



TESIS - BM185407

**MANAJEMEN MITIGASI KEBAKARAN PADA PLTU
DENGAN MENGGUNAKAN METODE FMEA STUDI
KASUS PT. PJB UBJOM PACITAN**

**MUCHAMMAD JATI NUGROHO
NRP. : 09211850015031**

Dosen Pembimbing:

PROF. DR. techn. M. ISA IRAWAN, M.T.

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

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **Muchamad Jati Nugroho**

NRP:09211850015031

Tanggal Ujian: 3 Juli 2020

Periode Wisuda: 26 September 2020

Disetujui oleh:

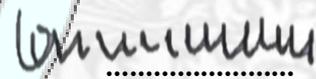
Pembimbing:

1. Prof. Dr. techn. **Mohammad Isa Irawan, M.T.**
NIP: 196312251989031001



Penguji:

1. Prof. Dr. Ir. **Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc**
NIP: 195903181987011001



2. Prof. Ir. **Moses Laksono Singgih, M.Sc, P.hD**
NIP: 195908171987031002



Kepala Departemenen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital

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



MANAJEMEN MITIGASI KEBAKARAN PADA PLTU DENGAN MENGGUNAKAN METODE FMEA STUDI KASUS PT. PEMBANGKITAN JAWA BALI UBJOM PACITAN

Nama mahasiswa : Muchamad Jati Nugroho
NRP : 09211850015031
Pembimbing : Prof. Dr. techn. M. Isa Irawan M.T.

ABSTRAK

Kebakaran adalah salah satu risiko tertinggi dalam menggunakan batu bara sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik. Kebakaran batu bara sering terjadi di area *coal handling facility* dan disebabkan oleh kerusakan peralatan, akumulasi debu batu bara yang belum dibersihkan, *self-combustion* serta ketidakpatuhan terhadap prosedur operasional standar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penerapan metode FMEA untuk analisis akar penyebab kebakaran di PLTU dengan studi kasus pembangkit listrik tenaga uap di Pacitan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mencari *root cause* agar manajemen perusahaan dapat melakukan mitigasi dengan responden dari karyawan PT. UBJOM PACITAN di level manajer dan supervisor. Dalam menerapkan FMEA, tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi diperlukan untuk menghasilkan nomor level risiko. Berdasarkan penelitian ini, ditemukan 15 jenis kegagalan peralatan pada fasilitas penanganan batu bara operasional di PT PJB UBJOM Pacitan. Dengan menggunakan metode FMEA dapat ditemukan 6 jenis kegagalan yang membutuhkan perhatian lebih yaitu debu pada batu bara yang berpotensi menyebabkan *self-combustion*, *self-combustion* batu bara di tongkang, *hot surfaces*, *self-combustion* di *coal yard*, *hot work* tidak berizin dan *crusher body* berlubang.

Kata kunci: , Kebakaran, FMEA, Pembangkit Listrik Pacitan

ANALYSIS OF ROOT CAUSE OF FIRES IN COAL POWER PLANT USING FMEA STUDY CASE METHOD OF PT. PEMBANGKITAN JAWA BALI UBJOM PACITAN

By : Muchamad Jati Nugroho
Student Identity Number : 09211850015031
Supervisor : Prof. Dr. techn. M. Isa Irawan M.T.

ABSTRACT

Fire is one of the highest risks in using coal as fuel for electricity generation. Coal fires often occur in *coal handling* facility areas and are caused by equipment damage, accumulation of coal dust that has not been cleaned, self-combustion and non-compliance with standard operational procedures. This study aims to find out how the application of the FMEA method for the analysis of the root causes of fires in the Coal Fired Power Plant with a case study of the Pacitan steam power plant using a quantitative approach to find root cause in order to do its prevention with respondents from PT. PACITAN UBJOM at manager and supervisor level. In implementing FMEA, the severity, events, and detection are needed to produce a risk level number. Based on this research, 15 types of equipment failures were found at the operational *coal handling* facility at PT PJB UBJOM Pacitan. By using the FMEA method, 6 types of failures can be found that require more attention, namely dust on coal which has the potential to cause self-combustion, coal self-combustion in the area, hot surfaces, self-combustion in coal yards, Hot work is not licensed and crusher body with holes.

Keywords: coal; Fire; FMEA; Pacitan Power Plant

KATA PENGANTAR

Puji syukur dan terima kasih ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian tesis ini. Selesainya proposal tesis ini tidak terlepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. karena atas karunia-Nya penulis dapat melanjutkan pendidikan ke jenjang lebih tinggi.
2. Prof. Dr. techn. M. Isa Irawan M.T., selaku dosen pembimbing, Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc., M.Reg.Sc. selaku dosen penguji tesis yang dengan dukungan penuh memberikan bimbingan, semangat dan petunjuk yang sangat berharga hingga proposal tesis ini selesai.
3. Seluruh Dosen MMT ITS yang telah memberikan banyak ilmu, segenap karyawan/karyawati yang juga turut serta membantu keberlangsungan kegiatan kuliah.
4. Isti Rahayu dan Mellya Voltina Nugroho, keluargaku tercinta yang selalu memberikan dukungan, nasehat dan kasih sayangnya.
5. Rekan kerja yang telah membantu dalam proses pengarahannya prosedur pengambilan data untuk penelitian ini, khususnya di PLTU Pacitan.
6. Rekan-rekan Manajemen Industri MMT ITS Angkatan 2018 genap, khususnya Salman Alparysi dan tim Volk. Serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan proposal tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Apabila terdapat kesalahan dan kekurangan, penulis memohon saran dan kritik dari pembaca sehingga menjadi masukan yang bermanfaat untuk penyempurnaan proposal tesis ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 3 Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	II
ABSTRAK.....	III
ABSTRACT	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR.....	IX
DAFTAR TABEL	XI
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI.....	7
2.1 Teori Api.....	7
2.1.1 <i>Fire Triangle</i>	7
2.1.2 Tetrahedron of Fire.....	8
2.1.3 Batu bara	9
2.1.4 Swabakar / <i>Self-combustion</i>	10
2.2 Pengertian Sistem Pemadam Kebakaran.....	12
2.2.1 Program Pencegahan Kebakaran	13
2.2.2 Sistem pemadaman.....	14
2.2.3 Sistem Evakuasi	15
2.3 Proses Produksi PLTU.....	15
2.4 Peralatan Utama <i>coal handling facility</i>	18
2.4.1 <i>Conveyor</i>	18
2.4.2 <i>Ship unloader</i>	19

2.4.3	<i>Stacker Reclaimer</i>	20
2.4.4	<i>Transfer Tower</i>	20
2.4.5	<i>Hopper</i>	21
2.4.6	Diverter Gate	22
2.4.7	Coal Plough	23
2.4.8	Bunker/ Silo	24
2.5	Definisi Risiko	24
2.5.1	Identifikasi Risiko	24
2.5.2	<i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	27
2.5.3	Keuntungan dan Keterbatasan FMEA	28
2.5.4	Menentukan <i>Severity, Occurrence, Detection</i> dan RPN	28
2.5.4.1	<i>Severity</i>	28
2.5.4.2	<i>Occurrence</i>	30
2.5.4.3	<i>Detection</i>	31
2.5.4.4	<i>Risk Priority Number (RPN)</i>	32
2.6	Kasus <i>Lesson Learnt</i> dan Penelitian terdahulu	32
2.6.1	Kasus <i>Lesson Learnt Self-combustion</i>	32
2.6.2	Penelitian Terdahulu	36

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 37

3.1	Rancangan Penelitian	37
3.2	Lokasi dan Waktu penelitian	37
3.3	Subjek Penelitian	37
3.4	Perancangan Kuesioner Penelitian	39
3.5	Pengumpulan Data	39
3.6	Identifikasi Risiko	39
3.6.1	Pemberian Nilai	40
3.6.2	Pengolahan dan Analisis Data	41
3.6.3	Rencana Mitigasi	41
3.7	Penarikan Kesimpulan dan Saran	41

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... 43

4.1	Pengenalan PT. PJB UBJOM PLTU PACITAN dan <i>Coal handling Facility</i>	43
4.2	<i>Coal Handling Facility</i>	46
4.2.1	Pelabuhan	46
4.2.2	<i>Conveyor System</i>	48
4.2.3	<i>Transfer Tower</i>	49
4.2.4	Coal Yard	50
4.2.5	<i>Crusher</i>	52
4.2.6	Coal Bunker	52
4.2.7	Fire Protection System	55
4.2.8	Safety Culture PLTU Pacitan	55
4.2.9	<i>Housekeeping</i>	56
4.3	Penentuan Potensi <i>Failure</i> Kebakaran Dalam Operasional <i>coal handling facility</i>	56
4.4	Standar Rating	60
4.5	Analisis Data FMEA	62
4.6	Penentuan Mitigasi Resiko Jenis <i>Failure</i> diarea CHF	64

4.6.1 Mitigasi Resiko Banyak yang berdebu.....	65
4.6.1.1 Debu dari Tambang	65
4.6.1.2 Debu di <i>coal yard</i>	66
4.6.2 <i>Self-combustion</i> di Tongkang.....	67
4.6.3 Hot Surfaces	68
4.6.4 Self-Combustion di Coal Yard	69
4.6.5 <i>Hot Work</i> Tidak Berizin.....	70
4.6.6 <i>Crusher Body</i> lubang	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 PLTU Pacitan	1
Gambar 1. 2 Grafik histori <i>self-combustion</i> /kebakaran di CHF PLTU Pacitan	2
Gambar 2. 1 <i>Fire Triangle</i>	7
Gambar 2. 2 <i>Tetrahedron Fire</i>	8
Gambar 2. 3 Siklus Produksi PLTU Batu bara.....	16
Gambar 2. 4 <i>Conveyor</i>	19
Gambar 2. 5 <i>Ship unloader</i> PLTU Pacitan.....	19
Gambar 2. 6 <i>Stack Reclaimer</i> PLTU Pacitan	20
Gambar 2. 7 <i>Transfer Tower</i> PLTU Pacitan	21
Gambar 2. 8 <i>Conveyor Hopper</i> PLTU Pacitan.....	22
Gambar 2. 9 <i>Diverter Gate</i>	23
Gambar 2. 10 <i>Coal Plough</i> PLTU Pacitan.....	23
Gambar 2. 11 Bunker/Silo PLTU Pacitan Unit 1	24
Gambar 2. 12 Langkah-langkah Metode FMEA	27
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	38
Gambar 4. 1 Unit PLTU PT. PJB UBJOM Pacitan 2 x 315 MW	43
Gambar 4. 2 Sistem Distribusi Energi Listrik Pulau Jawa dan Bali	44
Gambar 4. 3 Pelabuhan Khusus PLTU Pacitan	46
Gambar 4. 4 Proses <i>Ship unloader</i> PLTU Pacitan <i>Unloading</i> dari Kapal Pengangkut Jenis <i>Vessel</i>	47
Gambar 4. 5 <i>Transfer Tower</i> 2 dan <i>Belt conveyor</i> 2 di dalam TT 2.....	48
Gambar 4. 6 <i>Transfer Tower</i> No. 3.....	49
Gambar 4. 7 <i>System Dust Suppression</i> di <i>Belt Conveyor</i>	50

