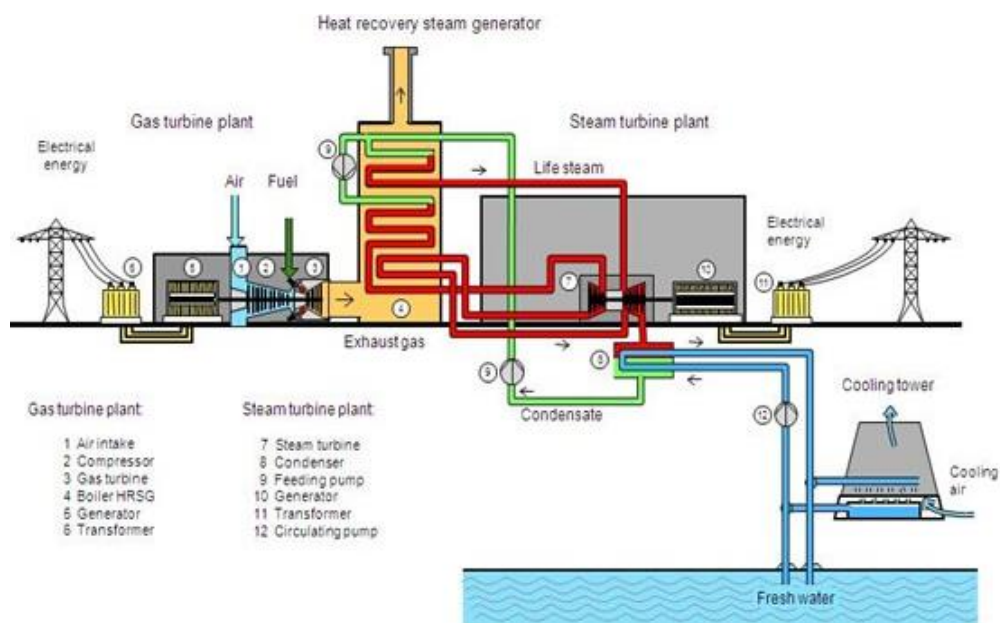
Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah pembangkit yang mengkonversi energi kinetik dari uap yang digunakan memutar turbin untuk menghasilkan energi listrik. PLTU adalah pembangkit yang menggunakan uap sebagai penggerak utama (*prime mover*) turbin yang terkopling dengan generator. Pembangkit merupakan alat yang mempunyai fungsi yang sangat penting dalam produktivitas di dalam suatu perusahaan pembangkit, dimana suatu produktivitas sangat bergantung pada kinerja operasi turbin, boiler dan pendukungnya. PT PJB mempunyai tugas sebagai produsen tenaga listrik untuk kepentingan massal, supaya supply tenaga listrik dapat memenuhi keperluan konsumen. Baik itu kebutuhan listrik pada perkantoran, industri, rumah tangga, sosial, bisnis, maupun penerangan massal.

PT. PJB berusaha agar peralatan pembangkit listrik tetap beroperasi dengan baik. Dengan mengurangi jumlah gangguan peralatan pembangkit listrik, maka akan meminimalisir turunnya pendapatan perusahaan. Dengan adanya gangguan yang diakibatkan padamnya arus serta berusaha menghindari kerusakan peralatan yang parah. Kelancaran dari proses produksi merupakan suatu hal utama yang harus dicapai. Salah satu fungsi yang memegang peranan utama dalam menjamin kehandalan pelaksanaan produksi listrik adalah perawatan peralatan dan fasilitas penunjang produksi lainnya seperti peralatan *supporting* produksi yang dipergunakan, oleh karena itu suatu perusahaan pembangkit harus selalu mengusahakan peralatan dan fasilitas pendukung dalam kondisi yang terbaik sehingga proses produksi listrik dapat berjalan dengan baik.

2.1.1 Bagian Pembangkit Uap dan Gas

Dalam industri pembangkitan saat ini, dilakukan usaha untuk menambah

efisiensi operasi turbin gas yaitu dengan cara menggabungkan siklus turbin gas dengan siklus proses sehingga diperoleh siklus gabungan yang biasa disebut dengan istilah “*Cogeneration*”. Sedangkan untuk meningkatkan efisiensi termal suatu turbin gas sebagai unit pembangkit listrik (PLTG), siklus operasi PLTG digabung dengan siklus PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) sehingga membentuk siklus gabungan yang disebut “*Combined Cycle*” atau Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU).



Gambar 2.1. Siklus PLTGU
(Sumber:PT.PJB, Mengenal Pembangkit Listrik)

Prinsip operasi PLTGU, bisa dikatakan sebagai siklus dasar turbin gas yang disebut siklus Brayton, yang pertama kali ditemukan pada tahun 1870 oleh George Brayton seorang insinyur dari Boston. Sekarang siklus Brayton digunakan hanya pada operasi turbin gas, yang merupakan awal mula dari PLTGU dengan proses kompresi dan ekspansi yang terjadi pada turbin yang berputar. John Barber telah mempatenkan dasar turbin gas pada tahun 1791. Dua penggunaan utama mesin turbin gas adalah pendorong pesawat terbang dan pembangkit tenaga listrik. Turbin gas digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik yang secara individu (*simple cycle*) atau penggabungan dengan turbin uap (*combined cycle*) pada sisi suhu tingginya. Turbin uap (*combined cycle*) memanfaatkan gas buang turbin gas

sebagai sumber panasnya untuk memanaskan *tube* yang berisi air untuk menghasilkan uap. Turbin uap dianggap sebagai mesin pembakaran luar (*external combustion*), dimana pembakaran terjadi diluar mesin. Energi termal dipindah ke uap sebagai panas.

Biasanya turbin gas beroperasi pada siklus terbuka. Udara bebas dialirkan ke kompresor, suhu dan tekanannya dinaikkan. Udara bertekanan terus mengalir ke ruang pembakaran dengan dicampur dengan bahan bakar gas yang dipantik dengan ignitor sebagai pemicu terbakarnya bahan bakar.

Gas panas yang dihasilkan masuk ke turbin, kemudian berekspansi ke tekanan udara luar melalui sudu-sudu nosel. Ekspansi ini menyebabkan sudu turbin berputar, yang kemudian memutar poros rotor generator berkumparan magnet, sehingga menghasilkan tegangan listrik dikumparan stator generator yang kemudian dialirkan ke trafo. Disisi lain gas buang (*exhaust gases*) yang meninggalkan turbin siklus terbuka tidak digunakan kembali, akan dibuang melalui *stack*.

2.2 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.

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{output (produk service)}}{\text{Input (sumber daya)}} \dots\dots\dots (2.1)$$

2.2.1 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.

2.2.2 Tujuan Pemeliharaan

Tujuan pemeliharaan secara umum adalah

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

2.2.3 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*).

2.2.4 Jenis Pemeliharaan

Jenis pemeliharaan terbagi 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 sesuai siklus operasi yang berulang. Contohnya pemeliharaan harian, mingguan atau berdasarkan jam operasi (*running hour*). Pemeliharaan rutin bertujuan untuk mencegah terjadinya gangguan peralatan dan mengurangi biaya perbaikan.

3. Pemeliharaan Korektif (*corrective maintenance*)

Pemeliharaan yang dilakukan untuk mengembalikan kondisi

peralatan yang sudah rusak dengan baik sehingga kondisi yang diharapkan dapat dipenuhi dengan baik. Tujuannya adalah agar terjadi peningkatan kehandalan peralatan.

4. Pemeliharaan Pencegahan (*preventive maintenance*)

Kegiatan pemeliharaan terencana yang dilaksanakan berdasarkan pada suatu rencana kegiatan inspeksi yang dilakukan secara periodik untuk mendeteksi adanya tanda-tanda gangguan yang akan mengakibatkan *breakdown*, mesin dan produksi terhenti, penurunan kondisi mesin/alat. Pengecekan peralatan ini digabungkan dengan kegiatan pemeliharaan untuk menghilangkan, mengontrol, atau mengembalikan kondisi alat atau mesin sesuai dengan standar yang diharapkan. 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*)

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

Pada inspeksi ini penggantian suku cadang dilakukan pada waktu sebelum terjadi kerusakan (hampir rusak) baik merupakan kerusakan total maupun titik dimana pengurangan mutu yang menyebabkan peralatan bekerja dibawah standar yang telah ditetapkan. Pendeteksian suatu peralatan dilakukan menggunakan alat modern untuk memperkirakan waktu kegiatan pemeliharaan dapat dilakukan.

2.2.5 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.

2.2.6 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 di evaluasi. Secara umum jumlah ukuran kinerja yang dimiliki perusahaan ada sembilan tipe yaitu:

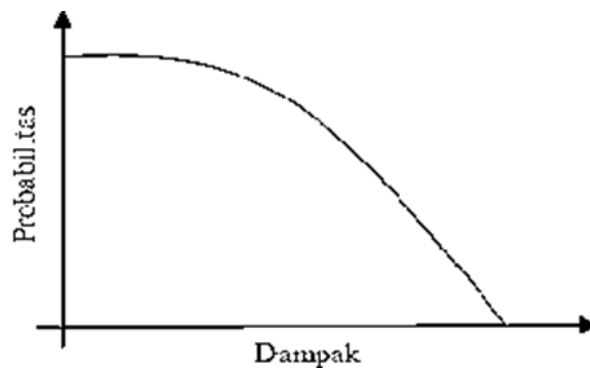
1. Indikator keuangan,
2. Ukuran efisiensi,
3. Pasokan sumber daya,
4. Produk dan keuangan yang dihasilkan,
5. Ukuran mutu produk dan jasa,
6. Kebutuhan pelanggan eksternal,
7. Kepuasan pelanggan eksternal,
8. Tingkat pekerjaan dan aktivitas,
9. Keselarasan produk atau jasa

2.3 Risiko

2.3.1 Definisi Risiko

Risiko adalah probabilitas untuk terjadinya kerugian, risiko adalah seseorang atau sesuatu yang menimbulkan atau mengesankan bahaya. Lawrence mendefinisikan risiko sebagai kemungkinan dan dampak dari kejadian yang merugikan.

Definisi lain risiko adalah dampak negatif dari kegiatan yang rentan, dengan mempertimbangkan kemungkinan dan dampak dari kemunculan risiko tersebut. 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 . Skenario-skenario tersebut jika disusun ke dalam urutan meningkatnya keparahan dari konsekuensi, dibandingkan dengan probabilitasnya maka akan terbentuk suatu kurva risiko.



Gambar 2.2. Kurva Risiko

Berdasarkan gambar diatas (T. Bedford dan R. Cooke, 2003), kurva risiko yang terbentuk tersebut dapat diartikan dengan semakin besar probabilitas kemunculannya maka akan semakin kecil dampak yang diakibatkan oleh suatu risiko. Sebaliknya semakin besar dampak yang diakibatkan dari suatu resiko, maka semakin kecil probabilitas kemunculannya. Dalam mendefinisikan risiko ada 2 komponen yang harus diperhatikan yaitu:

- *Likelihood* (probabilitas)

Likelihood bisa disebut juga sebagai probabilitas adalah kemungkinan terjadinya sebuah *hazard event*. *Hazard* dapat didefinisikan sebagai sumber potensial terjadinya suatu kecelakaan/kegagalan. Jika pendefinisian risiko menggunakan sudut pandang *likelihood* (probabilitas), maka risiko dengan nilai probabilitas mendekati 1 dikatakan sebagai risiko dengan kategori tinggi.

- *Impact* (konsekuensi)

Impact adalah hasil akhir dari terjadinya *hazard event*, yang mencakup kehilangan, kerusakan, kerugian seseorang. Jika pendefinisian risiko menggunakan sudut pandang *impact* (resiko), maka risiko yang menghasilkan resiko terbesar dapat disebut 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.

Konsep dasar risiko adalah sebagai berikut (Perry & Hayes,1999):

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

2.3.2 Klasifikasi Risiko

Berdasarkan sumbernya risiko dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

2.3.2.1 Pure Risk

Pure risk adalah sesuatu yang hanya dapat berakibat merugikan atau tidak terjadi apa-apa dan tidak mungkin menguntungkan. Artinya dalam pengertian risiko murni, sehingga kerugian pasti akan terjadi. Contoh dari risiko

ini adalah kebakaran, kecelakaan, bangkrut dan lain sebagainya.

2.3.2.2 *Business risk*

Business risk secara sederhana dapat digambarkan bahwa ketidakpastian untuk memperoleh keuntungan dari modal yang ditanamkan. *Business risk* yang muncul bervariasi tidak hanya berdasarkan kesamaan industrinya tetapi bahkan tiap pengusaha dalam industri yang sama memiliki *business risk* yang berbeda.

2.3.2.3 *Project risk*

Suatu proyek selalu erat kaitannya dengan risiko. Dimana risiko dalam pengerjaan proyek selalu berhubungan dengan estimasi, baik estimasi terhadap waktu dan biaya proyek. Contoh kemungkinan risiko yang terjadi dalam suatu proyek, salah satunya yaitu waktu pengerjaan proyek terjadi keterlambatan dari yang semestinya, atau biaya proyek melebihi yang telah dianggarkan.

2.3.2.4 *Operational risk*

Risiko operasional adalah sebuah risiko kerugian yang berasal dari ketidakcukupan atau kegagalan proses internal, orang, dan sistem atau dari peristiwa-peristiwa eksternal (*Bassel Committe on Banking Supervision*, 2001). Risiko operasional bisa diartikan sebagai risiko yang berhubungan dengan kegiatan untuk menjalankan suatu bisnis. Risiko operasional terbagi menjadi dua komponen yaitu risiko kegagalan operasional dan risiko strategi operasional. Risiko kegagalan operasional adalah resiko potensi terjadinya sebuah kegagalan menjalankan sebuah bisnis. Proses, manusia, 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 strategi operasional sering kali timbul dari faktor lingkungan seperti masuknya pesaing baru yang mengubah polah suatu bisnis, perubahan kebijakan perusahaan, faktor alam dan faktor pendukung lainnya yang sejenis yang berada di luar kontrol perusahaan.