Gambar 4. 8 <i>Stacker Reclaimer</i> PLTU Pacitan	51
Gambar 4. 9 Peralatan <i>Emergency Reclaimer Hopper</i>	51
Gambar 4. 10 Peralatan <i>Crusher</i>	52
Gambar 4.11 Area Bunker PLTU Pacitan Unit 1	53
Gambar 4.12 <i>V plough</i> area <i>V</i>	53
Gambar 4.13 <i>Dust Collector</i> Area <i>Tripper</i> PLTU Pacitan.....	53
Gambar 4. 14 Pipa <i>line steam</i> di area BC 6.....	54
Gambar 4. 15 Jalur Sistem <i>Coal handling System</i>	57
Gambar 4. 16 Grafik Ranking RPN dengan Metode FMEA.	63
Gambar 4. 17 Grafik <i>trending</i> temperatur batu bara menggunakan <i>surfactance</i> ..	65
Gambar 4. 18 <i>Dust Suppression</i> di <i>Ship unloader</i>	66
Gambar 4. 19 Desain <i>Hi-Pressure Fog Spray Dust Suppression</i>	66
Gambar 4. 20 <i>Water Fogging Fan</i>	67
Gambar 4. 21 <i>Thermal Imaging Spot</i>	68
Gambar 4. 22 Konfigurasi <i>Thermal Imaging Detector and Automatic Suppression System</i> untuk area <i>Conveyor System</i>	72
Gambar 4. 23 Konfigurasi <i>Thermal Imaging Detector Alarm system</i> area <i>coal yard</i>	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kriteria Evaluasi dan Sistem Peringkat untuk <i>Severity of Effect</i>	29
Tabel 2. 2 Rating Skala <i>Occurrence</i>	30
Tabel 2. 3 Petunjuk Nilai <i>Detection</i>	31
Tabel 2.4 Persentase ledakan yang terjadi di berbagai peralatan produksi dengan berbagai macam kategori debu/bahan.	33
Tabel 2.5 Persentase sumber penyalaan yang mengakibatkan <i>self-combustion</i> /kebakaran pada berbagai peralatan di <i>coal handling facility</i>	34
Tabel 2. 6 Persentase berbagai jenis sumber penyalaan yang dapat memicu bahan sehingga mengakibatkan terjadinya <i>self-combustion</i> /kebakaran.....	35
Tabel 4. 1 Informasi Kapasitas PLTU Pacitan	44
Tabel 4. 2 Informasi Data Operasional PT. PJB UBJOM PLTU Pacitan.....	45
Tabel 4. 3 Data Spesifikasi Breakwater Pelabuhan PLTU Pacitan	47
Tabel 4. 4 Man Power dan Jadwal <i>Cleaning area CHF</i>	56
Tabel 4. 5 Root Cause Failure Analysis <i>Coal handling Facility</i>	58
Tabel 4. 6 Jenis <i>Failure</i> pada Operasional <i>coal handling facility</i>	60
Tabel 4. 7 Nilai <i>Detection</i>	61
Tabel 4. 8 <i>Matriks</i> Risiko di PT PJB	62
Tabel 4. 9 Nilai Occ, Sev, Det, dan RPN.....	63
Tabel 4. 10 Risiko Kritis berdasarkan FMEA.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan hal-hal yang meliputi: latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, kontribusi dan manfaat penelitian.

1.1 Latar Belakang

Dalam mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan menggunakan batu bara tipe *Low Rank Coal*, pengawasan yang ketat terhadap debu dan swabakar batu bara sangat perlu dilakukan penanganan ekstra agar proses operasional PLTU dalam menghasilkan listrik dapat berjalan dengan aman serta terhindar dari bahaya kebakaran.



Gambar 1. 1 PLTU Pacitan

PLTU adalah salah satu jenis instalasi pembangkit tenaga listrik di mana tenaga listrik dihasilkan dari mesin turbin yang diputar oleh uap yang dihasilkan melalui proses pemanasan menggunakan batu bara di boiler. PLTU merupakan sumber utama dari listrik dunia saat ini. Sekitar 60% listrik dunia bergantung pada batu bara, hal ini dikarenakan PLTU bisa menyediakan listrik dengan harga yang

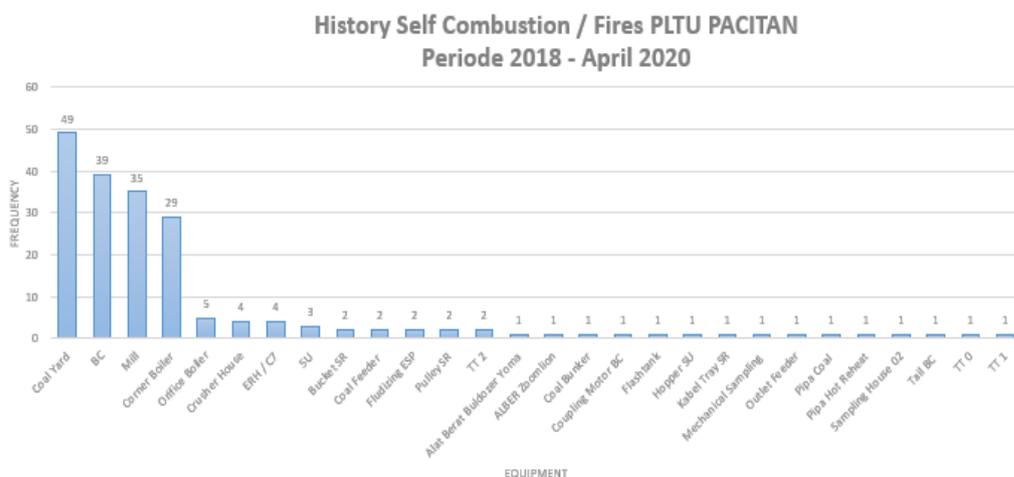
murah. Kelemahan utama dari PLTU adalah pencemaran emisi karbonnya sangat tinggi, paling tinggi dibanding bahan bakar lain.

Batu bara adalah bahan bakar padat yang mengandung gas metana, oleh karena itu pemanfaatan batu bara akan melibatkan biaya tinggi untuk alat yang diperlukan bagi penanganan (*coal handling*) dan pembakaran batu bara. Penanganan batu bara membutuhkan beberapa perilaku khusus karena batu bara sendiri dapat menyebabkan kecelakaan saat proses operasional *coal handling facility* karena:

1. Dapat terbakar sendiri
2. Dapat menimbulkan ledakan
3. Dapat menimbulkan pencemaran, jika angin kencang debunya beterbangan.

Kebakaran PLTU batu bara dapat terjadi disebabkan karena kerusakan pada peralatan, terjadinya swabakar akibat penumpukan debu batu bara yang tidak dilakukan pembersihan. Kebakaran tersebut dapat menimbulkan kerugian aset yang besar serta dapat menimbulkan korban luka-luka bahkan sampai meninggal.

Dari data histori bidang K3 PT. PJB UBJOM PACITAN yang menunjukkan bahwa telah terjadi sebanyak 192 peristiwa *self-combustion/* kebakaran yang terjadi di PLTU Pacitan periode tahun 2018 – bulan April 2020 yang ditunjukkan pada gambar 1.2. Grafik ini menggambarkan bahwa pentingnya segera dilakukan pengukuran risiko serta mitigasinya untuk pencegahan *self-combustion* di area *coal handling facility*.



Gambar 1. 2 Grafik histori *self-combustion/*kebakaran di CHF PLTU Pacitan

Manajemen Risiko adalah suatu sistem pengelolaan risiko yang dihadapi oleh organisasi secara komprehensif untuk tujuan meningkatkan nilai perusahaan (Hanafi, 2014). Pentingnya memetakan risiko proses operasional *coal handling facility* adalah agar operasional PLTU dapat berjalan dengan aman, lancar dan handal dalam memproduksi listrik.

Dengan penerapan manajemen risiko yang tepat akan memberikan efek yang besar bagi seluruh bidang kerja mulai dari operasi, pemeliharaan dan Enjiniring. Dari segi operasi, operator mengantisipasi agar tidak terjadi kerusakan pada peralatan *coal handling*. Bidang pemeliharaan berbenah dengan lebih sering melakukan prediktif *maintenance* agar tidak terjadinya kegagalan peralatan. Divisi Enjiniring mengkaji lebih dalam umur suatu peralatan *coal handling*.

Analisis Risiko adalah rangkaian proses yang dilakukan dengan tujuan mengukur risiko tersebut dan mengevaluasi risiko tersebut. Tujuan evaluasi risiko adalah untuk memahami karakteristik risiko dengan lebih baik. Jika kita memperoleh pemahaman yang lebih baik, maka risiko akan lebih mudah dikendalikan. Evaluasi yang lebih sistematis dilakukan untuk ‘mengukur’ risiko tersebut (Hanafi, 2014). Pemahaman yang akurat tentang signifikansi tersebut akan menjadi dasar bagi pengelolaan risiko yang terarah dan berhasil.

Penerapan analisis Risiko pada kasus ini menggunakan FMEA untuk tiap peralatan agar tidak terjadi kegagalan operasi dan juga mengakibatkan kebakaran karena analisis FMEA melibatkan tim yang beragam dari orang-orang dengan latar belakang yang berbeda (misalnya mekanik, instrumen, elektrikal dan operasi), karena hal ini meningkatkan kemungkinan bahwa semua kegagalan akan diidentifikasi dan efek akan diestimasi dengan benar (Tinga, 2013) dalam (Constantinescu, 2017). Dari studi literatur yang ada banyak yang memilih penggunaan metode FMEA digunakan sebagai metode untuk mengidentifikasi mode kesalahan, untuk menilai konsekuensi dari kerusakan spesifik dan untuk subyektif menyimpulkan risiko dan sejumlah prioritas.

PT. PJB UBJOM PACITAN saat ini belum melakukan pemetaan Risiko bagi peralatan *coal handling* yang beroperasi di PLTU Pacitan. Peralatan *coal handling facility* memiliki peranan besar bagi berjalannya proses produksi PLTU. Maka fokus penelitian yang akan dibahas nantinya oleh peneliti adalah berkaitan dengan *risk assessment* terkait penyebab kebakaran pada operasional peralatan

coal handling facility. Nantinya *risk assessment* ini akan digunakan sebagai referensi untuk manajemen perusahaan dalam menentukan tindakan mitigasi terhadap peralatan *coal handling facility* PLTU.

1.2 Perumusan Masalah

Kebakaran yang setiap tahun terjadi menimbulkan kerugian yang besar baik materi, peralatan, lingkungan, dan manusia seperti cedera atau kematian serta terganggunya proses produksi. Berbagai upaya manajemen mitigasi telah dilakukan oleh PT. PJB, tetapi masih tetap terjadi kebakaran. maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini berupa:

1. Jenis kegagalan yang mungkin terjadi dan tingkat risikonya dalam operasional PLTU di area *coal handling facility*.
2. Bagaimana implementasi penggunaan FMEA yang dapat memberikan data risiko yang paling dominan dan diharapkan dapat menjadi dasar selanjutnya bagi manajemen perusahaan untuk menentukan langkah pencegahan atau mitigasi yang harus segera dilakukan.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini adalah untuk menganalisis faktor-faktor akar penyebab kebakaran pada PT. PJB PLTU Pacitan dengan data penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Data sekunder berdasarkan laporan kejadian atau laporan investigasi yang tercatat di bidang LK3-2 PT. PJB Kantor Pusat.
2. Wawancara dengan narasumber yang berkompeten dibidangnya terkait dengan data kegagalan serta tingkat risiko dalam operasional PLTU untuk selanjutnya di rangking dan dibandingkan dengan studi literatur untuk menentukan *Risk Priority Number*.
3. Pengolahan data dari hasil tingkat kegagalan untuk kebakaran batu bara menggunakan metode FMEA.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah:

1. Mengetahui jenis-jenis kegagalan yang terjadi dan besar nilai risikonya dalam operasional PLTU di area *coal handling facility*.
2. Dapat memberikan usulan solusi manajemen mitigasi dalam pengendalian, penanganan dan pencegahan terhadap potensi *self-combustion*/kebakaran di area *coal handling facility*.

1.5 Manfaat Penelitian

Bagi internal perusahaan, penelitian ini diharapkan akan memberikan informasi bagi manajemen perusahaan dalam menentukan mitigasi yang perlu segera ditetapkan untuk menghindari terjadinya kebakaran pada PLTU , serta usulan solusi dalam pengendalian, penanganan dan pencegahannya sehingga perusahaan mampu mengelola risiko terjadinya kebakaran pada area fasilitas penanganan batu bara.

Manfaat bagi perkembangan keilmuan adalah penerapan ilmu manajemen risiko yang merupakan bagian dari materi kuliah manajemen industri di MMT-ITS dapat diterapkan pada berbagai bidang industri termasuk industri listrik secara keseluruhannya.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI

Pada bab kajian pustaka dan teori diuraikan konsep yang berkaitan dengan topik yang diambil dalam penelitian ini untuk menentukan kerangka logis dan tahapan penelitian yang relevan.

2.1 Teori Api

Api tidak terjadi begitu saja tetapi merupakan suatu proses kimiawi antara uap bahan bakar dengan oksigen dan bantuan panas. Terdapat tiga teori dasar yang digunakan untuk menjelaskan terjadinya kebakaran. Teori tersebut adalah teori *Fire Triangle*, teori *Tetrahedron of Fire*.

2.1.1 *Fire Triangle*

Menurut teori ini (Crowl & Louvar, 2011), kebakaran terjadi karena adanya 3 faktor yang menjadi unsur api yaitu :

1. Bahan bakar (*fuel*)
2. Sumber panas (*heat*)
3. Oksigen



Gambar 2. 1 *Fire Triangle*
Sumber : internet¹

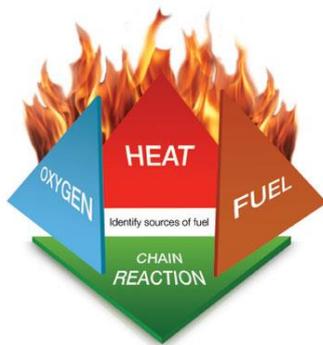
¹ <https://steemit.com/fireTriangle/@seuramoeoutdoor/fire-Triangle> diakses 1 Desember 2019 pukul 22.22 WIB

Kebakaran dapat terjadi jika ketiga unsur api tersebut saling bereaksi satu dengan lainnya. Tanpa adanya salah satu unsur tersebut, api tidak dapat terjadi. Kebakaran dapat terjadi jika ketiga unsur api tersebut saling bereaksi satu dengan yang lainnya. Jika salah satu unsur tersebut diatas dihilangkan maka tidak akan terjadi kebakaran. Teori segitiga api kemudian berkembang menjadi teori *Tetrahedron* di mana kebakaran dapat terjadi jika terdapat unsur keempat yang disebut reaksi berantai. Tanpa adanya reaksi pembakaran maka api tidak akan dapat hidup terus-menerus.

2.1.2 Tetrahedron of Fire

Dalam teori ini disebut ada empat komponen yang dibutuhkan untuk terjadinya kebakaran, yaitu: bahan bakar (*fuel*), sumber panas (*heat*), oksigen dan reaksi kimia (*chemical reaction*). Api tidak akan terjadi tanpa keberadaan keempat unsur tersebut.

Teori ini menyatakan bahwa ketika energi yang terdapat pada bahan bakar seperti hidrokarbon, beberapa ikatan karbon dengan karbon terputus dan menghasilkan radikal bebas. Sumber energi yang sama juga menyediakan kebutuhan energi untuk memutus beberapa rantai karbon dengan hidrogen sehingga menghasilkan radikal bebas lebih banyak. Selain itu, rantai oksigen dengan oksigen juga terputus dan menghasilkan radikal oksida.



Gambar 2. 2 Tetrahedron Fire

Sumber : Internet²

² Sumber : <https://fire-risk-assessment-network.com/blog/fire-Triangle-tetrahedron/> diakses 3 Mei 2020 pukul 3.33 WIB

Pada proses pemutusan rantai, terjadi pelepasan energi yang tersimpan dalam rantai tersebut. Energi yang lepas menjadi sumber untuk memutuskan rantai yang lain dan melepaskan lebih banyak energi lagi. Dengan demikian, kebakaran memberi makan sendiri dengan menciptakan atau melepaskan lebih banyak lagi energi (rantai reaksi). Proses tersebut baru akan berhenti jika bahan bakar telah habis terbakar, oksigen telah habis, energi diserap bukan oleh bahan bakar, atau reaksi terputus (Crowl & Louvar, 2011).

2.1.3 Batu bara

Batu bara (*coal*) merupakan sedimen batuan organik bersifat mudah terbakar (dengan komposisi utama karbon, hidrogen, dan oksigen) dan terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan selama periode waktu yang panjang (puluhan sampai ratusan juta tahun) yang disertai pula senyawa-senyawa anorganik terutama unsur mineral yang berasal dari lempung, pasir kuarsa, batu kapur dan sebagainya. Hal ini berarti bahwa di dalam batu bara juga terdapat mineral-mineral ikutan seperti mineral *pyrite* (FeS_2) yang berasal dari batu lempung, pasir kuarsa, batu kapur dan sebagainya. (Mahfud dkk., 2011).

Batu bara terbagi menjadi 2 macam, yaitu:

1. Batu bara muda / *sub-bituminus* / *lignit*/ *Low rank coal*, yaitu batu bara kalori rendah (bermutu rendah). Ciri-cirinya :
 - a. Fisiknya lebih lembut dengan materi yang rapuh.
 - b. Berwarna suram seperti tanah.
 - c. tingkat kelembaban (*moisture*) yang tinggi.
 - d. Kadar karbon rendah.
 - e. Kandungan energinya rendah.
2. Batu bara tua / *bituminus* / *antrasit*/ *High Rank Coal*, yaitu batu bara kalori tinggi (bermutu baik). Ciri-cirinya :
 1. Fisiknya keras dan kompak.
 2. Warnanya hitam dan mengkilap.
 3. Tingkat kelembaban (*moisture*) yang rendah.
 4. Kadar karbon tinggi.
 5. Kandungan energinya besar.

Low rank coal banyak digunakan sebagai sumber bahan bakar PLTU untuk menghasilkan listrik di Indonesia dikarenakan dapat menghasilkan biaya pokok produksi yang rendah. Tetapi *low rank coal* ini memiliki sifat dan karakteristik yang membutuhkan penanganan secara khusus agar tidak berisiko bagi keselamatan dan kesehatan dalam bekerja. Di antaranya mudah hancur dan berdebu, mudah terbakar, bahkan bisa mengalami swabakar (*self-combustion*) atau terbakar dengan sendirinya serta memiliki kandungan air, abu, dan sulfur lebih banyak.

2.1.4 Swabakar /Self-combustion

Self-combustion atau disebut juga swabakar adalah salah satu fenomena yang terjadi pada batu bara pada waktu batu bara tersebut disimpan atau di *storage/stockpile* dalam jangka waktu tertentu (Mulyana Hana,2005) dalam (Andrawina & Ernawati, 2019). Proses *self-combustion* merupakan proses *self heating* atau pemanasan dengan sendirinya yang berasal dari oksidasi atau suatu reaksi kimia dari suatu mineral di dalam batu bara itu sendiri. Pembakaran yang terjadi dengan sendirinya. Swabakar pada *Stockpile* merupakan hal yang sering terjadi dan perlu mendapatkan perhatian khususnya pada timbunan batu bara dalam jumlah besar. Batu bara akan teroksidasi saat tersingkap di permukaan sewaktu penambangan, demikian pada saat batu bara ditimbun proses oksidasi ini terus berlanjut.

Reaksi oksidasi batu bara itu sendiri dimulai dalam fase gas, sehingga terjadi reaksi oksidasi *eksotermik* antara O₂ dengan gas-gas yang mudah terbakar. Bila reaksi oksidasi berlangsung terus-menerus maka panas yang dihasilkan juga akan meningkat, sehingga suhu dalam timbunan juga akan mengalami peningkatan. Peningkatan suhu ini juga disebabkan oleh sirkulasi udara dan panas dalam timbunan tidak lancar, sehingga suhu dalam timbunan akan terakumulasi dan naik sampai mencapai suhu titik pembakaran yang akhirnya dapat menyebabkan terjadinya proses swabakar pada timbunan tersebut.

Reaksi swabakar dapat digambarkan sebagai berikut:

(1) Oksigen diserap oleh karbon yang ada dalam batu bara yang kemudian menghasilkan CO₂ dan panas dengan persamaan reaksi :



(2) Reaksi selanjutnya menghasilkan CO dan suhu yang tinggi, dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Ada dua hal yang menunjang terjadinya proses swabakar pada timbunan yaitu tergantung suhu reaksi dan konsentrasi oksigen yang cukup. Semua jenis batu bara mempunyai kemampuan untuk terjadinya proses swabakar, tetapi waktu yang diperlukan dan besarnya suhu yang dibutuhkan untuk proses swabakar batu bara ini tidak sama. Untuk batu bara yang mempunyai kalori rendah memerlukan waktu yang lebih pendek dan suhu yang lebih rendah bila dibandingkan dengan batu bara yang mempunyai kalori yang tinggi.

Perkembangan panas batu bara tipe *low rank coal* yang disebabkan oleh proses oksidasi antara O₂ dan gas – gas yang mudah terbakar seperti : metana, hidrogen, karbon monoksida, yang dapat mengakibatkan proses swabakar dapat diringkas sebagai berikut (Mulyana Hana,2005) dalam (Andrawina & Ernawati, 2019):

1. Suhu 37° C, batu bara dalam timbunan mulai teroksidasi secara perlahan-lahan sampai suhu timbunan 50° C.
2. Suhu 50° C, proses oksidasi akan meningkat sesuai kecepatan kenaikan suhu batu bara hingga suhu 100° C – 140° C.
3. Suhu 140° C, karbon dioksida dan uap air akan terurai dengan cepat sampai dicapai suhu 230° C.
4. Suhu 230° C, di mana hal ini untuk tahap swabakar terjadi.
5. Suhu diatas 350 °C, batu bara akan menyala dan terjadi proses swabakar batu bara.

Selain itu, kandungan zat terbang yang terdapat dalam batu bara erat kaitannya dengan kelas batu bara. yang mempunyai kelas rendah (*low rank coal*) ditandai dengan kandungan zat terbang yang banyak. Zat terbang dalam batu bara terdiri dari gas – gas yang mudah terbakar (seperti : metana, hidrogen, hidrokarbon dan karbon monoksida) dan gas – gas yang tidak mudah terbakar (seperti : uap air dan karbon dioksida). Zat terbang memegang peranan penting dalam memprakarsai terjadinya swabakar karena zat terbang terdiri dari gas – gas

yang mudah terbakar. Sehingga reaksi oksidasi terjadi antara gas – gas yang mudah terbakar dengan oksigen dan menyebabkan terjadi proses swabakar. sangat bervariasi dalam kemampuan untuk bereaksi dengan oksigen, kemampuan batu bara untuk teroksidasi akan berkurang dengan meningkatnya kelas batu bara. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya kelas batu bara, kandungan karbon yang terkandung semakin tinggi dan kandungan oksigen serta zat terbang yang terkandung semakin turun sehingga batu bara akan sulit teroksidasi.