2.3.2.5 *Technical risk*

Resiko yang bersifat teknis yang dipengaruhi langsung oleh proses yang terjadi selama pengembangan perusahaan. Tapi kebanyakan orang lupa mempertimbangkan risiko yang disebabkan karena masalah teknis. Padahal risiko ini seharusnya juga harus diperhitungkan secara detail.

2.3.2.6 *Political risk*

Merupakan situasi yang terjadi saat pengambilan keputusan yang dipengaruhi oleh faktor politik. Contoh dalam melakukan investasi pengembangan pabrik, pemilik usaha harus menyesuaikan perencanaan investasi dengan kebijakan-kebijakan dari pemerintah setempat.

2.4 Enam Kriteria Utama (*Six Big Losses*)

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

1. *Setup and adjustment losses*,
2. *Breakdown losses*,
3. *Speed losses*,
4. *Minor stoppage losses*,
5. *Yield losses*.
6. *Quality defect and rework losses*,

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

- a. *Availability* terdiri dari:
 - *Breakdown losses* merupakan suatu kerugian yang dikarenakan adanya kerusakan mesin yang memerlukan suatu perbaikan. Contoh terjadinya kerugian salah satunya yaitu *downtime* yang dialami pekerja dan waktu perbaikan dari suatu peralatan.
 - *Setup and adjustment losses* dikarenakan adanya perubahan kondisi suatu

operasi. Salah satu contoh kerugian ini yaitu *downtime*, *setup* (perubahan peralatan, penggantian cetakan), *start up* dan pengaturan suatu mesin.

b. *Performance rate* terdiri dari:

- *Minor stoppage losses* dikarenakan kejadian-kejadian seperti pemberhentian mesin sementara, *idle time* dari mesin dan kemacetan mesin. Faktanya kemungkinan ini tidak dapat diprediksi langsung tanpa adanya alat bantu.
- *Speed losses* yaitu suatu kerugian karena mesin tidak bekerja maksimal (kehandalan mesin menurun).

c. *Quality* terdiri dari:

- *Quality defect and rework losses* yaitu suatu kerugian dikarenakan kecacatan produksi yang terjadi diluar standart yang telah ditentukan. Contoh kerugian ini seperti biaya tenaga kerja untuk pekerjaan *rework* dan biaya dari material yang hilang atau terbuang.
- *Yield losses* disebabkan bahan yang tidak terpakai. *Yield losses* terdiri dua bagian, yang pertama berupa sampah bahan baku yang disebabkan dari kesalahan cetak, metode pemrosesan, dan mesin yang mengalami gangguan. Yang kedua adalah kerusakan produksi yang disebabkan oleh adanya proses *adjusting* mesin dan pada saat mesin *warming up*.

Tabel 2.1. Enam Kategori Kerugian Utama

<i>Six Big Loss Category</i>	<i>OEE Loss Category</i>	<i>Event Examples</i>	<i>Comment</i>
<i>Breakdowns</i>	<i>Down Time Loss</i>	<i>Tooling Failures Unplanned Maintenance General Breakdowns Equipment Failure</i>	<i>There is flexibility on where to set the threshold between a Breakdown (Down Time Loss) and a Small Stop (Speed Loss).</i>
<i>Setup and Adjustments</i>	<i>Down Time Loss</i>	<i>Setup/Changeover Material Shortages Operator Shortages Major Adjustments Warm-Up Time</i>	<i>This loss is often addressed through setup time reduction programs.</i>
<i>Small Stops</i>	<i>Speed Loss</i>	<i>Obstructed Product Flow Component Jams Misdeeds Sensor Blocked Delivery Blocked Cleaning/Checking</i>	<i>Typically only includes stops that are under five minutes and that do not require maintenance personnel.</i>

Tabel 2.1. Enam Kategori Kerugian Utama (Lanjutan)

<i>Six Big Loss Category</i>	<i>OEE Loss Category</i>	<i>Event Examples</i>	<i>Comment</i>
<i>Reduced Speed</i>	<i>Speed Loss</i>	<i>Rough Running Under Nameplate Capacity Under Design Capacity Equipment Wear Operator Inefficiency</i>	<i>Anything that keeps the process from running at its theoretical maximum speed (a.k.a. Ideal Run Rate or Name plate Capacity).</i>
<i>Startup Rejects</i>	<i>Quality Loss</i>	<i>Scrap Rework In-Process Damage In-Process Expiration Incorrect Assembly</i>	<i>Rejects during warm-up, start up or other early production. May be due to improper setup, warm-up period, etc.</i>
<i>Production Rejects</i>	<i>Quality Loss</i>	<i>Scrap Rework In-Process Damage In-Process Expiration Incorrect Assembly</i>	<i>Rejects during steady-state production.</i>

2.5 FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

2.5.1 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.

2.5.2 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 (Bluvband, 2004). Setiap kegagalan yang terjadi dikuantifikasi untuk diskala prioritas penanganan. Penentuan prioritas dinilai dari hasil perkalian antara tingkat kerusakan, rating frekuensi, dan tingkat deteksi dari risiko. Dengan skala prioritas risiko, maka pengontrolan bisa amati sesuai proses risiko dengan nilai tertinggi.

Dalam melakukan analisis FMEA beberapa hal harus diperhatikan yaitu:

- Setiap permasalahan memiliki masing-masing perbedaan

Tidak seluruh permasalahan memiliki tingkat kepentingan yang sama. Dengan mengesampingkan skala prioritas permasalahan yang mungkin terjadi, perusahaan sering kali menemukan permasalahan yang mungkin terjadi saat ini tanpa melihat kepentingannya. FMEA dibuat untuk skala prioritas dari permasalahan yang mungkin terjadi. Dengan skala prioritas permasalahan maka akan didapatkan solusi yang lebih efektif dalam menyelesaikan sebuah permasalahan.

- Definisikan fungsi

Fungsi dan tujuan dari suatu analisis yang akan dilakukan harus lebih dahulu ditentukan. FMEA menganalisis setiap proses dari sisi tujuan dan fungsi. Keadaan kegagalan yang timbul adalah kegagalan jika proses tidak berjalan sesuai dengan fungsinya. Maka dari itu dibutuhkan suatu identifikasi dari fungsi dan tujuan dari proses yang akan dianalisis.

- Orientasinya kepada pencegahan

Peningkatan terus menerus harus menjadi penggerak dalam pelaksanaan FMEA, jika tidak maka perlu analisis yang akan dijalankan akan berjalan monoton. FMEA seharusnya dilakukan untuk tujuan memperbaiki kinerja suatu proses dan tidak hanya untuk kebutuhan dokumentasi saja. FMEA memiliki tujuan untuk mengetahui dan mencegah terjadinya gangguan yang akan muncul

dengan mencari tahu risiko yang mungkin akan terjadi dan membuat mitigasi untuk penurunan risiko tersebut. Dalam sistem operasi pembangkit, FMEA dilakukan untuk memperkirakan risiko-risiko kegagalan peralatan yang mungkin akan terjadi dalam sistem operasi pembangkit. Dalam hal ini ada tiga komponen yang akan membantu dalam menentukan prioritas dari gangguan yaitu:

- Frekuensi (*occurrence*)
Intensitas terjadinya gangguan yang bisa menyebabkan kegagalan peralatan pada sistem operasi pembangkit.
- Tingkat Kerusakan (*severity*)
Seberapa parah kerusakan yang ditimbulkan dengan terjadinya kegagalan peralatan dalam operasi sistem pembangkit.
- Tingkat Deteksi (*detection*)
Bagaimana kegagalan sistem operasi pembangkit dapat diketahui sebelum kegagalan itu akan terjadi. Peluang deteksi dapat dipengaruhi oleh banyaknya yang mengatur jalannya suatu proses. Semakin banyak pengaturan yang mengatur jalannya sistem operasi pembangkit maka diharapkan peluang deteksi dari kegagalan peralatan dapat semakin tinggi.

2.5.3 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.

2.5.3.1 Sistem FMEA

Sistem FMEA dipakai untuk menganalisis sistem yang ada pada tahap konsep dan perancangan. Sistem FMEA berfokus pada kesalahan atau kegagalan yang potensial yang disebabkan ketidakefisienan suatu sistem. Termasuk didalamnya hubungan antara sistem dan sub sistem. Perangkat ini dipergunakan untuk menentukan pilihan akhir suatu sistem selagi dikonsepsi dan berbagai opsi yang disediakan.

2.5.3.2 Desain FMEA

Desain FMEA biasa digunakan setelah konsep suatu sistem telah ditentukan. Desain FMEA akan menunjukkan modus suatu kegagalan ke dalam tingkatan komponen dan digunakan untuk menganalisis jasa/produk sebelum dilakukan proses produksi masal. Desain FMEA memiliki fokus utama pada modus kegagalan yang disebabkan pemborosan dalam perancangan.

2.5.3.3 Proses FMEA

Proses FMEA bertujuan untuk menguji modus kegagalan setiap tahap proses produksi ataupun perakitan suatu produk. Dalam proses ini tidak selalu menguji secara detail variabel kegagalan peralatan yang digunakan untuk proses produksi atau perakitan, tetapi harus memperhatikan dimana variabel kegagalan dapat mempengaruhi secara langsung terhadap kualitas produk akhir yang dihasilkan.

2.5.3.4 *Service* FMEA

Yang pertama, *service* FMEA biasa digunakan dalam industri jasa intensive, dimana pembiayaan (*cost*) tinggi pada peralatan dan lingkungan kerja yang membutuhkan pendekatan disiplin yang keras dan tinggi untuk *service*. Yang kedua, digunakan pada pengujian modus kegagalan peralatan yang digunakan untuk proses produksi dan *assembly* produk. *Service* FMEA terdapat suatu program pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) yang detail dimana biaya langsung untuk perbaikan kegagalan peralatan dapat lebih ditekan, akan tetapi biaya tak langsung yang diakibatkan berkurangnya jumlah 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.

2.5.4 Prosedur FMEA

Tahapan FMEA tidaklah tetap. Setiap organisasi memiliki masing-masing

karakteristiknya untuk menggambarkan kepentingan organisasi dan permasalahan yang dihadapi. Untuk penentuan kriteria penilaian tidak bersifat umum jadi tidak ada standarisasi yang pasti. Sistem kriteria penilaian setiap organisasi menggambarkan kepentingan organisasi, proses, dan kebutuhan pelanggan.

Pada dasarnya ada dua cara untuk merumuskan panduan pengelompokan yaitu kualitatif dan kuantitatif. Disisi lain, nilai numeriknya bisa tentatif, bisa dari 1 sampai 10 dan kisaran 1 sampai 10 lebih sering digunakan. Sebenarnya tidak ada panduan jelas mengenai tata cara penetapan kriteria nilai tertentu dalam kegiatan FMEA.

Secara umum yang biasanya digunakan dalam kegiatan FMEA dibagi menjadi tiga bagian. Pertama, poin 1 - 9 menggambarkan pendahuluan. Tidak menitik beratkan satu poin menjadi sebuah keharusan, tetapi menambah informasi untuk kegiatan FMEA dan yang terpenting bisa dibutuhkan untuk latihan penyusunan FMEA.

Bagian kedua termasuk dalam poin 10 sampai 23. Urutan dan jumlah kolom bisa berubah, akan tetapi tidak boleh ada kolom yang bisa diganti pada poin 10 sampai 23, bisa diartikan sebagai inti dari proses FMEA.

Bagian Terakhir, poin 24 dan 25 merupakan bagian yang menggambarkan ciri dalam proses pengisian form FMEA. Meskipun bukan keharusan, akan tetapi menggambarkan pertanggung-jawaban sebuah tim untuk menangani pembuatan jam kerja FMEA. Hal ini bisa diartikan sebagai penutup FMEA.

Semua nomor merupakan nomor-nomor yang digunakan untuk mendiskusikan bentuk, berikut ini adalah urutannya:

- Proses Identifikasi (1)

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

- Nama bagian (1A)

Biasanya nomor pelaksanaan terakhir yang diidentifikasi.

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

Menggambarkan tanggung jawab utama sebuah proses, tahapan aktifitas yang

berpengaruh pada *desain system* dan rancang bangun beserta variabel pendukungnya. Hal ini digunakan untuk titik referensi desain atau rancang bangun.

- Tanggung jawab Pribadi (2A)

Terkadang penting mencantumkan orang yang bertanggung jawab atas kegiatan FMEA.

- Keterkaitan dengan area lain (3)

Mencantumkan nama orang lain yang berperan dalam rancang bangun bagian tersebut.

- *Involvement of Suppliers or Others* (4)

Mengidentifikasi *supplier*, atau hal lain di luar perusahaan yang mempengaruhi bentuk desain dalam hal desain bagian, atau rancang bangun.

- *Model or Product* (5)

Menggambarkan desain atau produk beserta prosesnya produksinya.

- *Engineering Release Date* (6)

Menjelaskan waktu yang sudah dijadwalkan untuk mengeluarkan produk.

- Tanggal Produksi Fungsi (6A)

Menjelaskan waktu produksi sebagai bahan laporan dan sebagainya.

- *Prepared by* (7)

Menjelaskan pelaksana langsung yang bertanggung jawab atas FMEA diperlukan.

- *FMEA date original* (8)

Mencatat runtutan tanggal berlangsungnya dari awal pelaksanaan kegiatan FMEA.

- *FMEA date–Revision* (9)

Mencatat runtutan tanggal revisi terakhir.

- *Process Function* (10)

Menggambarkan proses yang akan dilakukan, fungsi ini bisa dilihat dari spesifikasi desain.