Karena swabakar dari suatu jenis batu bara di tempat timbunan atau penyimpanan umumnya disebabkan oleh dua faktor yaitu udara dan panas, maka pencegahan terjadinya swabakar hanya dapat dilakukan apabila salah satu dari kedua faktor ini dihilangkan atau ditiadakan melalui tindakan pemadatan dalam memperkecil terjadinya kontak antara partikel batu bara dengan oksigen dari udara. Hal ini perlu dilakukan, terutama untuk penimbunan atau penyimpanan jangka panjang *Stockpile* (untuk jangka waktu penimbunan lebih dari 3 bulan) untuk mencegah terjadinya penurunan kualitas batu bara di samping untuk mengurangi bahaya swabakar yang menyebabkan kebakaran. Pemadatan timbunan batu bara harus dilakukan secara sistematis yaitu dilakukan secara lapis demi lapis di mana setiap lapis yang disebarkan merata setebal katakanlah 0,5 M sampai 1,0 M dan langsung dipadatkan dengan *rubber-tired heavy mobile equipment*, seperti *loader* dari pada dengan bulldozer yang umumnya memakai truk, untuk mencegah kehancuran partikel batu bara lebih lanjut.

2.2 Pengertian Sistem Pemadam Kebakaran

Pemadam Kebakaran atau *Fire Fighting* adalah upaya mencegah terjadinya kebakaran atau meluasnya kebakaran ke ruangan-ruangan ataupun lantai-lantai bangunan, termasuk ke bangunan lainnya melalui eliminasi ataupun meminimalisasi risiko bahaya kebakaran, pengaturan zona-zona yang berpotensi menimbulkan kebakaran, serta kesiapan dan kesiagaan sistem proteksi aktif maupun pasif, dengan metode proteksinya menggunakan berbagai macam media yang dapat digunakan sebagai pemadam api.

Sistem-sistem pemadam kebakaran dapat diuraikan melalui bagan sebagai berikut:

1. Sistem Pencegahan
2. Sistem Pemadaman
3. Sistem Evakuasi

2.2.1 Program Pencegahan Kebakaran

Program pencegahan kebakaran dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama yaitu:

1. Program Engineering yaitu program yang meliputi perencanaan bangunan yang aman dari kebakaran dan perencanaan proses yang aman dari kebakaran, misalnya instalasi *fire detection system* (aktif) dan instalasi *fire protection system* (pasif).
2. Program edukasi yaitu program untuk meningkatkan kesadaran pekerja terhadap kebakaran, yaitu dengan cara memberikan pelatihan-pelatihan tentang kebakaran, identifikasi penyebab kebakaran, bahaya kebakaran, pencegahan kebakaran dan evakuasi jika terjadi kebakaran.
3. Program Penegakan Sistem program penegakkan sistem adalah program untuk memastikan bahwa semua sistem pencegahan kebakaran sesuai atau *comply* dengan *fire code* atau regulasi yang ada. Maka harus dilakukan inspeksi terhadap semua fasilitas pencegahan kebakaran secara berkala.

Sistem pengindra api atau yang umum dikenal dengan *fire protection system* adalah suatu sistem terintegrasi yang didesain dan dibangun untuk mendeteksi adanya gejala kebakaran, untuk kemudian memberi peringatan (*warning*) dalam sistem evakuasi dan ditindak lanjuti secara otomatis maupun manual dengan sistem instalasi pemadam kebakaran (*fire fighting system*).

Komponen utama sistem *fire alarm* terdiri dari MCFA (*Main Control Fire Alarm*). MCFA merupakan peralatan utama dari sistem *Protection*. MCFA berfungsi menerima sinyal masuk (*input signal*) dari detektor dan komponen proteksi lainnya (*fixed heat detector, smoke detector, ROR heat detector, dll*).

Alat pendeteksi atau detektor adalah alat yang berfungsi sebagai alat penerima masukan yang bekerja secara otomatis. Jenis detektor kebakaran ini terbagi menjadi 4 macam yaitu:

1. Detektor Asap (*Smoke Detector*).
2. Detektor Panas (*Heat Detector*).
3. Detektor Api (*Flame Detector*).
4. Detektor Gas (*Fore Gas Detector*).

2.2.2 Sistem pemadaman

Sistem pemadaman merupakan tindakan yang dilakukan saat terjadi kebakaran. Tahap ini harus di perhatikan dengan serius karena tahap ini merupakan tahap penting agar kebakaran/api tidak meluas. Alat-alat pemadam kebakaran yang digunakan untuk memadamkan api yaitu seperti berikut.

1. *Hydrant* merupakan sebuah terminal air untuk bantuan darurat ketika terjadi kebakaran. *Hydrant* ini juga berfungsi untuk mempermudah proses penanggulangan ketika bencana kebakaran melanda. *Hydrant* merupakan sebuah fasilitas wajib bagi bangunan-bangunan publik seperti pasar tradisional maupun modern, pertokoan, bahkan semestinya lingkungan perumahan pun harusnya ada fasilitas *hydrant*. Pada saat terjadi peristiwa kebakaran *Fire Hydrant* harus mudah terlihat dan segera dapat dipergunakan. Pompa *hydrant* terdiri dari *Electric Pump*, *Diesel Pump* dan *Jockey Pump* di mana:
 - a. Apabila tekanan di dalam pipa menurun, maka secara otomatis *Jockey pump* akan bekerja untuk menstabilkan tekanan air di dalam pipa.
 - b. Jika tekanan terus menurun (misal *glass bulb* pada kepala *sprinkler* pecah) maka pompa kebakaran utama akan bekerja dan otomatis pompa *jockey* berhenti.
 - c. Apabila pompa kebakaran utama gagal bekerja setelah 10 detik, kemudian pompa cadangan Diesel secara otomatis akan bekerja.
 - d. Jika kedua pompa tersebut gagal bekerja, alarm akan segera berbunyi dengan nada yang berbeda dengan bunyi alarm sistim, untuk memberitahukan kepada operator akan adanya gangguan.
 - e. Sistim bekerja pompa *Fire Hydrant* adalah “Start otomatis” dan “Mati secara Manual.”
 - f. Pada saat pompa kebakaran utama bekerja, *wet alarm valve* akan terbuka dan segera membunyikan alarm gong. Aliran di dalam pipa

cabang akan memberi indikasi pada *flow switch* yang terpasang pada setiap cabang & dikirim ke panel *fire alarm* untuk membunyikan alarm pada lantai bersangkutan.

2. *Fire Extinguisher* adalah alat yang digunakan untuk memadamkan api skala kecil yang biasanya berbentuk tabung dan untuk kebutuhan pemadaman api yang sifatnya darurat. Alat pemadam api ini tidak diperuntukkan untuk pemadaman api yang sifatnya sudah out of control, seperti kebakaran di mana api yang telah membakar langit-langit bangunan, atau situasi-situasi kebakaran yang memang hanya bias diatasi oleh petugas pemadam kebakaran yang sudah terlatih.

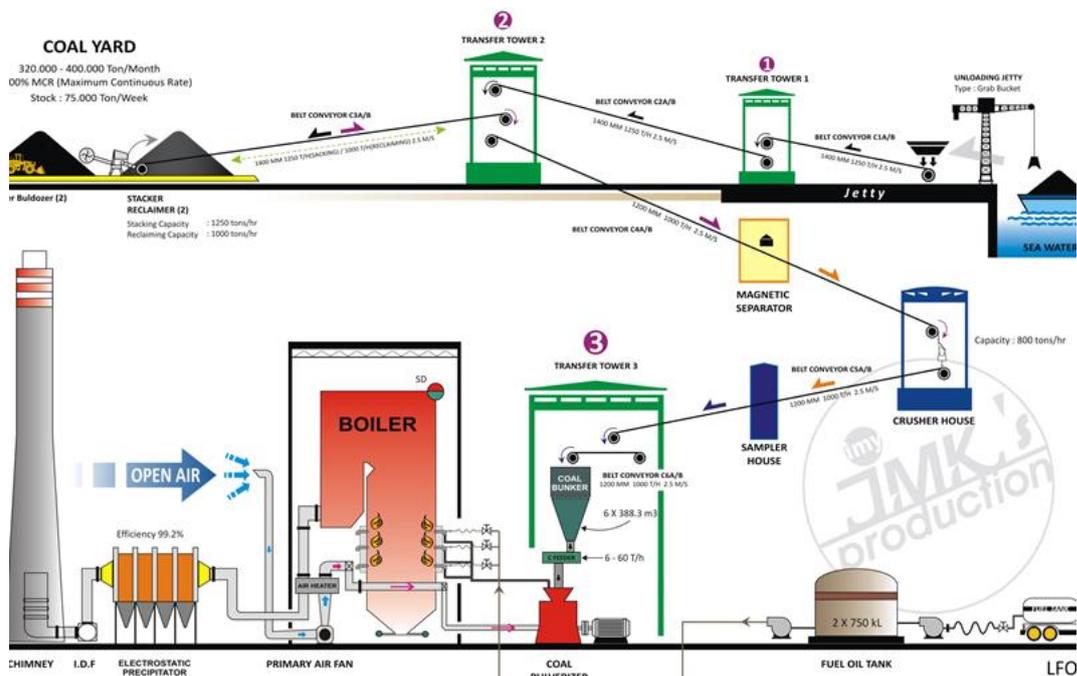
2.2.3 Sistem Evakuasi

Sistem evakuasi merupakan upaya yang dilakukan untuk mengamankan seluruh penghuni gedung saat terjadi kebakaran. Sistem evakuasi ini meliputi berbagai komponen yang ada di dalam gedung untuk memberikan jalan keluar yang aman dan efektif sebelum gedung tersebut hancur. Beberapa komponen dari sistem evakuasi adalah sebagai berikut:

1. Tangga Darurat
2. Pintu Darurat
3. Sign / Tanda-Tanda Darurat

2.3 Proses Produksi PLTU

Coal handling system berfungsi menangani mulai dari pembongkaran batu bara dari kapal/tongkang (*unloading area*), penimbunan/penyimpanan di stock area maupun pengisian ke Bunker yang digunakan untuk pembakaran di Boiler seperti ditunjukkan di dalam gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Siklus Produksi PLTU Batu bara
 Sumber : internet³

Batu bara diperoleh dari tambang batu bara dan dari lokasi tambang ke PLTU di angkut dengan kapal tongkang sampai di *coal Jetty*. Di *Jetty* dilakukan pembongkaran batu bara dengan menggunakan *Ship unloader*. *Ship unloader* adalah suatu peralatan yang digunakan untuk pembongkaran batu bara dari kapal yang tidak mempunyai peralatan bongkar sendiri (*non self unloading*). Setelah dilakukan bongkar batu bara dengan *Ship unloader* batu bara batu bara disalurkan ke *coal yard* menggunakan *belt conveyor*, *belt conveyor* tidak hanya memindahkan batu bara dari *jetty* ke *coal yard*, tetapi memindahkan batu bara dari *unloading area (intake hopper)* sampai *coal Bunker (power plant)*.

Saluran *Belt conveyor unloading area (Intake Hopper)* sampai *coal Bunker (power plant)* sangat panjang maka arah dari *Belt conveyor* tidak bisa lurus untuk mengatur arah aliran tersebut dilakukan di suatu bangunan yang memuat alat pemindah arah aliran yang dinamakan *Transfer Tower*. Di dalam proses penyaluran batu bara dari *Jetty* ke *coal Bunker* terdapat beberapa *sampling*

³<https://dokumen.tips/documents/siklus-bahan-bakar--padapltudocx.html>

batu bara, *sampling system* (SS) merupakan suatu sistem yang diintegrasikan dengan peralatan utama dan difungsikan untuk mengambil *sampling* (batu bara) pada *Belt conveyor* tertentu untuk keperluan analisa kandungan batu bara. *Coal yard* mampu memenuhi kebutuhan bahan bakar PLTU hingga 2 bulan.

Dari *coal yard* batu bara di ambil menggunakan *Stacker Reclaimer* (SR) merupakan peralatan ini digunakan untuk penimbunan (*stacking*) dan pengerukan (*reclaiming*) batu bara di stock area ke *Belt Conveyor*, selanjutnya disalurkan kembali menuju *Crusher house*, di dalam perjalanan menuju *Crusher house* batu bara melewati *Magnetic Separator* (MS), *Magnetic Separator* berfungsi untuk memisahkan logam besi dari batu bara.

Prinsip kerja MS ini berdasarkan induksi elektromagnetik, logam besi terbawa pada aliran batu bara akan ditarik oleh medan elektromagnetik lalu menempel pada *conveyor* MS yang berputar dan akan jatuh pada sisi penampungan, karena *Crusher house* dirancang hanya untuk menghancurkan batu bara, bukan untuk batu atau material lain, karena peralatan ini menggunakan motor dengan daya yang sangat tinggi, batu baru di *Crusher house* dihancurkan dari bongkahan menjadi ukuran lebih kecil, sebelum masuk ke *coal storage* silo, *coal storage* silo merupakan tempat penampungan batu bara terakhir sebelum digunakan untuk pembakaran di Boiler. dari *coal storage* silo akan diteruskan menuju ke *coal feeder* untuk diatur jumlah aliran yang masuk ke *pulverizer* guna dilakukan penggerusan ke ukuran yang sangat lembut, tujuannya untuk mencapai pembakaran sempurna karena memaksimalkan luas permukaan kontak pembakaran dari partikel batu bara. Batu bara serbuk hasil keluaran *pulverizer* di dihembuskan menuju *furnace* melalui *coal burner* sehingga terjadi proses pembakaran. Udara penghembus dihasilkan oleh *primary air fan*.

Dari proses pembakaran diboiler menghasilkan sisa abu batu bara. Abu yang berukuran relatif besar akan langsung jatuh ke bawah tungku Boiler dan akan dikumpulkan untuk diangkut ke tempat penyimpanan debu/abu (*Ash Storage*). Pada saat gas buang boiler akan dikeluarkan melalui cerobong asap/ stack abu ringan yang beterbangan akan ditangkap oleh alat penangkap debu/abu (*ESP–Electrostatic Precipitator*) dan ditampung di silo *fly ash*.

Diboiler terjadi proses pemanasan air (air berasal dari proses *desalination* air laut) pada saat proses pembakaran berlangsung, air disalurkan melalui pipa-

pipa boiler menggunakan motor HP BFP (*High Pressure Boiler Feed Pump*) dan dipanaskan sehingga akan berubah menjadi uap panas yang bertekanan tinggi. Karena kadar air pada uap masih terlalu tinggi, maka diperlukan pemanasan lebih lanjut melalui *superheater* sehingga uap basah akan berubah menjadi uap kering. Uap kering ini dialirkan menuju ke turbin untuk mendorong sudu-sudu turbin sehingga poros turbin akan berputar. Setelah digunakan untuk memutar turbin, maka uap kering akan diteruskan ke *condenser* untuk didinginkan dengan menggunakan air pendingin (air laut atau air sungai) yang dialirkan melalui pipa-pipa di dalam kondensor yang mendinginkan uap sehingga menjadi air kondensat, dan disirkulasikan kembali ke Boiler untuk dipanaskan menjadi uap kembali dan digunakan untuk memutar turbin.

Poros turbin tersambung langsung dengan generator sehingga saat turbin berputar maka generator juga akan ikut berputar sehingga generator menghasilkan energi listrik yang akan dikirimkan ke transformator untuk diubah tegangannya dan kemudian disalurkan melalui saluran transmisi PLN.

2.4 Peralatan Utama *coal handling facility*

2.4.1 *Conveyor*

Conveyor merupakan alat sangat vital di *coal handling system*, karena fungsinya adalah untuk mentransfer/ mengalirkan batu bara dari *unloading area* (*Intake Hopper*) sampai *coal Bunker*. Bagian *conveyor* antara lain :

- a. *Belt Conveyor*
- b. *Motor Drive*
- c. *Gearbox*
- d. *Idler*
- e. *Pulley*
- f. *Belt Cleaner*
- g. *Fluid Coupling*



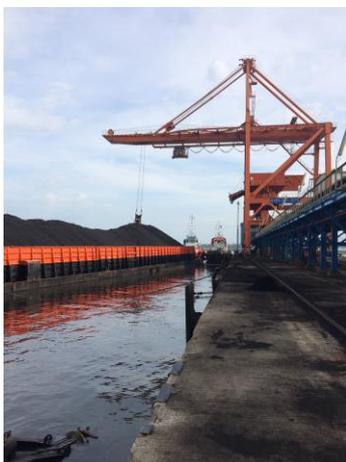
Gambar 2. 4 Conveyor

Di bagian *conveyor* system ini gangguan yang sering terjadi adalah *belt conveyor* mengalami kondisi tersendat sendat saat dioperasikan yang dikenal dengan *Jogging*. Saat *Jogging* terjadi dapat mengakibatkan tumpahan batu bara.

2.4.2 Ship unloader

Adalah suatu peralatan yang digunakan untuk pembongkaran batu bara dari kapal yang tidak mempunyai peralatan bongkar sendiri (*non self Unloading*) peralatan ini dilengkapi dengan *Grab* (*bucket*) dengan kapasitas bongkar 1.250 ton/jam untuk masing-masing *Ship unloader*.

Di dalam *Grab* dilengkapi dengan beberapa nozzle yang memiliki diameter lubang yang sangat kecil yang digunakan untuk menyemburkan air yang berupa kabut dengan tekanan tinggi. Kabutan air ini digunakan disaat *Grab ship unloader* melepaskan batu bara di *chamber* untuk mengikat debu batu bara agar tidak terbang ke mana-mana.



Gambar 2. 5 Ship unloader PLTU Pacitan

2.4.3 *Stacker Reclaimer*

Adalah alat besar yang mempunyai 2 fungsi kerja yaitu untuk memindahkan material batu bara dari tongkang yang dibongkar melalui *Ship unloader* ke *coal yard* dengan media *Belt conveyor (Stacking)* dan, memindahkan material batu bara dari *coal yard* menuju Bunker melalui media *Belt Conveyor*.

Stacker Reclaimer ini digunakan untuk melakukan penataan batu bara di *coal yard* yang kemudian dilakukan *compacting* menggunakan *Wheel loader* untuk mendapatkan kerapatan batu bara yang padat sehingga dapat membentuk segi tiga tumpukan batu bara yang bertujuan untuk mencegah hembusan angin yang dapat menembus pori-pori tumpukan batu bara sehingga dapat mencegah terjadinya *self-combustion* di area *coal yard*.



Gambar 2. 6 *Stack Reclaimer* PLTU Pacitan

2.4.4 *Transfer Tower*

Pengaturan arah aliran tersebut dilakukan di suatu bangunan yang memuat alat pemindah arah aliran yang pengendaliannya dapat dikendalikan dari *Coal handling Control Building (CHCB)*. Pengaturan dilakukan dengan cara mengatur posisi dari *Diverter Gate / Isolating Shuttle* yang terdapat pada peralatan pemindah aliran. Bangunan ini dikenal dengan nama *Transfer Tower*.

Ditransfer tower ini risiko terjadinya tumpukan debu batu bara sangat besar terjadi dikarenakan di dalam tower tersebut terjadi proses pelimpahan batu bara dari *conveyor* tinggi ke bagian *conveyor* rendah yang menyebabkan terjadinya hembusan debu batu bara keluar dari *belt conveyor*. Sehingga diperlukan pembersihan secara berkala setiap hari serta rutin dilakukan penyemprotan air secara menyeluruh setiap minggunya agar tidak terjadi penumpukan batu bara yang dapat menyebabkan *self-combustion* dan mengakibatkan kebakaran / ledakan.



Gambar 2. 7 Transfer Tower PLTU Pacitan

2.4.5 Hopper

Berada disisi depan *conveyor*. Memiliki bentuk yang lebih besar dan berfungsi untuk menampung batu bara dengan kuantitas relatif banyak sebelum diarahkan ke *conveyor*. *Hopper* dilengkapi dengan *Chute* yang memudahkan batu bara untuk meluncur, sehingga tidak menggumpal maupun terjadi penyumbatan.



Gambar 2. 8 Conveyor Hopper PLTU Pacitan

Area *hopper* merupakan area yang memiliki risiko tinggi terhadap ledakan batu bara dikarenakan lokasinya yang berada di bawah tanah dan termasuk dalam area ruang terbatas, Yang mana jika terdapat tumpukan batu bara dan terjadi *self-combustion* maka gas metan yang keluar akan terkungkung di dalam area *hopper* dan di mana disaat konsentrasi gas metan sudah tinggi dan terpercik api maka dapat menjadikan ledakan beruntun yang memicu seluruh debu batu bara di dalam area *hopper* terbakar.

2.4.6 Diverter Gate

Adalah suatu peralatan untuk memindahkan aliran batu bara dari arah yang satu ke yang lainnya. *Diverter Gate* ini mempunyai dua posisi pada sisi pengeluaran, dan tidak boleh di pindahkan pada saat ada aliran batu bara.

Diverter gate ini terpasang di peralatan *Chute*, di mana di sini banyak terdapat potensi hembusan debu batu bara akibat aliran batu bara yang kencang dari *conveyor* yang lebih tinggi.



Gambar 2. 9 *Diverter Gate*
Sumber dari internet⁴

2.4.7 Coal Plough

Coal Plough adalah suatu peralatan untuk mengarahkan curahan batu bara dari *Plant Distribute Hopper* ke bunker melalui *belt conveyor*. Di area ini risiko timbulnya debu batu bara sangat besar dikarenakan coal plough ini menjatuhkan batu bara dari *conveyor* masuk ke dalam bunker.



Gambar 2. 10 *Coal Plough* PLTU Pacitan

⁴ <https://steemit.com/fireTriangle/@seuramoeoutdoor/fire-Triangle> diakses 3 April 2019 pukul 22.22 WIB

2.4.8 Bunker/ Silo

Berfungsi sebagai tempat penampungan batu bara terakhir sebelum digunakan untuk pembakaran di boiler. Saat proses pengisian batu bara di bunker dapat mengakibatkan hembusan batu bara yang sangat besar. Sehingga untuk dapat mengurangi hembusan debu batu bara yang keluar dari bunker dipasang fasilitas *Dust Collector* yang berfungsi menangkap debu.



Gambar 2. 11 Bunker/Silo PLTU Pacitan Unit 1

2.5 Definisi Risiko

Risiko adalah peristiwa atau kondisi yang tidak pasti yang jika terjadi memiliki efek positif atau negatif pada tujuan. Risiko memiliki penyebab dan jika ini terjadi menjadikan kegagalan. Kegagalan itu sendiri didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu aset untuk melakukan sesuatu sesuai dengan keinginan pengguna. (Larson & Gray, 2011)

2.5.1 Identifikasi Risiko

Identifikasi resiko adalah merinci resiko-resiko yang ada sampai level yang detail dan kemudian menentukan signifikansinya (potensinya) dan penyebabnya, melalui program survei dan penyelidikan terhadap masalah-masalah yang ada. (Larson & Gray, 2011) menambahkan bahwa: “Penyusunan identifikasi risiko dapat berasal dari “opini para pakar” (*expert opinion*) atau dari

estimasi berdasarkan “perasaan” (*good feeling*) para pakar berdasarkan pengalamannya. Untuk membantu proses ini dan meyakinkan bahwa sudah seluruh aspek tercakup dalam daftar tersebut maka dapat digunakan daftar isian, daftar pertanyaan / kuesioner atau *checklist*.

Secara sederhana, analisis resiko atau *risk analysis* dapat diartikan sebagai sebuah prosedur untuk mengenali satu ancaman dan kerentanan, kemudian menganalisisnya dan menyoroti bagaimana dampak-dampak yang ditimbulkan dapat dihilangkan atau dikurangi. Analisis resiko juga dipahami sebagai sebuah proses untuk menentukan pengamanan macam apa yang cocok atau layak untuk sebuah sistem atau lingkungan.