- *Potential Failure Mode* (11)

Kegagalan pada proses terjadi jika produk tidak terlindung dan memiliki resiko merugi. Kegagalan yang melakukan fungsinya secara aman atau yang berfungsi untuk mengurangi konsekuensi yang pasti akan ditanggung.

- *Potential effect of failure* (12)

Kegagalan memiliki efek potensial yaitu dampak kegagalannya untuk proses, produk, pelanggan atau aturan yang berlaku mendatang.

- *Critical Characteristics* (13)

Menjelaskan karakter kritis yang biasanya muncul dan berhubungan desain FMEA.

- *Severity of effects* (14)

Merupakan tingkatan yang menganalisis keseriusan dampak suatu kegagalan proses yang potensial. Keseriusan dapat diterapkan pada dampak kegagalan.

- *Potential cause of failure* (15)

Merupakan pemborosan yang mengakibatkan sebuah kegagalan. Teknik yang digunakan diantaranya adalah *Fishbone diagram*, *Fault Tree Analysis (FTA)*, 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)

Metode deteksi ialah cara pengujian yang digunakan untuk pendeteksian suatu kegagalan.

- *Detection* (18)

Merupakan pendektasian yang berhubungan dengan nilai, dimana proses untuk mendeteksi akar kegagalan sebelum suatu produk meninggalkan ruang

produksi.

- *Risk Priority Number (RPN) (19)*
Nilai ini adalah hasil perkalian dari keseriusan (*severity*), frekuensi (*occurrence*), dan deteksi (*detection*). RPN memberikan susunan ranking dan nilai suatu kegagalan yang muncul. Dalam tujuan FMEA adalah penurunan nilai RPN suatu kegagalan dengan tindakan yang akan dilakukan.
- *Recommended Action (20)*
Rekomendasi tindakan bertujuan untuk mengurangi tingkat keseriusan, dan nilai frekuensi yang muncul hingga meningkatkan kemampuan deteksi pada suatu kegagalan.
- *Responsible Area or Person and Completion Date (21)*
Memberikan respon kepada pihak yang bertanggung jawab dan waktu target pencapaian untuk tindakan yang direkomendasikan terhadap .
- *Action Taken (22)*
Merupakan bentuk tindak lanjut atas rekomendasi sesuatu yang telah dilaksanakan. Hal ini bertujuan untuk memberikan arahan kepada pelaksana untuk perlakuan apa saja yang harus dilakukan jika terjadi kegagalan.
- *Revised RPN (23)*
Tim FMEA akan mengevaluasi ulang konsekuensi tingkat keseriusan, nilai frekuensi dan tingkat deteksi yang dilakukan sebelumnya. Lalu dilakuakn perhitungan ulang nilai RPN, untuk diteliti ulang setelah semua kegagalan ditindaklanjuti. Hingga didapatkan perubahan terhadap kegagalan pada penilaian pertama, tidak lagi menjadi prioritas utama lagi.
- *Approval Signature (24)*
Mendefinisikan kewenangan dalam mengelola FMEA. Nama dan judul tergantung pada organisasi yang berkaitan.
- *Concurrence Signatures (25)*
Menjelaskan kewenangan tanggung jawan 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*)

Dari Tahapan FMEA, maka isi informasi pada formulir FMEA diatas. Hingga didapatkan gambaran yang lebih ringkas tentang variabel penyebab dan pembobotan nilai tiap variabel hingga didapatkan nilai total tiap variabel.

2.5.5 Hasil Keluaran FMEA

Output yang diharapkan dari FMEA adalah:

1. Daftar kegagalan pada pengoperasian dan pemeliharaan sistem pembangkit PT. PJB UP Gresik yang diurutkan berdasarkan RPN (*Risk Priority Number*),
2. Daftar karakteristik fungsi/sistem yang kritikal,
3. Daftar rekomendasi untuk mengatasi keadaan kritikal,
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 biasa digunakan untuk analisis FMEA antara lain:

1. 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.

2. Diagram Sebab Akibat (*Fishbone Diagram*)

Fishbone diagram digunakan untuk membantu mengidentifikasi akar permasalahan. Penggunaan diagram sebab akibat hanya pada permasalahan luar saja. Oleh karena itu bisa digunakan diagram *Cause Failure Mode Effect* (CFMEA) yang akan membantu untuk mengidentifikasi akar permasalahan risiko yang lebih mendalam

2.6 FTA (*Fault Tree Analysis*)

2.6.1 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

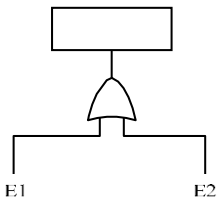
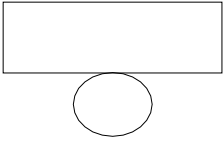
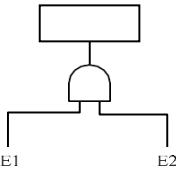
dibawahnya dan juga kegagalan komponen. *Fault tree* mengilustrasikan hubungan antara *basic event* (akar kejadian yang menyebabkan *top event* terjadi) dan *top event* (kejadian yang terjadi). *Basic event* bisa saja kondisi lingkungan, kesalahan SDM, spesifik kegagalan komponen. Simbol yang menghubungkan 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="459 1099 603 1128">"OR gate"</p> 	<p data-bbox="794 1099 1345 1189"><i>OR gate</i> mengindikasikan output A terjadi jika salah satu E_i terjadi</p>
<p data-bbox="459 1364 603 1393">"AND gate"</p> 	<p data-bbox="794 1364 1345 1503"><i>AND gate</i> mengindikasikan <i>event</i> A terjadi jika semua input E_i terjadi secara simultan</p>
<p data-bbox="459 1628 603 1688">A <i>Basic event</i></p> 	<p data-bbox="794 1628 1345 1718"><i>Basic event</i> merupakan akar kejadian yang menyebabkan kegagalan atau kesalahan.</p>

2.6.2 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,
 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 <i>tree</i> yang sangat besar apabila analisa dilakukan secara mendalam
Sesuai dengan parallel, redundant atau alternative kegagalan	<i>Event</i> yang sama mungkin terjadi alam <i>tree</i> yang berbeda, sehingga menyebabkan kebingungan
Sesuai dengan gabungan beberapa <i>event</i>	Tidak mempresentatifkan antar pernyataan dalam setiap <i>event</i>

Sesuai untuk sistem yang mempunyai sub sistem yang banyak	Membutuhkan <i>fault tree</i> yang berbeda dalam setiap <i>event</i>
Dapat memberikan model logika yang paling minimum	Penyebab utama yang diidentifikasi oleh <i>fault tree</i> hanya berhubungan dengan keluaran yang spesifik
Dapat digunakan pada konversi model logika pada pengukuran probabilitas	<i>Fault tree</i> analisis tidak sesuai dengan sistem <i>repair</i> dan <i>maintenance</i> yang kompleks
Mengidentifikasi probabilitas penyebab <i>top event</i> terjadi	--
Mencari dan dapat meramalkan penyebab utama dalam <i>event</i>	--

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.

2.6.3 Analisa Kuantitatif FTA

Analisa kuantitatif adalah analisa probabilitas terhadap kejadian yang terjadi. Dengan *cut set* (rangkaiannya 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 *Boole 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:

$$\Pr(Q) = \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(A \cap B) \quad (2.2)$$

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

$$= \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(B)\Pr(A/B) \quad (2.4)$$

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

- Jika A dan B adalah *independent* (berdiri sendiri), maka $\Pr(B/A) = \Pr(B)$ dan $\Pr(Q) = \Pr(A) + \Pr(B) - \Pr(A)\Pr(B)$,
- 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:

$$\begin{aligned} \Pr(Q) &= \Pr(A)\Pr(B/A) \\ &= \Pr(B)\Pr(A/B) \end{aligned}$$

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 $\Pr(Q) = \Pr(A)$.

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang menjadi acuan penulis dalam melakukan penelitian ini yaitu berdasarkan penelitian Nasmi (2008), dengan judul pengembangan FMEA menggunakan konsep *lean*, *root cause analysis* dan diagram pareto: peningkatan kualitas konsentrat tembaga pada *santong water treatment plant* PT. Newmont Nusa Tenggara – Sumbawa NTB. Pada penelitian sebelumnya dibahas mengenai akar penyebab terjadinya gangguan peralatan dan diagram pareto yang bertujuan untuk menunjukkan gangguan peralatan teridentifikasi yang paling kritis agar segera dilakukan tindakan perbaikan peningkatan kualitas konsentrat tembaga. Sehingga pemborosan yang dominan terdapat pada penelitian tersebut adalah Air yang di proses melebihi kapasitas *plant* (gangguan peralatan) dan Penerimaan NaHS di SWTP tertunda (*waiting*). Kemudian penyebab terjadinya pemborosan tersebut disebabkan oleh berat

konsentrat (Cu-S) yang dihasilkan kurang dari berat konsentrat (Cu-S) produksi yang diperkirakan. Dan solusi yang diberikan peneliti sebelumnya terhadap masalah yang terjadi adalah dengan penambahan *thickener/clarifier* baru di SWTP dan jumlah *Man Power* untuk *maintenance crew*.

Penelitian terdahulu lainnya ditulis oleh Rama Fitriya (2016), dengan judul analisis risiko kerusakan peralatan dengan menggunakan metode FMEA untuk meningkatkan kinerja pemeliharaan prediktif pada pembangkit listrik. Pada penelitian ini, penulis melakukan analisis terhadap risiko potensi penyebab terjadinya dan dampak kerusakan pada komponen sistem pembangkit listrik.

Hasilnya pemeliharaan prediktif memakai alat vibrasi dan temperatur pada peralatan tanpa berdasarkan prioritas pemeliharaan yang diagendakan. Dengan pemborosan yang paling dominan adalah tanpa adanya bantuan *software* pemeliharaan prediktif pengumpulan data pemeliharaan dilakukan secara manual, tidak memiliki daftar peralatan yang membutuhkan kajian FMEA berdasarkan prioritas pemeliharaan sesuai dengan kebutuhan unit, dan perhitungan *cost benefit analysis* belum efektif karena masih minimnya rekomendasi perbaikan. Sedangkan rekomendasi perbaikan untuk perusahaan adalah pengawas produksi maupun manajemen perlu memperhatikan kinerja pemeliharaan prediktif yang saling berkesinambungan antara teknisi pemeliharaan, peralatan kerja, analisis serta rekomendasi, dan tindak lanjutnya.

Sedangkan penelitian yang dilakukan saat ini adalah menganalisa faktor-faktor penyebab gangguan pada urutan aktifitas pemeliharaan overhaul yang memungkinkan untuk terjadinya risiko-risiko pada proyek. Identifikasi pemborosan dianalisa pada seluruh bagian aktifitas pemeliharaan yaitu bagian *inspection*, penandaan (*marking*), *disassembly*, *repair*, *reassembly*.

Tabel 2.5. Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Penulis	Judul Penelitian	Kerangka Umum	Metode			
			Lean	Fuzzy	FMEA	Risk Analysis
Nasmi Herlina Sari, 2008	Peningkatan Kualitas Konsentrat Tembaga Pada Santong Water Treatment Plant Pt Newmont Nusa Tenggara – Sumbawa NTB	<i>Lean, Root Cause Analysis</i> Dan Diagram Pareto untuk meningkatkan Kualitas Konsentrat Tembaga Pada <i>Santong Water Treatment Plan</i>	V		V	
Rama Fitriya, 2016	Analisis risiko kerusakan peralatan untuk Meningkatkan kinerja pemeliharaan prediktif pembangkit listrik	Metode FMEA untuk Meningkatkan kinerja pemeliharaan prediktif pembangkit			V	V
Mochammad Basjir, Hari Supriyanto, Mokh. Suef	Pengembangan Model Penentuan Prioritas Perbaikan Terhadap Mode Kegagalan Komponen	Dengan Metodologi Fmea, Fuzzy Dan Topsis Yang Terintegrasi untuk melakukan perankingan prioritas dalam tindakan korektif		V	V	
Ika Syarah Firmansyah	Peningkatan sistem manajemen pemeliharaan overhaul berdasarkan analisa kegagalan operasi sistem pembangkit listrik	Metode FMEA untuk menganalisis variabel yang muncul penyebab kegagalan operasi pembangkit			V	V

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Bab tiga ini akan dibahas mengenai metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, yang meliputi; pengumpulan data penelitian, teknik pengumpulan data, dan metode analisa datanya. Data-data yang lengkap dan metode analisa yang tepat akan menghasilkan pemecahan masalah yang terintegrasi. Maka diperlukannya metodologi penelitian untuk mencapai maksud dan tujuan dari penelitian.