Dalam menganalisis sebuah resiko untuk mendapatkan *root cause analysis* ada 7 metode yang bisa diterapkan (Mobley, 1999), yaitu:

Five Whys Analysis, teknik ini sangat berguna untuk mendapatkan penyebab mendasar dari suatu masalah. Dengan mengidentifikasi masalah, dan kemudian bertanya “mengapa” sebanyak lima kali - semakin banyak pertanyaan mengapa, semakin dalam masalah, akar penyebab dapat diidentifikasi dan ditangani secara strategis.

Pareto Analisis beroperasi menggunakan prinsip *Pareto* (20% dari penciptaan kerjaan 80% dari hasil). Perusahaan akan menjalankan analisis *Pareto* kapan saja ketika ada beberapa kemungkinan penyebab masalah. Untuk melakukan analisis *Pareto*, perusahaan akan membuat diagram *Pareto* menggunakan Excel atau program lain, dengan membuat daftar penyebab potensial dalam grafik batang di bagian bawah - dari penyebab paling penting di sebelah kiri hingga penyebab yang paling tidak penting di sebelah kanan. Kemudian, perusahaan akan melacak persentase kumulatif dalam grafik garis ke bagian atas tabel. Penyebab-penyebab yang tercermin pada tabel harus menjelaskan setidaknya delapan puluh persen dari mereka yang terlibat dalam masalah.

Fault Tree Analysis (FTA) adalah metode lain untuk mendapatkan akar penyebab masalah. FTA menggunakan logika Boolean untuk menentukan akar penyebab dari kejadian yang tidak diinginkan. Teknik analisis penyebab akar ini sering digunakan dalam analisis risiko dan analisis keselamatan. Di bagian atas

Fault Tree, terdapat daftar hasil yang tidak diinginkan. Setiap penyebab potensial tercantum pada diagram dalam bentuk pohon terbalik.

Current Reality Tree menganalisis sistem sekaligus. Ini akan digunakan ketika terdapat banyak masalah dan ingin sampai ke akar penyebab semua masalah. Langkah pertama dalam menciptakan *Current Reality Tree* adalah mendaftarkan semua hal yang tidak diinginkan ataupun masalah.

Diagram tulang ikan akan mengelompokkan penyebab ke dalam beberapa kategori termasuk Orang, Pengukuran, Metode, Bahan, Lingkungan, dan Mesin. Tergantung pada industri tempat perusahaan berada, perusahaan dapat menggunakan kategori yang berbeda seperti The 4 M's (*manufaktur*), The 4 S's (*service*) atau 8 P's (juga *service*). Disebut diagram tulang ikan atau *fishbone* diagram karena diagramnya terlihat seperti tulang ikan, dengan penyebab kategori dan sub-penyebab mereka divisualisasikan.

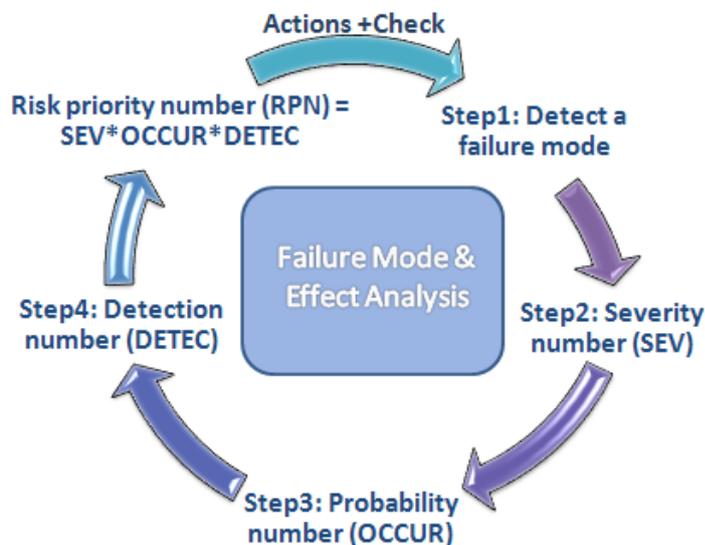
Teknik *Kepner-Tregoe*, juga dikenal sebagai proses rasional dimaksudkan untuk memecahkan masalah ke akar penyebabnya. Proses ini dimulai dengan penilaian situasi apa prioritas untuk masalah-masalah spesifik. Selanjutnya, analisis masalah dilakukan, di mana analisis dilakukan untuk mendapatkan penyebab kejadian yang tidak diinginkan. Kemudian, analisis keputusan ditangani dengan menguraikan berbagai keputusan yang harus dibuat. Lalu terakhir, analisis masalah potensial dilakukan untuk memastikan bahwa tindakan yang diputuskan pada langkah ketiga dapat berkelanjutan.

Failure Mode Effect and Analysis (FMEA) adalah pendekatan sistematis yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu proses pemikiran yang digunakan oleh perusahaan untuk mengidentifikasi Mode kegagalan potensial dan efeknya untuk mengidentifikasi Mode sumber – sumber dan akar penyebab dari suatu masalah kualitas dalam sebuah sistem, desain, proses atau pelayanan pada perusahaan. FMEA juga merupakan metode untuk menilai dampak dari setiap kemungkinan terjadinya kegagalan atau kerusakan pada komponen peralatan dengan cara menjabarkan keseluruhan kegagalan, kemudian secara sistematis diurutkan dalam tingkat level kegagalan (Smith, 2001).

2.5.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Menurut (Chrysler Corporation, 2008) *FMEA* adalah metode yang dirancang untuk :

- a. Identifikasi dan pahami sepenuhnya mode kegagalan potensial dan penyebabnya, serta efek kegagalan pada sistem atau pengguna akhir, untuk produk atau proses tertentu.
- b. Menilai risiko yang terkait dengan mode, efek, dan penyebab kegagalan yang diidentifikasi, dan memprioritaskan masalah untuk tindakan korektif.
- c. Identifikasi dan lakukan tindakan korektif untuk mengatasi masalah yang paling serius.



Gambar 2. 12 Langkah-langkah Metode FMEA

Mode Kegagalan dan Efek Analysis (FMEA) adalah sistematis, metode proaktif untuk mengevaluasi proses untuk mengidentifikasi di mana dan bagaimana mungkin gagal dan untuk menilai dampak relatif dari kegagalan yang berbeda, untuk mengidentifikasi bagian-bagian dari proses yang paling membutuhkan perubahan.

Tergantung pada definisi kegagalan yang dibuat oleh tim analisis, mode kegagalan dapat mencakup kegagalan untuk melakukan fungsi dalam batas yang ditentukan, Kinerja fungsi yang tidak memadai atau buruk, kinerja fungsi yang terputus-putus, dan / atau melakukan fungsi yang tidak diinginkan atau tidak.

2.5.3 Keuntungan dan Keterbatasan FMEA

Keuntungan yang didapatkan dari penggunaan metode FMEA dalam menganalisis suatu kasus dalam manajemen risiko adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan kualitas, reliability, dan keamanan dari suatu produk atau proses.
2. Mengumpulkan informasi untuk menurunkan kegagalan di masa yang akan datang.
3. Identifikasi awal dan eliminasi potensi mode kegagalan.
4. Menekankan pencegahan masalah.
5. Meminimalkan perubahan akhir dan biaya terkait.
6. Mengurangi kemungkinan kejadian kegagalan yang sama di masa yang akan datang.

Sedangkan beberapa keterbatasan yang ada pada metode FMEA adalah karena FMEA sangat bergantung pada para anggota kelompok yang menguji kegagalan dari suatu produk, hal itu sangat bergantung pada pengalaman dari memenuhi atau memberikan fungsi yang dimaksud dan persyaratan terkait.

2.5.4 Menentukan *Severity*, *Occurrence*, *Detection* dan RPN

Untuk menentukan prioritas dari suatu bentuk kegagalan menggunakan FMEA, terlebih dahulu perlu mencari tentang *Severity*, *Occurrence*, *Detection*, serta hasil akhirnya yang berupa *Risk Priority Number*.

2.5.4.1 *Severity*

Severity adalah tingkat keparahan atau efek yang ditimbulkan oleh kegagalan terhadap keseluruhan mesin. *Severity* tersusun atas angka 1 hingga 10 berdasarkan kriteria dari skala *Severity*. Ini adalah peringkat relatif dalam lingkup FMEA tertentu dan ditentukan tanpa memperhatikan kemungkinan terjadinya atau deteksi. Proses sistem peringkat yang dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Kriteria Evaluasi dan Sistem Peringkat untuk *Severity of Effect*

Efek	Kriteria: Keparahan Efek pada Produk (Customer Effect)	Ranking
Kegagalan Memenuhi Keselamatan dan / atau Peraturan Persyaratan	Mode kegagalan mempengaruhi operasi kendaraan yang aman dan / atau melibatkan ketidakpatuhan peraturan pemerintah tanpa peringatan.	10
	Mode kegagalan mempengaruhi operasi kendaraan yang aman dan / atau melibatkan ketidakpatuhan peraturan pemerintah dengan peringatan.	9
Kehilangan atau Degradasi Fungsi Primer	Hilangnya fungsi utama (kendaraan bisa dioperasikan, tidak mempengaruhi operasi kendaraan yang aman).	8
	Degradasi fungsi utama (kendaraan beroperasi, tetapi pada tingkat penurunan kinerja).	7
Kehilangan atau Degradasi Fungsi Sekunder	Hilangnya fungsi sekunder (kendaraan beroperasi, namun fungsi / kenyamanan dioperasikan).	6
	Degradasi fungsi sekunder (kendaraan beroperasi, tapi fungsi kenyamanan / kemudahan pada tingkat penurunan kinerja).	5
Gangguan	Penampilan atau kebisingan suara, kendaraan beroperasi, barang tidak sesuai dan diperhatikan oleh kebanyakan pelanggan (> 75%).	4
	Penampilan atau kebisingan suara, kendaraan beroperasi, barang tidak sesuai dan diperhatikan oleh banyak pelanggan (50%).	3
	Penampilan atau kebisingan suara, kendaraan beroperasi, barang tidak sesuai dan diperhatikan oleh pelanggan diskriminatif (<25%).	2
Tidak berpengaruh	Tidak ada efek dilihat.	1

Sumber: (Chrysler Corporation, 2008)

2.5.4.2 Occurrence

Occurrence adalah tingkat keseringan terjadinya kerusakan atau kegagalan. *Occurrence* berhubungan dengan estimasi jumlah kegagalan kumulatif yang muncul akibat suatu penyebab tertentu pada mesin. Nilai rating *Occurrence* antara 1 sampai 10. Nilai 10 diberikan jika kegagalan yang terjadi memiliki nilai kumulatif yang tinggi atau sangat sering.

Untuk FMEA dari sistem dan desain, peringkat kejadian mempertimbangkan kemungkinan terjadinya selama masa desain produk. Untuk FMEA - Proses, peringkat *Occurrence* mempertimbangkan kemungkinan terjadinya selama produksi. Ini didasarkan pada kriteria dari skala kejadian yang sesuai. Peringkat kejadian memiliki makna relatif daripada nilai absolut dan ditentukan tanpa memperhatikan tingkat keparahan atau kemungkinan deteksi. Lihat tabel 2.2 untuk contoh skala kejadian untuk FMEA.