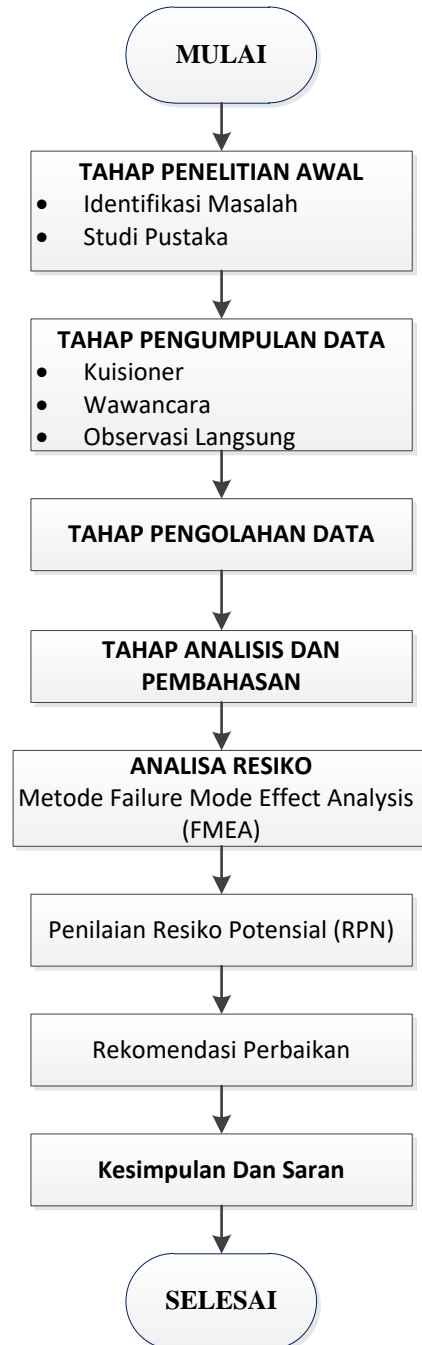
3.1 Tahap Penelitian Awal

Tahap ini merupakan tahap awal dalam memulai penelitian, dimana pada tahap ini peneliti mengamati permasalahan yang ada didalam objek penelitian. Tahap penelitian awal ini dimulai dengan identifikasi masalah pada objek penelitian berdasarkan permasalahan-permasalahan didalam perusahaan. Tahap identifikasi masalah ini dilakukan dengan menganalisa kondisi objek berdasarkan data-data sekunder. Data-data yang digunakan misalnya kondisi kinerja pemeliharaan dan kualitas yang produksi di PT. PJB UP Gresik. Berdasarkan data *workorder (WO)* gangguan unit di unit, peneliti dapat menentukan adanya permasalahan mengenai risiko waktu, biaya atau kualitas yang terjadi di perusahaan.

Penelitian ini melalui beberapa tahapan yaitu:

1. Tahap penelitian awal
2. Tahap penggunaan metode FMEA
3. Tahap analisa risiko
4. Tahap evaluasi

Tahapan-tahapan diatas dijelaskan lebih rinci didalam diagram alir. Diagram alir dari sistematika penelitian ini seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

3.2 Tahap Pengumpulan Data

Pada fase ini merupakan salah satu tahapan yang sangat penting dalam penyusunan tesis, karena tahap ini merupakan tahap awal dalam membuat analisis mengenai kondisi dan menarik kesimpulan.

Tahap pengumpulan data FMEA:

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

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini akan diambil dari data gangguan peralatan unit pembangkit setelah dilakukan pemeliharaan overhaul. Data primer yang dibutuhkan berupa data bobot intensitas terjadinya masing-masing jenis gangguan peralatan. Pengumpulan data bobot intensitas gangguan peralatan dilakukan dengan metode kuesioner terhadap beberapa responden di perusahaan yang telah berpengalaman dibidangnya. Data primer lainnya yaitu data responden terhadap peringkat risiko prioritas bagi perusahaan.

3.3 Tahap Pengolahan Data

Tahap ini menggunakan metode analisa risiko. Identifikasi dilakukan dengan mencari akar permasalahan menggunakan pengumpulan data sekunder gangguan. Selanjutnya menghitung risiko potensial menggunakan *failure mode and effect analysis* dan *fault tree analysis*

3.3.1 Analisa Risiko

Analisa risiko dilakukan pada bagian aktifitas konstruksi yang memiliki persentase pemborosan tertinggi. Sehingga dengan melakukan analisa sebelum kejadian, harapannya perusahaan memiliki strategi tersendiri untuk mengurangi rugi dari risiko tersebut. Tahapan dalam melakukan penilaian risiko adalah sebagai berikut (AS/NZS 4360:2004):

1. Komunikasi dan konsultasi

Melakukan konsultasi dan berkomunikasi dengan *stakeholder* internal maupun eksternal dari unit bisnis mengenai proses kegiatan secara keseluruhan

2. Menetapkan konteks

Menentukan konteks terhadap proses yang akan dianalisa, keterangan kegiatan dan kriteria risiko yang akan dievaluasi.

3. Identifikasi Risiko

Mengidentifikasi dimana, kapan, mengapa dan bagaimana kejadian dapat dicegah, dikurangi, ditunda untuk dapat mencapai tujuan perusahaan.

4. Menganalisa Risiko

Mengidentifikasi dan mengevaluasi kontrol yang ada. Menentukan konsekuensi dan kemungkinan terhadap tingkat risiko. Analisis harus mempertimbangkan berbagai konsekuensi potensial dan bagaimana hal ini dapat terjadi.

5. Evaluasi Risiko

Membandingkan perkiraan tingkat risiko dengan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya. Pada tahapan ini memungkinkan untuk menganalisa prioritas penanganan terhadap risiko yang dihadapi.

6. Tindakan terhadap risiko

Mengembangkan dan menerapkan strategi tindakan untuk menghemat biaya dan meningkatkan potensi keuntungan bagi perusahaan.

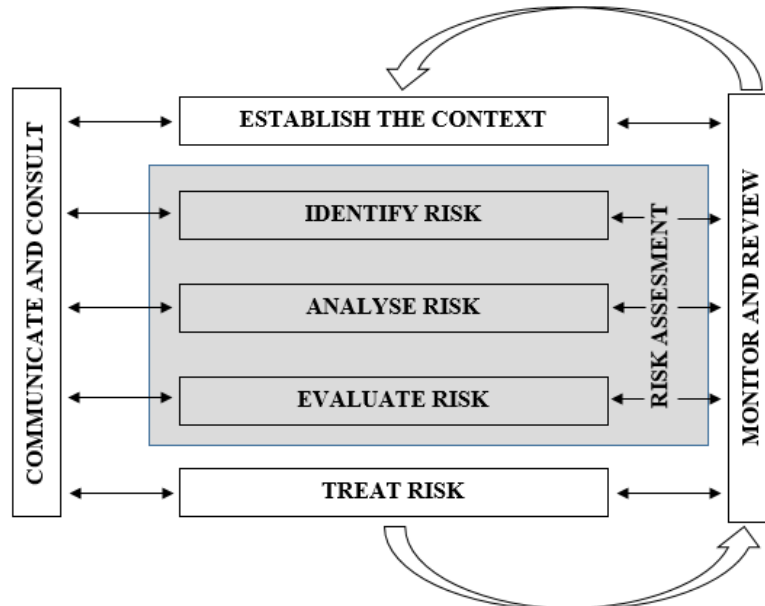
7. Monitoring dan review

Perlu dilakukan pemantauan terhadap keefektifitasan langkah yang diambil didalam manajemen risiko. Sehingga selalu dilakukan perbaikan terus menerus terhadap tindakan yang kurang tepat.

Menentukan risiko potensial adalah dengan mengalikan besarnya dampak risiko (*severity*), frekuensi kejadian (*occurence*), dan kemampuan mendekteksi risiko oleh perusahaan (*detection*). Hasil perkalian tersebut menghasilkan bilangan bulat yang dikenal *Risk Priority Number* (RPN). RPN menjadi parameter risiko

kejadian yang paling berpotensi menyebabkan kerugian bagi perusahaan.

$$RPN = \textit{Severity} (S) \times \textit{Occurrence} (O) \times \textit{Detection} (D)$$



Gambar 3.2 Tahapan manajemen risiko menurut AS/NZS 4360:2004

3.4 Tahap Analisis dan Pembahasan

Risiko prioritas dengan RPN terbesar nantinya perlu dianalisa bersama pihak perusahaan yang memahami proses aktifitas pemeliharaan untuk menentukan alternatif pencegahan terhadap risiko. Alternatif pencegahan tersebut juga dilakukan analisa terhadap keuntungan dan kerugian bagi perusahaan.

3.5 Tahap Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, dijelaskan penarikan kesimpulan terhadap permasalahan yang terjadi di perusahaan dan hasil yang diperoleh melalui kegiatan penelitian. Hasil yang diperoleh merupakan gambaran solusi untuk perusahaan terhadap permasalahan dilapangan. Sedangkan saran merupakan pendapat yang diberikan penulis terhadap perusahaan maupun pembaca untuk melakukan perbaikan terus menerus (*continous improvement*) terhadap permasalahan dan metode yang digunakan didalam kegiatan penelitian ini.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Tahapan ini salah satu fase yang sangat penting dalam penyusunan tesis, karena tahap ini merupakan tahap awal dalam membuat analisis 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:

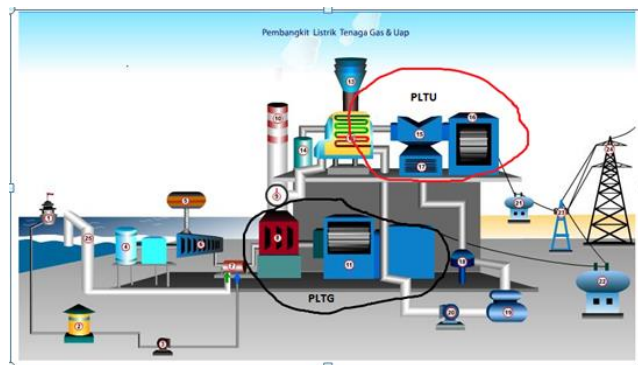
1. Mempelajari fungsi, struktur sistem pembangkit dan sistem operasi pembangkit,
2. Mencari dan mengumpulkan data historis tentang kegagalan sistem pembangkit dan brainstorming untuk mengumpulkan informasi mengenai kegagalan yang belum *ter-record* sebelumnya,
3. Pengolahan data FMEA

4.1.1 Pembelajaran Fungsi Dan Struktur Sistem Pembangkit

Pada tahap ini dilakukan studi literature mengenai sistem pembangkit yang ada di PT. PJB Gresik, melakukan kajian dan mempelajari hal-hal (sistem) yang berkaitan dengan sistem pembangkit.

4.1.1.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap

Dalam prose operasinya, unit turbin gas bisa dijalankan terlebih dahulu untuk menghasilkan daya listrik, dan sisa gas buang digunakan memanaskan air dalam boiler untuk menghasilkan uap. Setelah cukup waktu, uap yang dihasilkan cukup banyak, uap akan dialirkan ke turbin uap yang terkopling dengan generator untuk menghasilkan daya listrik. Prinsip kerja PLTGU dapat di lihat pada gambar 4.1

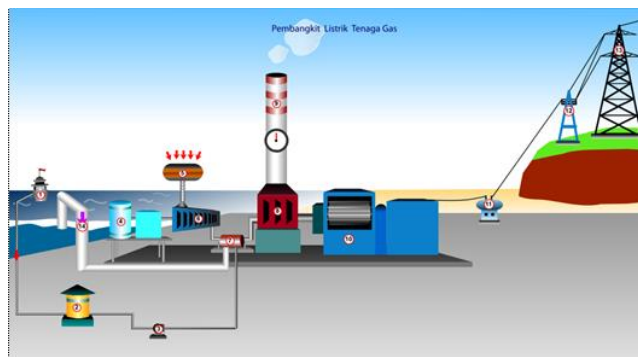


Gambar 4.1 Cara kerja PLTGU

Secara umum sistem produksi listrik pada PLTG/U dibagi menjadi dua siklus, yaitu sebagai berikut :

a. Siklus Terbuka (*Open Cycle*)

Siklus Terbuka adalah proses produksi listrik pada pembangkit tenaga gas uap dimana sisa gas dari turbin gas langsung dibuang ke luar melalui cerobong pembuangan. Proses seperti ini bisa disebut sebagai proses pembangkitan listrik turbin gas dimana listrik yang dihasilkan oleh putaran turbin gas. Siklus produksi listrik pada PLTGU ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.2 Siklus Terbuka (PLTGU)

b. Siklus Tertutup (*Closed Cycle*)

Pada siklus terbuka, gas buang dari turbin gas akan langsung dibuang, akan tetapi pada proses Siklus Tertutup, gas buang dari turbin gas akan dimanfaatkan lagi untuk memanaskan air yang berada *tube-tube* di HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*). Kemudian uap yang dihasilkan dari HRSG akan dialirkan ke turbin uap yang terkopling dengan generator yang menghasilkan

listrik. Jadi inilah yang disebut sebagai proses pembangkitan listrik tenaga gas uap siklus tertutup yaitu proses menghasilkan listrik yang dihasilkan dari putaran turbin gas dan turbin uap.

Daya listrik yang dihasilkan pada proses siklus tertutup lebih besar jika dibandingkan dengan daya listrik yang dihasilkan pada proses produksi listrik siklus terbuka. Pada aktual, kedua siklus diatas disesuaikan dengan permintaan pihak terkait. Misalkan pihak terkait hanya menginginkan pasokan listrik dan sudah tercukupi oleh siklus tertutup. Maka damper (*stack holder*) yang bertugas sebagai pembatas antara cerobong gas buang dan HRSG akan dikondisikan *close*, dengan demikian gas buang dialirkan ke udara. Jika siklus terbuka kebutuhan listrik belum tercukupi maka diterapkan siklus tertutup.

1) Proses Pembangkitan Listrik Turbin Gas

Dalam proses pembangkitan listrik turbin gas, motor *starting* digunakan sebagai penggerak awal sebelum turbin belum menghasilkan tenaga listrik. Motor *starting* ini digunakan untuk memutar *compressor* untuk penghisap udara luar, diaman udara tersebut bagian kecil digunakan sebagai pembakaran dan sebagian besar dipakai sebagai pendingin turbin.

Bahan bakar berupa gas fluida dipompa oleh pompa bahan bakar (*fuel pump*) yang akan dialirkan ke dalam *ruang bakar (combustion chamber)*. Pada saat gas yang berasal dari pompa bahan bakar dan udara yang berasal dari *compressor* bercampur di dalam *combustion chamber*, dengan bersamaan busi (*ignitor*) akan memercikkan api untuk menyulut pembakaran. Dimana akan dihasilkan gas panas yang akan digunakan sebagai penggerak turbin gas, sehingga generator bisa menghasilkan listrik. Karena tegangan yang dihasilkan dari generator masih tergolong cukup rendah maka tegangan ini akan disalurkan ke trafo utama untuk dinaikkan menjadi 150 KV.

2) Proses Pembangkitan Listrik Turbin Uap

Gas buang dari turbin gas dimanfaatkan kembali untuk dialirkan ke dalam *boiler/HRSG* untuk memanaskan air dari *tube-tube* yang berasal dari *drum*

penampung air. Uap yang dihasilkan dari pemanasan dengan sisa gas buang dipakai untuk memutar turbin uap yang terkopel dengan generator sehingga dapat menghasilkan tenaga listrik. Sisa uap yang setelah digunakan memutar turbin uap diembunkan lagi di *condenser* hingga didapatkan air kondensasi. Air tersebut akan di pompa oleh pompa kondensat untuk dialirkan lagi ke dalam *deaerator tank* dan setelah itu *feed water pump* akan memompa ke dalam drum untuk kembali diuapkan. Inilah yang disebut dengan siklus tertutup/*combined cycle*. Jadi diartikan bahwa siklus terbuka ditambah dengan proses pemanfaatan kembali gas buang untuk memanaskan air di boiler akan menghasilkan uap sebagai penggerak turbin uap merupakan rangkaian siklus tertutup.

Komponen Sistem PLTGU

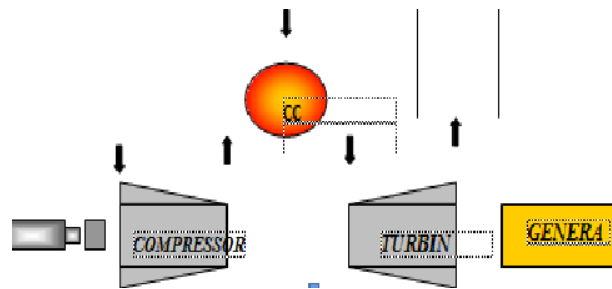
Pada sistem PLTGU dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu: sistem GTG (Gas Turbin Generator), HRSG dan STG (Steam Turbin Generator).

a. Sistem Generator Turbin Gas (*Gas Turbine Generator*)

Turbin adalah suatu alat pengubah daya dari media yang bergerak untuk memutar generator sehingga menghasilkan tenaga listrik. Pada PLTG/U, gas panas yang didapatkan dari pembakaran bahan bakar di *combuster chamber* dengan menambahkan udara dari luar.

Udara pembakaran dihasilkan dari kompresor, dimaka konstruksinya menjadi satu poros dengan turbin, sehingga daya yang dihasilkan tidak semua digunakan untuk memutar generator, akan tetapi sebagian tenaga besar itu untuk memutar kompresor.

Pada prinsipnya turbin gas di PLTG Gresik menggunakan sistem terbuka. Pada sistem ini gas buang yang telah dipakai untuk memutar turbin, nantinya pada sistem tertutup digunakan untuk memanaskan HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*).



Gambar 4.3. Diagram Alir GTG Gresik (Siklus Terbuka).

Motor listrik mula-mula akan memutar rotor turbin. Selanjutnya kompresor akan menghisap udara bebas dan memampatkan udara tersebut hingga tekanan tinggi. Udara bertekanan tinggi tersebut masuk ke dalam ruang bakar (*combuster*) dimana terdapat sejumlah bahan bakar dan dinyalakan oleh busi (*ignitor*). Akibat dari pembakaran akan menaikkan suhu dan volume dari gas bahan bakar.

Gas bakar yang dihasilkan memiliki tekanan dan temperatur tinggi kemudian menyebar dalam turbin dan selanjutnya sisa gas buang akan dikeluarkan ke udara bebas untuk siklus terbuka. Pembakaran akan terus berlangsung selama aliran bahan bakar tidak berhenti. Pada saat gas bakar masuk ke dalam turbin gas akan memutar turbin dan alat terkopelnya

Diagram Alir GTG ditunjukkan oleh gambar 4.3. Komponen–komponen utama sistem GTG adalah sebagai berikut:

- a. *Starting Motor* adalah motor penggerak awal dalam sistem gas turbin.
- b. Filter Udara berfungsi untuk menyaring udara bebas supaya udara yang mengalir ke kompresor adalah udara benar-benar yang bersih.
- c. Kompresor berfungsi mengkompresi udara dalam turbin gas.
- d. Ruang bakar (*combuster*) berfungsi sebagai tempat pembakaran di dalam sistem turbin gas.
- e. Turbin berfungsi untuk mengekspansi gas panas hasil pembakaran untuk menggerakkan generator yang terkopel.
- f. Generator berfungsi sebagai pembangkit energi listrik dimana di dalamnya terjadi proses perubahan dari energi mekanik ke listrik.

Sedangkan untuk peralatan pendukung sistem turbin gas, adalah sebagai berikut :

1) Sistem Pelumas (*Lube Oil Sistem*)

Berfungsi untuk melumasi *bearing–bearing* peralatan di sistem pembangkit. Disisi lain juga digunakan sebagai penyuplai minyak untuk sistem hidrolik pada pompa minyak hidrolik (*hydraulic oil pump*). Awal sebelum turbin gas dioperasikan, maka pompa minyak pembantu (*AOP = auxiliary oil pump*) dihidupkan untuk menyuplai minyak pelumas ke dalam bearing turbin gas dan generator, kemudian pada putaran *turning gear* turbin akan diputar dengan 3 rpm, dengan tujuan agar ketika pengidupan (*start up*), gaya geser (*friction force*) yang terjadi antara *metal bearing* dengan poros turbin gas dan generator dapat dikurangi. Hingga putaran turbin mulai naik sampai putaran normal, maka suplai minyak pelumas akan diambil alih dari AOP ke *Main Lube Oil Pump* (MOP).

2) Sistem bahan Bakar (*Fuel Oil System*)

Sistem pembakaran untuk PLTG/U ini menggunakan gas berbentuk fluida. Pada proses penyaluran bahan bakar, dilakukan melalui perpiaan terminal gas ke ruang bakar. Kemudian untuk mendapatkan hasil pembakaran yang maksimal maka dipasang *Main Oil Pump* yang terpasang dan berputar melalui hubungan dengan poros turbin gas dengan *Starting Package*. Dan untuk mengendalikan jumlah aliran bahan bakar diatur dengan *control valve*.

3) Sistem Pendingin (*Cooling Sistem*)

Ketika turbin gas dan generator dalam pelimasan bearing menggunakan minyak pelumas maka akan mengakibatkan temperatur dari minyak pelumas ini menjadi lebih tinggi, sehingga perlu pendinginan. Adapun sebagai media pendingin minyak pelumas digunakan air melalui sirkulasi di dalam heat exchanger. Kemudian untuk melakukan pendinginan air yang bertemperatur lebih tinggi tersebut. maka air pendingin ini akan didinginkan dengan dihembuskan di *cooling tower*.

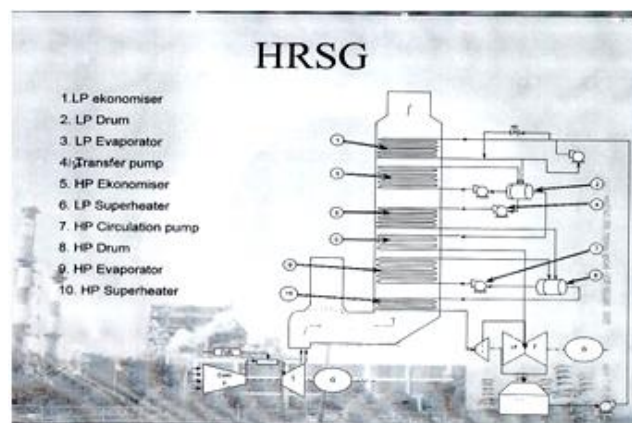
4) Sistem Hidrolik (*Hydraulic Sistem*)

Sistem hidrolik berfungsi sebagai penggerak *main stop valve*, di mana

prinsip kerjanya memerlukan hidrolik yang diambil dari *piping sistem* pelumas turbin gas kemudian dipompa dengan *hydraulic oil pump*. Fungsi dari *main stop valve* sendiri untuk menghentikan laju aliran bahan bakar minyak saat unit terjadi gangguan atau untuk membuka saluran bahan bakar pada sistem perpindahan bahan bakar.

b. HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*)

Energi panas yang terkandung dalam gas buang keluaran turbin gas yang temperaturnya masih cukup tinggi dialirkan masuk ke dalam HRSG untuk memanaskan air di dalam pipa-pipa, kemudian gas buang tersebut keluar melalui cerobong. Air di dalam pipa-pipa mendapat pemanasan dari gas buang itu, dan akan berubah menjadi uap dan yang lain masih berbentuk air. Campuran air dan uap selanjutnya masuk kembali ke dalam drum. Di drum, uap dipisahkan dari air dengan menggunakan pemisah uap yang disebut *separator*. Uap yang dihasilkan kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan turbin uap, sedangkan air yang belum menjadi uap, akan dialirkan kembali ke pipa-pipa pemanas, bersama-sama dengan air pengisi yang baru.



Gambar 4.4 Sistem HRSG

c. Sistem Generator Turbin Uap (*Steam Turbine Generator*)

Turbin uap adalah alat penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi kinetik, energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung dihubungkan dengan

mekanisme yang digerakan untuk pembangkit listrik.

Turbin uap secara umum diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, impuls, reaksi dan gabungan, tergantung pada cara perolehan perubahan energi potensial menjadi energi kinetik akibat semburan uap.

- a. Komponen utama Sistem STG adalah sebagai berikut.
 1. Turbin Uap (*Steam Turbine*), berfungsi untuk mengekspansi uap untuk menghasilkan energi mekanis sehingga generator ikut berputar juga.
 2. *Generator*, berfungsi untuk menghasilkan energi listrik hasil dari energi mekanis yang tersalur dari putaran turbin.
 3. Kondensor (*Condenser*), berfungsi menampung air *condensate* dan tempat pendinginan sisa uap dari turbin uap.
 4. Tangki air Pengisi (*Feed Water Tank*), berfungsi sebagai tangki pengisi air *condenser*.
 5. Pompa air Pengisi (*Feed Water Pump*), berfungsi memindahkan air pengisi dari tangki air pengisi ke *condenser* dan menjaga level *condenser* tetap pada kondisi normal.

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

Data kegagalan operasi sistem pembangkit didapat dari PT. PJB UP Gresik. Data ini berisikan jumlah kegagalan operasi (*breakdown*) yang sering terjadi pada 5 tahun terakhir operasi pembangkit antara tahun 2014-2018, dimana telah direkapitulasi berdasarkan tahun-tahun yang telah ditentukan dari hasil pengolahan data kejadian terbesar.

4.1.2.1 Kegagalan Sistem Pembangkit

Pada pengolahan data diberikan batasan yaitu tidak dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai *overall equipment effectiveness* (OEE), tetapi hanya untuk menentukan kriteria kegagalan operasi sistem pembangkit yang terjadi

berdasarkan kriteria *six big losses*.

Dari data kegagalan operasi sistem pembangkit yang terjadi dapat diklasifikasikan bahwa kegagalan sistem termasuk dalam kategori *break down* dan *shutdown*. Kegagalan yang terjadi sering diakibatkan karena pemberhentian mesin sejenak/mendadak dan terdapat beberapa jenis kegagalan yang memerlukan perbaikan atau penggantian komponen peralatan. Asumsi ini dilakukan berdasarkan *historical* kegagalan operasi sistem pembangkit, tindakan perbaikan yang dilakukan, wawancara terhadap supervisor yang berpengalaman yang melakukan perbaikan dalam menanggulangi kegagalan tersebut. Berikut rincian kegagalan (*breakdown*) operasi pembangkit.