Tabel 2. 2 Rating Skala Occurrence

<i>Likelihood of Failure</i>	<i>Criteria: Occurrence of Cause (Design Life/Reliability of Item/Vehicle)</i>	<i>Criteria: Occurrence of Cause (Incidents per Items/Vehicles)</i>	<i>Rank</i>
Sangat tinggi	Teknologi baru / desain baru yang tidak memiliki riwayat.	> 100 per seribu SI di 10	10
Tinggi	Kegagalan bisa dihindari dengan desain baru, aplikasi baru, atau perubahan siklus / operasi kondisi tugas.	50 per seribu 1 di 20	9
	Kegagalan mungkin dengan desain baru, aplikasi baru, atau perubahan siklus / operasi kondisi tugas.	20 per seribu lin 50	8
	Kegagalan tidak pasti dengan desain baru, aplikasi baru, atau perubahan siklus / operasi kondisi tugas.	10 per seribu 1 dari 100	7
Moderat	kegagalan sering dikaitkan dengan desain yang sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	2 per seribu 1 dari 500	6
	kegagalan sesekali berhubungan dengan desain yang sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	0,5 per seribu 3 tahun 2000	5
	kegagalan terisolasi terkait dengan desain yang sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	0,1 per seribu 1 di 10.000	4
Rendah	Hanya terisolasi kegagalan yang terkait dengan desain hampir sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	0,01 per seribu 1 dalam 100.000	3
	Tidak ada kegagalan diamati terkait dengan desain hampir sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	<0,001 per seribu 1 di 1.000.000	2
Sangat rendah	Kegagalan dihilangkan melalui kontrol <i>preventif</i> .	Kegagalan dihilangkan melalui kontrol <i>preventif</i> .	1

Sumber: (Chrysler Corporation, 2008)

2.5.4.3 Detection

"Detection" adalah mengidentifikasi kemungkinan/ probabilitas bahwa suatu kerusakan dapat ditemukan berdasarkan kriteria dari skala deteksi tanpa memperhatikan tingkat keparahan atau kemungkinan terjadinya. Lihat tabel 2.3 untuk contoh skala deteksi untuk FMEA.

Tabel 2. 3 Petunjuk Nilai Detection

<i>Likelihood of Failure</i>	<i>Criteria: Occurrence of Cause (Design Life/Reliability of Item/Vehicle)</i>	<i>Criteria: Occurrence of Cause (Incidents per Items/Vehicles)</i>	<i>Rank</i>
Sangat tinggi	Teknologi baru / desain baru yang tidak memiliki riwayat.	> 100 per seribu 1 di 10	10
Tinggi	Kegagalan bisa dihindari dengan desain baru, aplikasi baru, atau perubahan siklus / operasi kondisi tugas.	50 per seribu 1 di 20	9
	Kegagalan mungkin dengan desain baru, aplikasi baru, atau perubahan siklus / operasi kondisi tugas.	20 per seribu lin 50	8
	Kegagalan tidak pasti dengan desain baru, aplikasi baru, atau perubahan siklus / operasi kondisi tugas.	10 per seribu 1 dari 100	7
Moderat	kegagalan sering dikaitkan dengan desain yang sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	2 per seribu 1 dari 500	6
	kegagalan sesekali berhubungan dengan desain yang sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	0,5 per seribu 3 tahun 2000	5
	kegagalan terisolasi terkait dengan desain yang sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	0,1 per seribu 1 di 10.000	4
Rendah	Hanya terisolasi kegagalan yang terkait dengan desain hampir sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	0,01 per seribu 1 dalam 100.000	3
	Tidak ada kegagalan diamati terkait dengan desain hampir sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	<0,001 per seribu 1 di 1.000.000	2
Sangat rendah	Kegagalan dihilangkan melalui kontrol <i>preventif</i> .	Kegagalan dihilangkan melalui kontrol <i>preventif</i> .	1

Sumber: (Chrysler Corporation, 2008)

2.5.4.4 Risk Priority Number (RPN)

Risk Priority Number (RPN) adalah peringkat numerik risiko dari masing-masing mode atau penyebab potensial terjadinya kegagalan, terdiri dari produk aritmetika dari tiga elemen: *Occurrence* (*Occ*), *Severity* (*Sev*) dan *Detection* (*Det*). Setelah pemberian *rating*, nilai *Risk Priority Number* (*RPN*) dihitung dengan rumus:

$$\text{RPN} = \text{Occ} \times \text{Sev} \times \text{Det} \quad (2.1)$$

Semakin tinggi nilai RPN, semakin tinggi risiko kejadian tersebut. Angka RPN ini digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang serius, sebagai petunjuk ke arah tindakan perbaikan. Dari angka RPN ini kemudian dibuat ranking untuk menentukan mana yang memiliki risiko yang paling ringan hingga yang paling serius, sehingga tahu prioritas yang harus segera ditangani.

2.6 Kasus *Lesson Learnt* dan Penelitian terdahulu

2.6.1 Kasus *Lesson Learnt Self-combustion*

Berdasarkan informasi dari buku yang berjudul *Dust Explosions in the Process Industries* (Eckhoff, 2003) yang memberikan data bahwa di negara Jerman telah terjadi sebanyak 426 kali ledakan pada periode tahun 1965 – 1985 di berbagai macam proses produksi. Dari tabel 2.4, tabel 2.5 dan tabel 2.6 menunjukkan persentase data peralatan, faktor penyalaan serta penggunaan bahan di area *coal handling* yang banyak berkontribusi dalam menyebabkan ledakan.

Tabel 2.4 Persentase ledakan yang terjadi di berbagai peralatan produksi dengan berbagai macam kategori debu/bahan.

Type of plant item	Total of 426 explosions			Wood and wood products	Coal and peat	Food and feed	Plastics	Metals
	Number	% of Total	% Change 80/85					
Silos and bunkers	86	20.2	0	35.9	23.1	22.9	2	2
Dust collecting systems	73	17.2	+2.9	18.0	5.1	9.5	13.5	45.6
Milling and crushing plants	56	13.0	-0.7	7.0	12.8	18.1	15.4	5.3
Conveying systems	43	10.1	0	4.7	5.1	26.7	17.3	2.0
Dryers	34	8.0	+0.4	10.2	2.0	7.6	9.6	2.0
Furnaces	23	5.4	+0.1	10.9	18.0	2.0	0	0
Mixing plants	20	4.7	+0.2	0	5.1	2.0	17.3	3.5
Grinding and polishing plants	19	4.5	0	3.9	0	0	2	22.8
Sieves and classifiers	12	2.8	-0.3	4.7	0	2.8	0	3.5
Unknown and others	60	14.1	-2.6	4.7	28.8	8.4	22.9	13.3
All	426	100.0	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Sumber : (Eckhoff, 2003)

Dari tabel 2.4 didapatkan informasi terkait dengan peralatan di *coal handling system* yang memiliki persentase yang dapat menyebabkan ledakan. Dan peralatan yang memiliki persentase terbesar terjadinya kebakaran adalah diarea Bunker yang, area *Furnaces* serta diarea *Crusher*.

Tabel 2.5 Persentase sumber penyalan yang mengakibatkan *self-combustion* /kebakaran pada berbagai peralatan di *coal handling facility* .

Type of ignition source	All 426 explosions	Silos and bunkers	Dust collectors and separators	Mills and crushing plants	Conveying systems	Dryers	Mixing plants	Ginding plants	Sieves and classifiers
Mechanical sparks	26.2	16.3	41.1	60.0	25.6	0	15.0	89.5	16.7
Smoldering nests	11.3	27.9	11.0	0	2.3	29.4	0	0	8.3
Mechanical heating and friction	9.0	3.5	6.8	12.7	25.6	2.9	25.0	5.3	0
Electrostatic discharges	8.7	2.3	9.6	5.5	18.6	5.9	45.0	0	16.7
Fire	7.8	4.7	4.1	2	0	0	5.0	0	16.7
Spontaneous ignition (self-ignition)	4.9	2.3	2.7	0	4.7	14.7	0	0	8.3
Hot surfaces	4.9	11.6	0	3.6	2.3	23.5	0	0	0
Welding and cutting	4.9	5.8	2	0	4.7	2.9	5.9	0	0
Electrical machinery	2.8	2.3	2	0	0	0	0	0	0
Unknown and others	19.5	23.3	20.7	16.2	16.2	20.7	4.1	5.2	33.3
All	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Sumber : (Eckhoff, 2003)

Dari Tabel 2.5 didapatkan informasi terkait persentase berbagai jenis sumber penyalan yang terjadi di berbagai peralatan *coal handling*. Dan yang memiliki persentase terbesar dalam menyebabkan ledakan adalah tipe penyalan *mechanical spark* diarea *Ginding Plants* dan diarea *Mill / Crusher plant*.

Tabel 2. 6 Persentase berbagai jenis sumber penyalan yang dapat memicu bahan sehingga mengakibatkan terjadinya *self-combustion*/kebakaran.

Type of ignition source	Total of 426 explosions			Wood and wood products	Coal and peat	Food and feed	Plastics	Metals
	Number	% of Total	% Change 80/85					
Mechanical sparks	112	26.2	-2.8	26.6	5.1	22.8	21.2	56.1
Smoldering nests	48	11.3	+1.5	19.5	20.5	5.7	9.6	0
Mechanical heating and friction	38	9.0	0	9.4	5.1	12.4	9.6	3.5
Electrostatic discharges	37	8.7	0	2.3	0	6.7	34.6	5.3
Fire	33	7.8	-0.6	14.8	12.8	4.8	2	2
Spontaneous ignition (self-ignition)	21	4.9	+0.4	3.1	15.4	6.7	2	3.5
Hot surfaces	21	4.9	-0.4	5.5	10.3	2.8	3.9	3.5
Welding and cutting	21	4.9	+0.4	2.3	2.6	12.4	2	2
Electrical machinery	12	2.8	-0.3	0	2.6	5.7	2	0
Unknown or not reported	68	16.0	+1.7	16.5*	25.6*	20.0*	13.1*	24.1*
Others	15	3.5	+0.1					
All	426	100.0	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Sumber : (Eckhoff, 2003)

Dari tabel 2.6 didapatkan informasi terkait persentase berbagai jenis sumber penyalan yang dapat menyebabkan *self-combustion*/kebakaran. Dan yang memiliki persentase terbesar dalam menyebabkan ledakan adalah tipe penyalan dengan jenis *smoldering nests*.

2.6.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan penelitian sebelumnya yang melakukan assessment dan analisis risiko pada kasus yang mempunyai kesamaan yang kuat. Adapun penelitian terdahulu yang memberikan inspirasi adalah:

1. *Fuzzy-based failure mode and effect analysis (FMEA) of a hybrid molten carbonate fuel cell (MCFC) and gas turbine system for marine propulsion* (Junkeon dkk., 2017) yang menggambarkan bagaimana penyusunan FMEA dimulai dengan mengidentifikasi keseluruhan sistem gas turbin yang kemudian dilakukan perhitungan nilai *likelihood*, *severity* dan *detection* untuk menghasilkan nilai RPN. Dan dalam penelitian ini penulis mendapatkan informasi tentang cara penyusunan FMEA secara detail untuk mendapatkan nilai RPN.
2. *Hazard analysis and risk assessment in thermal power plant* (Rathod, dkk., 2017) yang menjelaskan beberapa jenis risiko yang berada diarea CHF serta mengidentifikasi tingkat risikonya dengan menggunakan metode FMEA. Dari penelitian ini penulis mendapatkan informasi terkait dengan jenis risiko yang terdapat diarea *coal handling system pembangkit listrik*.
3. *Hazards Identification and Risk Assessment in Thermal Power Plant* (Shrivastava & Patel, 2014) yang menjelaskan beberapa jenis risiko yang berada diarea CHF serta mengidentifikasi tingkat risikonya dengan menggunakan metode *Risk Assessment Matrix*. Dari penelitian ini penulis dapat menemukan *insight* dari metoda risk assetment yang telah digunakan oleh PLTU Pacitan untuk mengukur risiko perusahaan.
4. *Handling of Coal Dust at Coal handling Facility in Coal Power Plant Using Soft System Methodology (SSM) Approach* (Zuniawan & Sriwana, 2019). Yang menjelaskan beberapa mitigasi yang dilakukan untuk menurunkan risiko diarea CHF. Melalui penelitian penulis mendapatkan *insight* berbagai literatur untuk menentukan mitigasi dari beberapa jenis *failure* yang terdapat diarea *coal handling facility*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian Kuantitatif dengan wawancara mendalam. Penelitian ini di PT Pembangkitan Jawa Bali (PJB) pada tahun 2019.