Tabel 4.1. Tahun 2014

No.	Tahun	Jenis kerusakan	Sistem	Jumlah Gangguan
1	2014	drain LV 55-1 bocor	Turbin	2
2		Flame scanner burner A2&A3 nunjuk 0	Boiler	1
3		Drum level #1 tidak bs nunjuk	Turbin	4
4		air flow #1 hunting	Boiler	1
5		SV vent ignitor burner #1 bocor	Boiler	1
6		CV Positioner tidak bisa nunjuk akurat#1	Turbin	1
7		HP TBV HRSG#1.2 indikasi bocor	Turbin	2
8		OST untuk OVER SPEED TEST ST30 abnormal	Turbin	1
9		HP TBV Press (CV) SG#1.2 bocor	Turbin	1
10		HP AUX CV Steam header Press ST 3.0 abn	Common	2
11		HP BFP 2A bearing pump sisi free bocor	Common	1

Tabel 4.2. Tahun 2015

No.	Tahun	Jenis kerusakan	Sistem	Jumlah Gangguan
1	2015	Flow transmitter CEP ST#2.0 abnormal	Common	2
2		SG#22 HP Steam safety vlv electric bocor	Turbin	1
3		Solenoid shut off vlv burner C2,C3 bocor	Boiler	2
4		Hotwell condenser alarm level high	Turbin	1
5		Level minyak Aux Transformer #2 low	Boiler	1
6		MOTOR VLV DRAIN HRA DISC BOCOR #4	Boiler	1
7		Penunjukkan Sec SH Inlet header drain #4	Common	2
8		VLV INLET DRAIN TRAP HPH 8 EXC BOCOR	Turbin	1
9		Block vlv PI Shell HPH7 #4 gland bocor .	Turbin	1

Tabel 4.2. Tahun 2015 (Lanjutan)

No.	Tahun	Jenis kerusakan	Sistem	Jumlah Gangguan
10	2015	Penunjukan <i>Vacuum Condensor</i> #4 abnormal	<i>Common</i>	2
11		<i>TI inlet kondensor</i> sisi B abnormal #4	<i>Common</i>	1
12		<i>Priming vacum pump</i> #4 minta pengecekan	<i>Common</i>	1
13		<i>Valve VI-106 Main steam drain</i> bocor	<i>Turbin</i>	1
14		<i>Hotwell condenser alarm level high</i>	<i>Turbin</i>	4
15		<i>MOTOR VLV DRAIN HRA DISC</i> BOCOR #4	<i>Boiler</i>	1
16		Penunjukkan <i>Sec SH Inlet header drain</i> #4	<i>Common</i>	1
17		Penunjukkan di CCR & lokal <i>AH Diff gas A</i>	<i>Turbin</i>	1

Tabel 4.3. Tahun 2016

No.	Tahun	Jenis kerusakan	Sistem	Jumlah Gangguan
1	2016	<i>Temperature Drain bearing turbine</i> tidak sama #1	<i>Turbin</i>	1
2		<i>Vacuum Condensor</i> #1 rendah	<i>Common</i>	1
3		<i>Mill IC PA Flow hunting</i>	<i>Boiler</i>	1
4		<i>Clean out feeder 1E</i> tidak bisa running	<i>Boiler</i>	1
5		<i>Mill 1A stop</i> dari <i>breaker</i>	<i>Boiler</i>	1
6		<i>Level HPH 5 unit 1 sering high</i>	<i>Turbin</i>	1
7		<i>CV ignitor booster fan</i> #1 abnormal	<i>Boiler</i>	1
8		<i>safety valve soot blower boiler IR/IK</i> #1	<i>Boiler</i>	1

Tabel 4.4. Tahun 2017

No	Tahun	Jenis kerusakan	Sistem	Jumlah Gangguan
1	2017	<i>1st & 2nd Vlv Main Steam</i> #3 Gland Bocor	<i>Turbin</i>	1
2		<i>AIV hopper no 11 ESP 2A</i> macet	<i>Common</i>	1
3		<i>Alarm sootblower#2</i> tidak muncul	<i>Boiler</i>	1
4		<i>BFP 3B Vibrasi tinggi</i> 2,7 mm/sec	<i>Common</i>	4
5		<i>Block valve Inerting mill 2B</i> bocor	<i>Boiler</i>	1
6		<i>Block valve LV 57-12 gland</i> habis #3	<i>Turbin</i>	2
7		<i>block valve warming BFP 3A gland</i> bocor	<i>Common</i>	1
8		<i>Boiler#2 Bldwn Valve control</i> indikasi putih	<i>Boiler</i>	2
9		<i>Breaker EAB 2B</i> abnormal	<i>Common</i>	1
10		<i>CV APH drain tank#2</i> tidak bisa close	<i>Boiler</i>	3
11		<i>CV therm drain LH rear SB IK&IR#2</i> bocor	<i>Turbin</i>	1
12		<i>DP swich strainer BFP 2B</i> bocor	<i>Common</i>	1
13		<i>Drum level sisi R no.4</i> dari atas	<i>Boiler</i>	1
14		<i>Duplex strainer ID fan 2B</i> sisi A/B kotor	<i>Boiler</i>	1
15		<i>Flame scanner detektor elv AB#2</i> no flame	<i>Boiler</i>	3

16		<i>Gate Discharge Silo 2C Macet</i>	<i>Boiler</i>	1
17		<i>HPTBV #3 gland bocor</i>	<i>Turbin</i>	2

Tabel 4.5. Tahun 2018

No.	Tahun	Jenis kerusakan	Sistem	Jumlah Gangguan
1	2018	<i>IDF 2A trip lube oil system trouble</i>	<i>Boiler</i>	3
2		<i>Indikator Discharge Flow BFP 3A</i>	<i>Common</i>	2
3		<i>Long soot blower 2L #3 steam bocor</i>	<i>Boiler</i>	2
4		<i>LP bypass pump 2B load-unload abnormal</i>	<i>Turbin</i>	1
5		<i>LPH 3 #3 muncul alarm level high-low.</i>	<i>Turbin</i>	3
6		<i>Material Eco Ash #2 Tidak Turun</i>	<i>Common</i>	1
7		<i>Mill 2D limit Switch HAG Short</i>	<i>Boiler</i>	1
8		<i>motor v/v HP aux steam #3 gland bocor</i>	<i>Turbin</i>	2
9		<i>Muncul alarm IDF 2B lube oil press low</i>	<i>Boiler</i>	1
10		<i>MW signal #3 beban naik tiba-tiba</i>	<i>Turbin</i>	2
11		<i>Parameter BCWP 2A di CCR bad quality</i>	<i>Common</i>	1
12		<i>Pompa injeksi amoniak 2B rusak</i>	<i>Common</i>	1
13		<i>pv-99 soot blower #3 tidak bs ngontrol</i>	<i>Boiler</i>	2
14		<i>Pyrite Hopper 2D Bocor sisi bawah</i>	<i>Common</i>	1
15		<i>Regulator H2 tidak bisa mengontrol</i>	<i>Common</i>	2

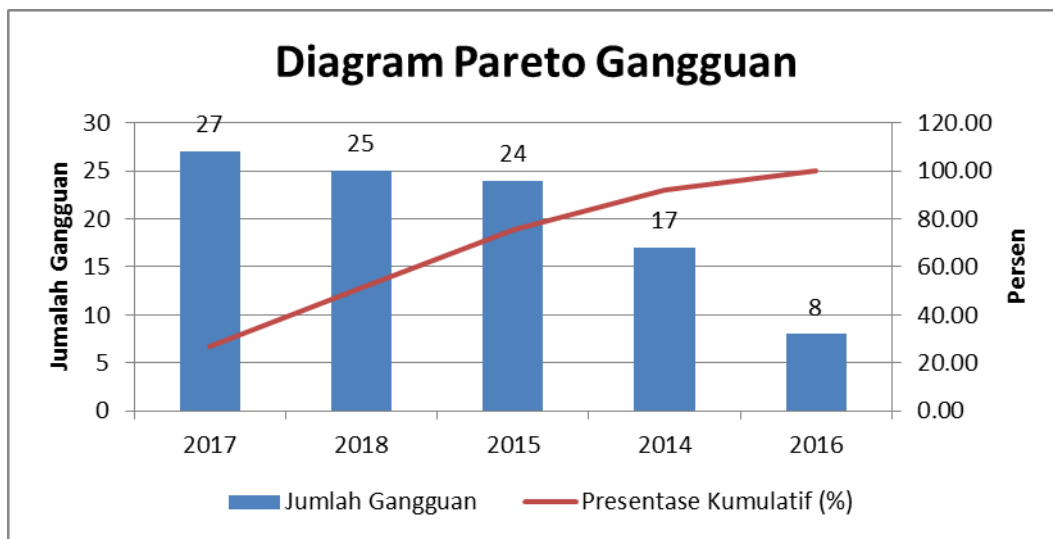
Dari data diatas dapat dikelompokkan berdasarkan kegagalan operasi sistem yang sering terjadi.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Kegagalan Operasi Pembangkit Gresik

No	Sistem Pembangkit	Jenis kerusakan	Jumlah kegagalan	Persen(%)
1	GangguanTurbin <i>system</i>	Kebocoran pada peralatan, Penunjukan peralatan yang abnormal, Gangguan Kontrol unit,	37	36.63
2	Gangguan Boiler <i>system</i>	Kebocoran instrumen, <i>Electrical</i> abnormal, Peralatan yang macet	34	34.65
3	Gangguan Common <i>system</i>	Pompa bocor, Vibrasi pompa yang tinggi, Instrumen abnormal	29	28.41

Tabel 4.7 Rekapitulasi Data Kegagalan Operasi Pembangkit Gresik

No	Tahun	Jumlah Gangguan	Presentase Kegagalan (%)	Presentase Kumulatif (%)
4	2017	27	26.73	26.73
5	2018	25	24.75	51.49
2	2015	24	23.76	75.25
1	2014	17	16.83	92.08
3	2016	8	7.92	100.00



Gambar 4.5 Diagram Pareto Kegagalan

Dari diagram diatas, bisa dilihat jumlah gangguan terbesar terjadi pada tahun 2017 dan terkecil pada tahun 2016.

4.1.3 Pengolahan Data FMEA

Tahapan pengolahan data FMEA yaitu

4.1.3.1 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 pembangkit PT. PJB UP Gresik pemilihan tim FMEA berasal dari beberapa divisi atau sub bidang sistem pembangkit yaitu sub. bidang mekanik, sub. bidang elektrik, sub. bidang instrumentasi dan kontrol. 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 pembangkit;
2. Pengalaman kerja yang dimiliki, hal ini sangat penting guna mendapatkan jawaban yang akurat. 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* sebagai berikut:

Tabel 4.8. Daftar Anggota Tim Brainstorming

No	Nama	Jabatan	Divisi	Pengalaman kerja
1.	Suwarno Siran	Spv Mekanik	Teknik	28 tahun
2.	Radityo Kusumo	Spv Elektrik	Teknik	12 tahun
3.	Adi Suryadarma	Spv Instrumentasi & Kontrol	Teknik	10 tahun
4.	Riastanto	Spv Perencanaan	Rendal	12 tahun

4.1.3.2 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 overhaul pembangkit?”. Analisa dimulai pada alat/sistem pembangkit PT. PJB UP GRESIK yang mengalami kegagalan setelah pemeliharaan overhaul pembangkit sesuai dengan data historis dari tahun 2014 - 2018.

4.1.3.3 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 pembangkit Unit Gresik. 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 pembangkit unit Gresik.

Tabel 4.9. Form FMEA Sistem Pembangkit PT. PJB UP Gresik

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

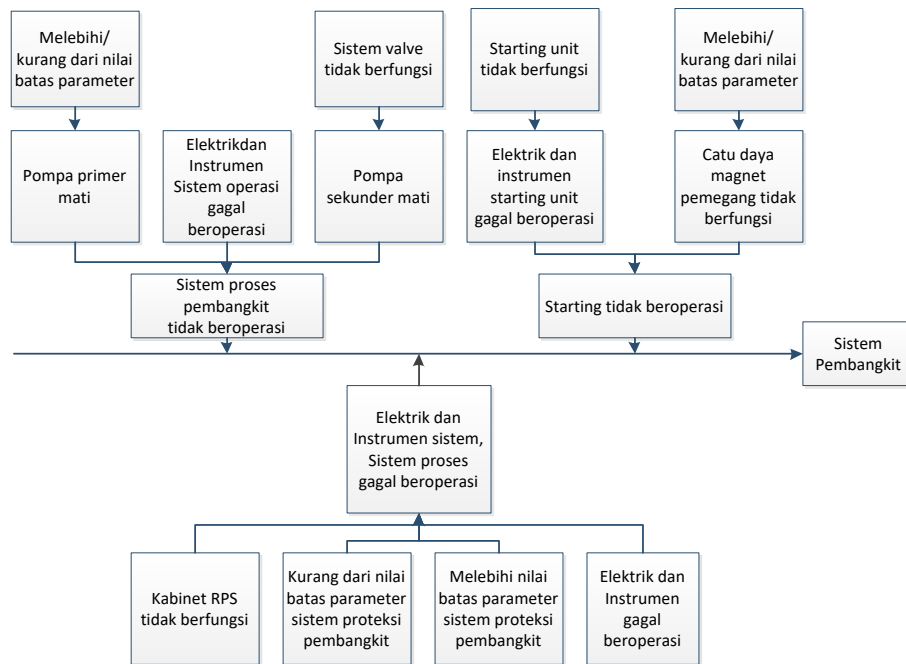
<i>Potensial failure mode</i>	<i>Potential effect of failure mode</i>	<i>Severity</i>	<i>Class</i>	<i>Potential causes of failure mode</i>	<i>Occurrences</i>	<i>Current control</i>	<i>Detection</i>	<i>Risk priority number (RPN)</i>

4.1.3.4 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 pembangkit Unit Gresik.

4.1.3.5 Identifikasi 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 pembangkit Unit Gresik.



Gambar 4.6 Diagram CFME Sistem Pembangkit Unit Gresik

4.1.3.6 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 pembangkit Unit Gresik.

4.1.3.7 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 4.10. Rating Keseriusan (*Severity*)

Skala	Severity	Description	Non productive time
10	Hazardous without warning	Dapat membahayakan operator dan sistem itu sendiri tanpa ada peringatan	>6 × 24 jam

9	<i>Hazardous with warning</i>	Dapat membahayakan operator dan sistem dengan ada peringatan terlebih dahulu	>5 – 6 × 24 jam
8	<i>Very high</i>	Kegagalan Mengganggu sistem secara total	>4 – 5 ×24 Jam
7	<i>High</i>	Kegagalan mengganggu 50% kerja sistem	>3 – 4 × 24 Jam
6	<i>Moderate</i>	Kegagalan mengganggu 25% kerja sistem	>2 - 3 × 24 Jam
5	<i>Low</i>	Kegagalan mengganggu 10% kerja Sistem	>- 2×24 jam
4	<i>Very low</i>	Kegagalan Mempengaruhi kerja sistem	>12 - 24 jam
3	<i>Minor</i>	Kegagalan memberi efek minor pada sistem	>6-12 jam
2	<i>Very minor</i>	Kegagalan memberi efek yang dapat diabaikan	>3-6 jam
1	<i>None</i>	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 4.11. Rating Frekuensi Kejadian (*Occurrence*)

Skala	<i>Occurence</i>	Kriteria verbal	<i>Possible failure rate</i>
10	<i>Very high</i>	Kegagalan yang terjadi terus menerus	≤ 1 in 2
9			1 in 3
8	<i>High</i>	Kegagalan yang sering terjadi	1 in 8
7			1 in 20
6	<i>Moderate</i>	Kegagalan yang kadang-kadang terjadi	1 in 80
5			1 in 400
4			1 in 2.000
3	<i>Low</i>	Kegagalan relatif sedikit	1 in 15.000
2	<i>Very low</i>	Kegagalan hampir tidak pernah terjadi	1 in 150.000
1	<i>Remote</i>	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 4.12. Rating Deteksi (*Detection*)

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

Sumber: Cayman Business System, 1964. Com, Failure Mode and Effect Analysis, 2002 dan JVC FMEA Module Training, ISO/TS 16949 yang dimodifikasi.

4.2 Analisa Data FMEA

4.2.1 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 wawancara kepada masing-masing anggota tim FMEA yang kemudian berdiskusi untuk menentukan rating dari tiap-tiap modus kegagalan yang terjadi.

4.2.2 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:

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

4.2.3 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 sistem Pembangkit PT. PJB UP Gresik yang mempunyai risiko kegagalan tertinggi. Nilai kegagalan sistem didapatkan dari hasil perhitungan RPN yang dilakukan oleh tim FMEA. Berikut adalah resiko kegagalan dengan nilai RPN yang sudah diranking:

Tabel 4.13. FMEA Daftar kegagalan

<i>Potential Failure</i>	<i>Potential Effect</i>	<i>Severity</i>	<i>Potential Causes</i>	<i>Occurence</i>	<i>Control</i>	<i>Detection</i>	<i>RPN</i>
Steam Drum level abnormal	Hasil Steam tidak terkontrol	3	Level Transmitter abnormal	8	Kalibrasi Level Transmitter, trouble shooting	2	48
OVER SPEED TEST Turbin abnormal	Turbin trip (mati)	8	Elektrikal dan mekanikal tidak berfungsi	3	Perbaiki elektrik dan mekanik over speed	5	120
HP TBV Press (CV) tidak berfungsi	Pressure Steam tidak terkontrol	5	Positioner abnormal, valve bocor	5	Pengecekan, trouble shooting	3	75
HP Aux CV Steam header Press ST 3.0 abnormal	Penunjukan produksi steam menyimpang	3	Transmitter press tidak berfungsi	8	Pengecekan, kalibrasi	3	72
Level HPH sering high	Produksi steam tidak stabil	4	Level Transmitter abnormal	8	Pengecekan, kalibrasi, trouble shooting	2	64
LPH muncul alarm level high-low.	Sistem heater steam terganggu	5	Level Transmitter abnormal	8	Pengecekan, kalibrasi, trouble shooting	2	80
HP TBV HRSG gagal beroperasi	Aliran steam ke turbin akan terganggu	6	Positioner rusak, tekanan steam yang besar	7	Penggantian positioner, trouble shooting	5	210
Safety valve soot blower boiler abnormal	Safety valve tidak berfungsi	3	Valve macet	4	Pengecekan, trouble shooting	3	36

Tabel 4.13. FMEA Daftar kegagalan (Lanjutan)

<i>Potential Failure</i>	<i>Potential Effect</i>	<i>Severity</i>	<i>Potential Causes</i>	<i>Occurrence</i>	<i>Control</i>	<i>Detection</i>	<i>RPN</i>
Flame scanner detektor no flame	Flame tidak terdeteksi	3	Scanner rusak atau putus	7	Pengecekan dan uji fungsi sebelum operasi	4	84
Pompa HP BFP mati	Supply air berkurang	7	Unbalance, bearing panas, motor mati	7	Pengecekan dan uji fungsi sebelum operasi	4	196
Hotwell condenser alarm level high	Sistem heater steam terganggu	3	Level Transmitter abnormal	8	Pengecekan, kalibrasi, trouble shooting	3	72
Level minyak Aux Transformer low	Trafo panas dan trip	8	Preventive maintenance tidak berjalan	3	Pengecekan dan mengisi minyak trafo berkala	1	24
Penunjukan Vacuum Condensor abnormal	Tekanan vacuum tekanan menurun	3	Pompa vacuum rusak, condensor bocor	3	Pengecekan dan leak test sebelum operasi	5	45
Priming vacum pump minta pengecekan	Vacuum steam turun	4	Pompa rusak, bearing motor crack	5	Penggantian bearing, pengecekan pompa	3	60
Hotwell condenser alarm level high	Flow fluida terganggu	3	Level Transmitter abnormal	8	Pengecekan, kalibrasi, trouble shooting	3	72
Pompa BCP Vibrasi tinggi	Pompa trip, supply air berkurang	6	Missallignment, bearing rusak, shaft abnormal	8	Pengecekan, perbaikan, tes sebelum operasi	4	192
Pompa injeksi amoniak rusak	Tekanan, flow, level drop	3	Instrument, elektrik short, bearing panas, motor mati	5	Pengecekan dan uji fungsi sebelum operasi	1	15

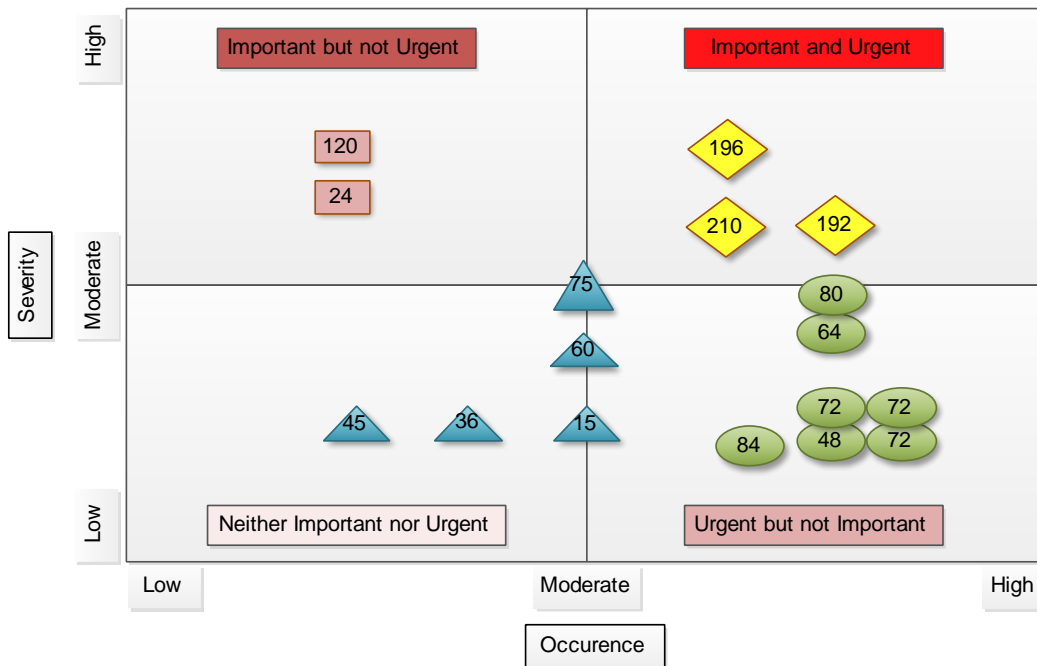
Tabel 4.14. Daftar Resiko Kegagalan dengan Nilai RPN Tertinggi

No.	Daftar Resiko Kegagalan Operasi Pembangkit PT. PJB UP Gresik	Risk Priority Number
1	HP TBV HRSG gagal beroperasi	210
2	Pompa HP BFP mati	196
3	Pompa BCP Vibrasi tinggi	192

Pemilihan tiga kegagalan sistem diatas berdasarkan hasil perhitungan nilai RPN tertinggi yang diperoleh masing-masing sistem. Dapat dilihat bahwa HP

TBV HRSG gagal beroperasi mendapatkan nilai RPN terbesar yaitu 210, kemudian Pompa HP BFP mati, dan Pompa BCP Vibrasi tinggi.

Berdasarkan analisa tingkat *severity* dan *occurrence* dengan pihak perusahaan, terdapat beberapa moda kegagalan yang menyebabkan terjadinya pemborosan yang memiliki tingkat prioritas utama yang perlu dievaluasi dan diperbaiki oleh perusahaan. Pemetaan tingkat prioritas akar masalah dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.7 FMEA *priority matrix*

Tiga kegagalan tabel tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut.

- HP TBV HRSG gagal beroperasi

Berdasarkan tabel dan hasil *brainstorming* tim FMEA, penyebab kegagalan HP TBV HRSG gagal beroperasi adalah Tidak liniernya perintah dari ruang kontrol terhadap pergerakan aktual HP TBV (*High Pressure Turbine Bypass Valve*). Pada pembangkit banyak sekali parameter yang harus dipenuhi/ disetting 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 turbin unit tidak bisa beroperasi sesuai fungsinya.

- Pompa HP BFP mati

Berdasarkan tabel dan hasil *brainstorming* tim FMEA, penyebab kegagalan Pompa HP BFP mati adalah motor penggerak tidak dapat berfungsi. Motor penggerak dalam sistem ini berfungsi untuk menggerakkan pompa. Kerusakan tersebut dapat berupa motor penggerak macet, dan kegagalan ini menyebabkan sistem boiler unit tidak dapat beroperasi sesuai fungsinya.

- Pompa BCP Vibrasi tinggi

Berdasarkan tabel dan hasil *brainstorming* tim FMEA, penyebab kegagalan pompa BCP vibrasi tinggi adalah *instrument* mendeteksi vibrasi tinggi pada shaft pompa, bearing panas dan/atau motor mati mendadak. Kerusakan tersebut mengakibatkan tekanan, *flow*, *temperature* dan *level* yang berfungsi sebagai indikator parameter akan memberikan sinyal proteksi untuk memadamkan/mematikan pembangkit dan juga akan menyebabkan sistem proses pembangkit tidak beroperasi.

4.2.4 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 63sistem operasi 63sistem pembangkit PT.PJB UP Gresik.

Dari form FMEA dapat dilihat titik kritis pada sistem operasi pembangkit PT. PJB UP Gresik yang mempunyai nilai RPN tertinggi, artinya alat ini memberi kontribusi terbesar terhadap kegagalan pada 63sistem operasi pembangkit PT. PJB UP Gresik yaitu:

Sistem	: Operasi Pembangkit PT.PJB UP Gresik
Sub Sistem	: Boiler
Nama komponen	: HP TBV HRSG (<i>High Pressure Turbine Bypass Valve</i>)
Fungsi komponen	: Bertanggung-jawab atas mengatur jumlah steam yang akan dialirkan melalui <i>HP Turbine Bypass Valve</i>
Modus kegagalan	: HP TBV HRSG gagal beroperasi
Dampak potensial	: Aliran steam ke turbin akan terganggu
Penyebab potensial	: Positioner rusak, Tekanan steam yang besar
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 tiga 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 4.15. Tindakan Rekomendasi Resiko Kegagalan RPN Tertinggi

No.	Daftar Resiko Kegagalan Operasi Sistem Pembangkit PT PJB Gresik	RPN	Tindakan Rekomendasi
1.	HP TBV HRSG gagal beroperasi	210	setting parameter dan uji fungsi sebelum operasi
2.	Pompa HP BFP mati	196	Pengecekan dan uji fungsi Pompa dan motor
3.	Pompa BCP Vibrasi tinggi	192	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 HP TBV HRSG gagal beroperasi, penyetingan yang dilakukan untuk mengatur nilai parameter tiap sistem agar sesuai dengan nilai batas parameter yang ditentukan sebelum melakukan operasi, dan melakukan uji fungsi individual valve.
- Pompa HP BFP mati, uji fungsi yang dilakukan adalah untuk memastikan pompa dapat beroperasi sesuai fungsinya yaitu untuk melakukan penyetelan antara shaft pompa dan motor,
- Pompa BCP Vibrasi tinggi, pengecekan dan uji vibrasi 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 pembangkit.

Berikut adalah uji fungsi yang dilakukan untuk uji fungsi untuk HP TBV HRSG gagal beroperasi dapat dilakukan dengan melakukan pengecekan *stroking valve* dan *individual loop test* sesuai jadwal dan prosedur pemeliharaan, pemeriksaan kondisi valve sebelum melakukan pengoperasian pembangkit.

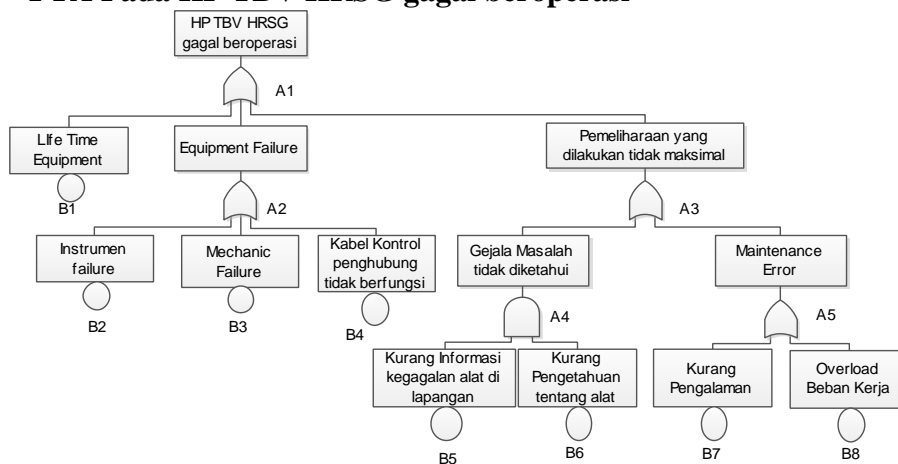
Uji fungsi untuk kegagalan pompa HP BFP mati dapat dilakukan dengan melakukan pengecekan sesuai jadwal dan prosedur pemeliharaan, pemeriksaan kondisi bearing, level oli motor atau pompa sebelum melakukan pengoperasian pembangkit. Sedangkan uji fungsi untuk kegagalan pompa BCP Vibrasi tinggi dapat dilakukan dengan melakukan pengecekan vibrasi bearing berkala sesuai jadwal dan prosedur pemeliharaan, pemeriksaan kondisi bearing, level oli motor atau pompa sebelum melakukan pengoperasian pembangkit.

4.3 Analisa ResikoTiap Kegagalan dengan *Failure Tree Analysis* (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 pembangkit PT.PJB UP Gresik yang terdiri dari setiap *basic event* berdasarkan beberapa *cause factor* seperti pada gambar dibawah ini.

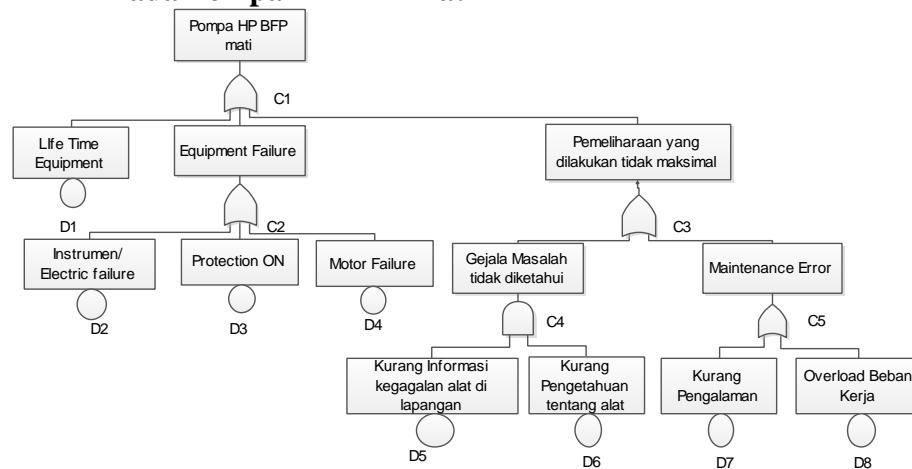
4.3.1 FTA Pada HP TBV HRSG gagal beroperasi



Gambar 4.8. *Logic expression* HP TBV HRSG gagal beroperasi

Minimal *cut sets* yang merupakan *basic events* HP TBV HRSG 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 *instrument failure*, *machanic failure*, kabel kontrol penghubung 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.

4.3.2 FTA Pada Pompa HP BFP mati

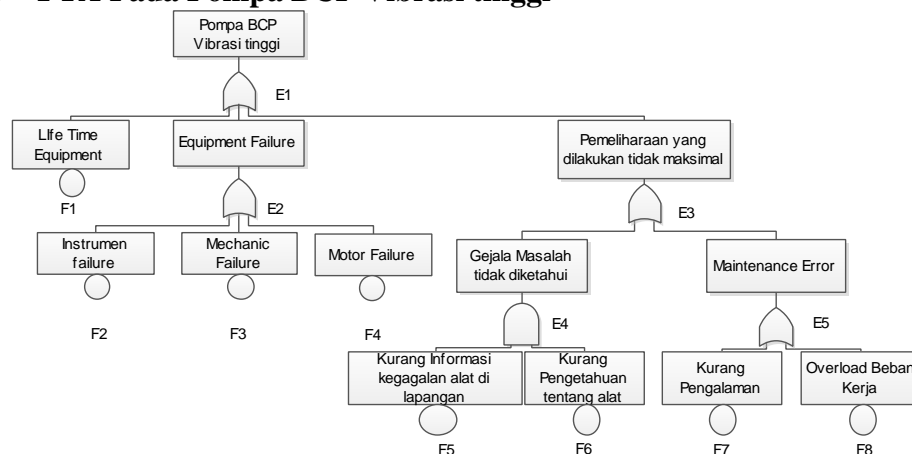


Gambar 4.9. Logic expression Pompa HP BFP mati

Minimal cut sets yang merupakan *basic events* unit penggerak *drive unit* 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 *instrument/electric failure*, *protection ON*, *motor failure*.

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.

4.3.3 FTA Pada Pompa BCP Vibrasi tinggi



Gambar 4.10. Logic expression Pompa BCP Vibrasi tinggi

Minimal *cut sets* yang merupakan *basic events* unit penggerak *drive unit* 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 *instrument failure, mechanic failure, motor failure*. 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.

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.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Berdasarkan data history gangguan yang terjadi di PT. PJB UP Gresik, jumlah tertinggi terjadi di 2017 sebesar 26.73% dan terendah pada 2016 sebesar 7.92%. Sedangkan gangguan terbanyak terjadi pada turbin sistem sebesar 36.63% dan terkecil pada *common system* sebesar 28.41%
2. Gangguan operasi yang terjadi pasca overhaul pembangkit pada di PT.PJB UP Gresik disebabkan adanya pompa BCP Vibrasi tinggi. Dimana gangguan tersebut dikarenakan kabel kontrol penghubung tidak berfungsi. Selain itu kurang informasi kegagalan alat dilapangan dan kurangnya tenaga ahli yang berpengalaman. Dengan mengurangi kegagalan tersebut diharapkan kemungkinan terjadinya kegagalan operasi pembangkit berkurang. Selain itu, gangguan pada pompa HP BFP mati yang terjadi pada *auxiliary sistem* juga menjadi penyebab gagalnya operasi suatu pembangkit memiliki bobot RPN sebesar 196. Sedangkan penyebab lain terjadinya gangguan ini dikarenakan pompa BCP vibrasi tinggi sehingga supply air untuk sirkulasi operasi pembangkit menurun.
3. Alternatif penanganan gangguan peralatan yaitu dengan meningkatkan perawatan preventif dan korektif, memberikan informasi historical kegagalan alat dilapangan agar bisa menganalisis peralatan lebih detail. Selain itu, perlu adanya pelatihan intensif tentang peralatan, dan memberikan pengaturan beban kerja secara merata.

5.2 Saran

Hasil Analisa dan penilaian resiko penyebab kegagalan sistem pembangkit di PT. PJB UP Gresik telah dilakukan. Berdasarkan dari penilaian kegagalan yang terjadi di lapangan, permasalahan utama terdapat pad HP TBV HRSG gagal beroperasi, pompa HP BFP mati, dan pompa BCP Vibrasi tinggi. Sedangkan beberapa alternatif perbaikan seperti: Perlu adanya pengecekan *life time* peralatan, penambahan informasi kegagalan alat dilapangan, penambahan pengetahuan tentang alat, penambahan pengalaman dan pengaturan beban kerja yang jelas.

Perusahaan diharapkan lebih sering melakukan *continuous improvement* dan melakukan penilaian proses overhaul di lapangan sehingga meningkatkan produktivitas dan mengurangi risiko-risiko dilapangan terutama kegagalan operasi peralatan pembangkit

Hasil Analisa dan penilaian resiko penyebab gangguan operasi pasca overhaul pembangkit listrik di PT.PJB UP Gresik telah dilakukan. Berdasarkan dari penilaian gangguan yang terjadi di lapangan, HP TBV HRSG gagal beroperasi, pompa HP BFP mati, dan pompa BCP Vibrasi tinggi menjadi permasalahan utama penyebab kegagalan operasi pasca overhaul pembangkit. Sedangkan beberapa alternatif perbaikan seperti meningkatkan perawatan preventif dan korektif, memberikan informasi historical kegagalan alat, pelatihan intensif tentang peralatan, dan memberikan pengaturan beban kerja secara merata disarankan untuk perusahaan.

Saran dan masukan untuk penelitian selanjutnya adalah:

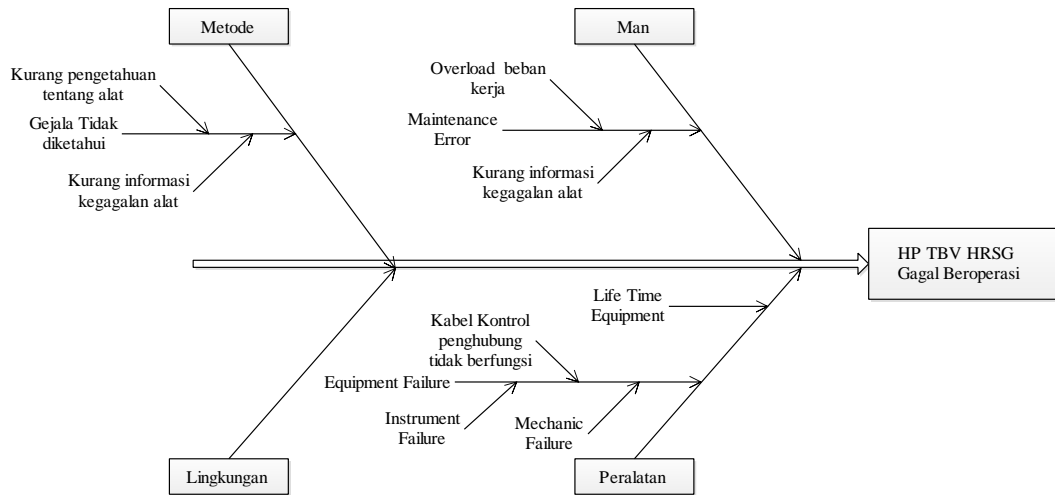
1. Penelitian dapat dilakukan dengan probabilistic safety assessment/analysis (PSA) yang menganalisa dari lingkup yaitu:
 - a. Level 1: Probabilitas/frekuensi kerusakan peralatan
 - b. Level 2: Resiko terhadap pekerja dan lingkungan.
2. Penelitian juga dapat melibatkan faktor keselamatan/dampak keselamatan dari kegagalan sistem yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

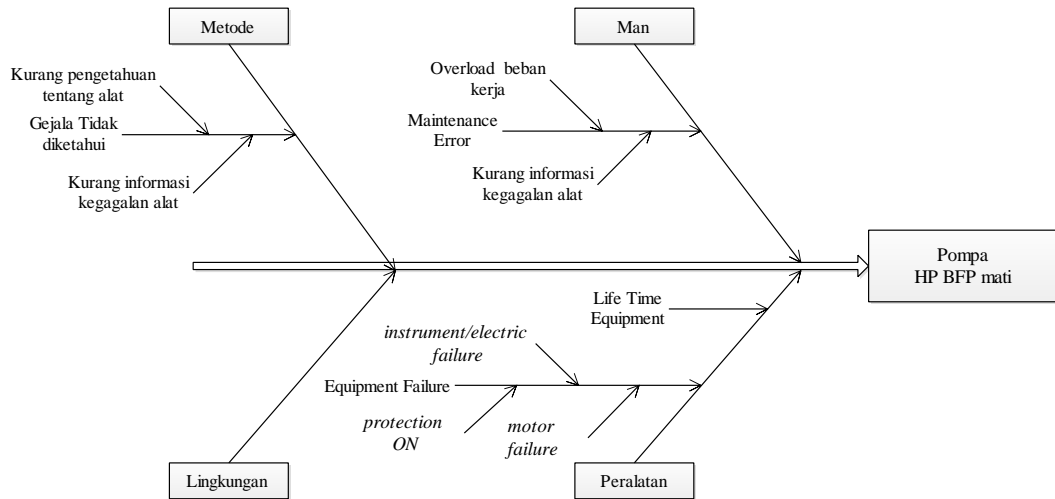
- Bluvband, Zigmund,. Nakar, Oren,. & Grabov, Pavel. Expanded FMEA (EFMEA). ALD Ltd,. Motorola Ltd.
- Cheng, Guangxu., Zhang, Yaoheng., & Liu, Yajie. (2005). *Reliability Analysis Techniques Based On FTA For Reactor-Regenerator System*. Beijing, China. International Conference on Structural Mechanics 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. Sunarlim, Monika. (2001). Perancangan Program Pemeliharaan Mesin Produksi dalm Upaya Penerapan *Preventive Maintenance* (PM) di PT. Schering Indonesia. Depok: Skripsi Teknik Industri Universitas Indonesia.PT. Pembangkitan Jawa Bali. “JASA OPERASI DAN PEMELIHARAAN.”<https://www.ptpjb.com/jasa-operasi-dan-pemeliharaan/>(diakses tanggal 1 April 2019)

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

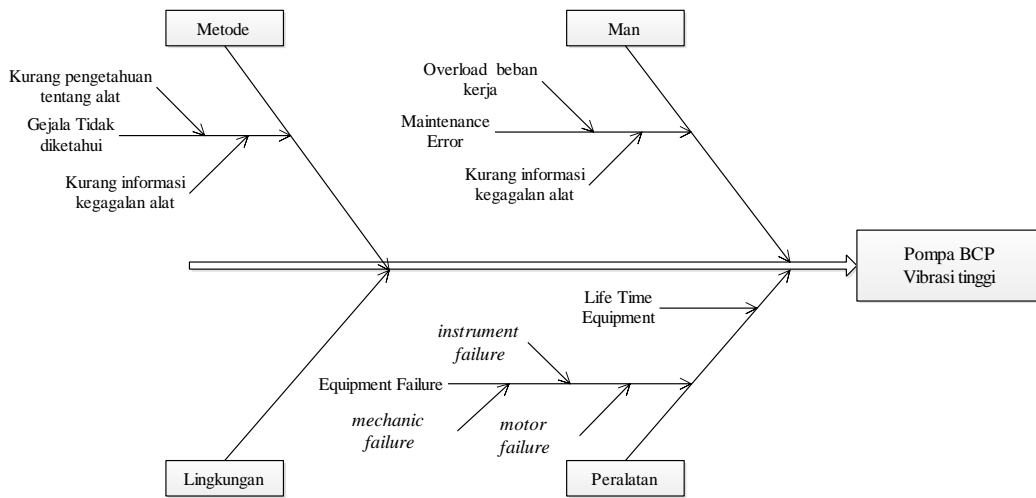
LAMPIRAN



Fishbone Diagram HP TBV HRSG gagal beroperasi



Fishbone Diagram Pompa HP BFP mati



Fishbone Diagram Pompa BCP Vibrasi tinggi