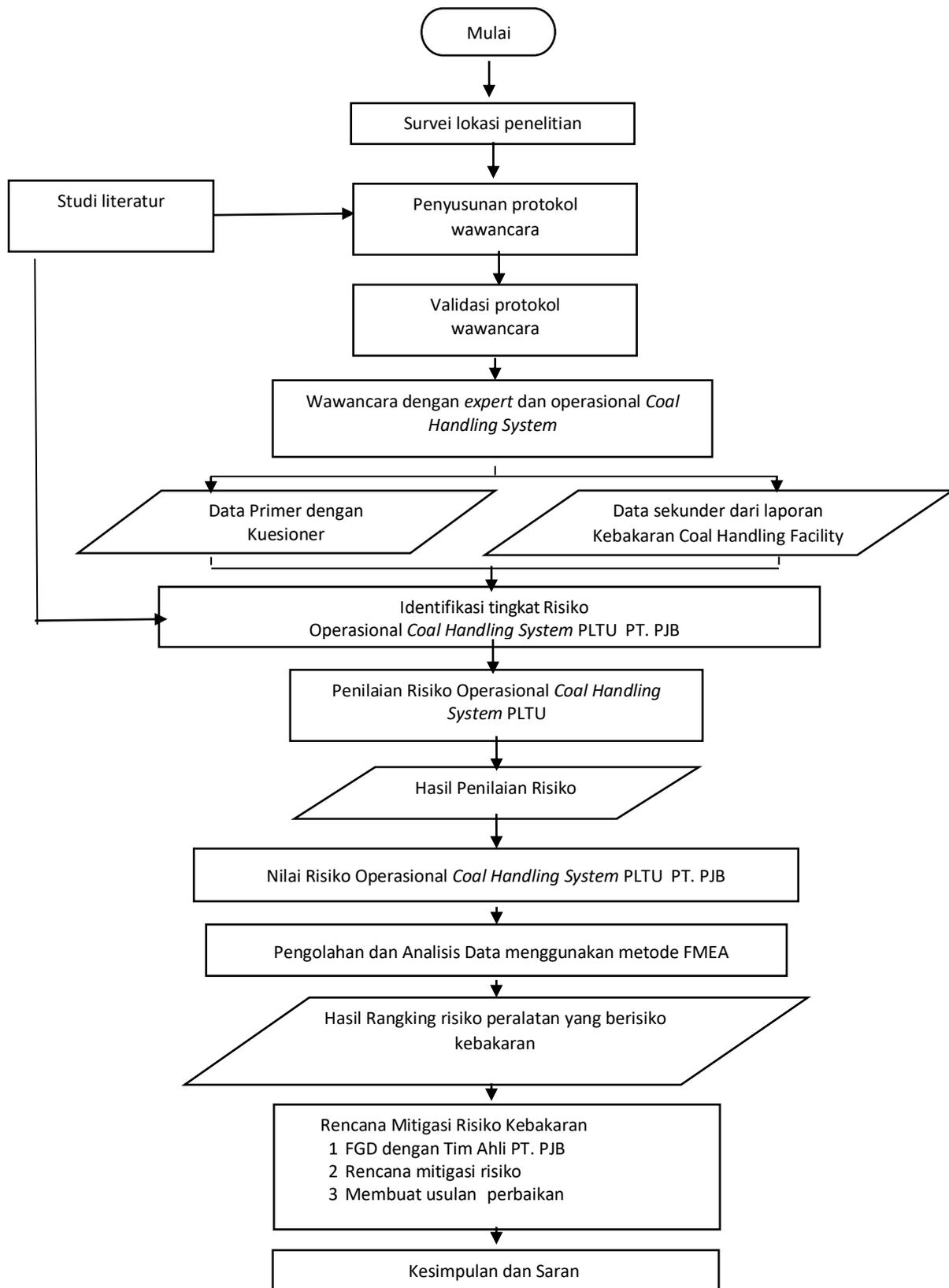
3.2 Lokasi dan Waktu penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di PT. PJB UBJOM PLTU Pacitan, pada bulan Maret-Mei 2020. Pengambilan data dilakukan di PT. PJB Kantor Pusat Surabaya dan PT. PJB UBJOM Pacitan.

3.3 Subjek Penelitian

Syarat responden pada penelitian ini adalah karyawan PT. PJB UBJOM Pacitan level setingkat Manajer dan Supervisor yang mempunyai tugas dalam penanganan operasi dan pemeliharaan di *coal handling system*. Berdasarkan hasil survei diperoleh data bahwa di PT. PJB UBJOM Pacitan terdapat 1 orang General Manajer dan 3 orang Manajer (Operasi, Pemeliharaan dan Enjiniring), 1 orang supervisor pemeliharaan (Mesin 2), 2 orang supervisor Enjiniring dan 4 orang Supervisor (Operator CHF) telah memenuhi syarat tersebut. Oleh sebab itu dapat ditentukan jumlah sampel pada penelitian ini adalah 13 responden.

Bab ini berisi penjelasan tentang langkah-langkah untuk melakukan penelitian, mulai dari awal hingga hasil yang diinginkan dari penelitian diperoleh. Alur langkah-langkah tersebut digambarkan dalam *flowchart* metodologi penelitian pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

3.4 Perancangan Kuesioner Penelitian

Perancangan kuesioner penelitian dilakukan dengan menggabungkan data literatur terkait dengan potensi risiko dan tingkat risiko terhadap peralatan *coal handling facility* dibandingkan dengan data HIRAC *coal handling facility* milik PT. PJB UBJOM Pacitan

3.5 Pengumpulan Data

Focus Group Discussion (FGD) dilakukan untuk verifikasi mode kegagalan dengan diikuti oleh para pemegang jabatan struktural di Power Plant yang juga merupakan narasumber ahli mengenai seluk beluk operasional PLTU khususnya di area *coal handling facility*. Syarat responden pada penelitian ini adalah karyawan PT. PJB UBJOM Pacitan yang telah memiliki sertifikasi operasional maupun pemeliharaan juga karyawan yang tersertifikasi yang terkait dengan *Safety* maupun *Fire Protection System*. Dengan berkoordinasi dengan bidang SDM peneliti melakukan identifikasi karyawan yang sesuai dengan persyaratan penelitian ini dan didapatkan 13 orang responden yaitu terdapat 1 orang General Manajer dan 3 orang Manajer (Operasi, Pemeliharaan dan Enjiniring), 1 orang supervisor pemeliharaan (Mesin 2), 2 orang supervisor Enjiniring dan 4 orang Supervisor (Operator CHF). *Expert* PT. PJB Kantor Pusat yang berlokasi di Surabaya yang menangani *coal handling facility* sejumlah 2 Orang level minimum Manajer sehingga total responden adalah 15 orang.

Pengumpulan data dilakukan penjelasan terkait detail pertanyaan kuesioner. Kemudian meminta responden untuk mengisi kuesioner penelitian. Hasil pengumpulan data kemudian direkapitulasi sebelum diolah.

3.6 Identifikasi Risiko

Pengumpulan data dan identifikasi risiko dari data di lapangan dipergunakan sebagai variabel penelitian. Risiko ini adalah mode kegagalan operasional yang pernah terjadi selama kurun waktu yang telah ditentukan dalam penelitian. Dilakukan pengelompokan variabel berdasarkan kategori sub sistem *coal handling facility*.

Dari data yang telah dikumpulkan didapatkan beberapa mode kegagalan operasional. Mode kegagalan ini menjadi variabel yang akan dinilai untuk mencari variabel mana yang menjadi risiko kritikal. Perlu dilakukan

pengkategorian mode kegagalan agar lebih mudah melihat hubungan dan urutan mode kegagalan tersebut dengan kegagalan operasional unit.

Kategori variabel yang dipergunakan dalam penelitian ini dengan mengikuti daftar peralatan utama dalam sub sistem yang berada pada *coal handling facility*. Data yang akan dikumpulkan dan dipergunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua macam yaitu data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang secara langsung didapatkan oleh peneliti dari sumber utama di lapangan. Dalam penelitian ini data primer yang dimaksud adalah hasil wawancara dan kuesioner dengan para pekerja di PT. PJB UBJOM Pacitan.

Data sekunder adalah data yang didapat dari literatur seperti paper, *journal* penelitian serta buku yang membahas terkait dengan risiko di *coal handling system* dan dokumen yang sudah ada di PT. PJB UBJOM PACITAN. Pada penelitian ini data sekunder dari PT. PJB UBJOM PACITAN yang dimaksud adalah dokumen dari *daily report*, *lesson Learnt document*, *event log*, *manual book*, *Standard Operating Procedure (SOP)*.

Self-combustion/kebakaran yang terjadi secara rinci tertulis pada *record history accident*, sehingga laporan ini dijadikan sebagai informasi utama untuk melakukan penelitian. *Lesson Learnt document* berisi tentang rincian kronologi dan solusi dari suatu kejadian. *Manual book* dan *Standard Operational Procedure* dapat membantu dalam analisa suatu kegagalan. Data-data tersebut semuanya saling mendukung dan melengkapi, sehingga akan memberikan informasi yang akurat akan suatu kejadian.

3.6.1 Pemberian Nilai

Di tahap ini dilakukan pemberian tiga nilai yang diperlukan. Nilai *Occurrence* berdasarkan frekuensi kejadian suatu mode kegagalan, nilai *Severity* berdasarkan dampak dari suatu mode kegagalan dan nilai *Detection* yaitu sebagai tingkat kemudahan mendeteksi suatu mode kegagalan akan terjadi. Nilai-nilai tersebut akan didapatkan dari data yang ada di lapangan, wawancara dan juga kuesioner.

3.6.2 Pengolahan dan Analisis Data

Proses analisis risiko kuantitatif ini didahului dengan identifikasi permasalahan operasional *coal handling facility*. Kemudian dengan menggunakan data yang ada, wawancara dan kuesioner dicarilah nilai *Severity* (Sev), *Occurrence* (Occ), dan *Detection* (Det). Setelah data didapatkan dimulailah dilakukan proses perhitungan nilai RPN yang merupakan hasil perkalian antara *Severity*, *Occurrence* dan *Detection*. Dari hasil RPN akan didapatkan risiko yang masuk dalam kategori kritikal menimbulkan kebakaran diarea *coal handling system*.

3.6.3 Rencana Mitigasi

Selanjutnya setelah didapatkan risiko yang masuk dalam kategori kritikal dari hasil analisa menggunakan metode FMEA. Maka akan dilakukan wawancara kepada karyawan PT. PJB UBJOM PACITAN yang menangani *coal handling facility* untuk mendapatkan informasi terkait mitigasi penanganan risiko kritikal yang sudah diterapkan maupun sedang menjadi program dari manajemen PT. PJB UBJOM PACITAN. Serta mencari data informasi dari literatur seperti journal/paper penelitian terkait dengan risiko *coal handling facility*. Mitigasi yang didapat diharapkan bisa mengurangi terjadinya proses *self-combustion*/kebakaran.

3.7 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini diberikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dicapai dan pemberian saran-saran terhadap perusahaan maupun penelitian yang akan datang.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengenalan PT. PJB UBJOM PLTU PACITAN dan *Coal handling Facility*

PT. PJB UBJOM PACITAN adalah unit pembangkitan tenaga listrik milik PT. PLN (Persero) yang dikelola oleh PT. Pembangkitan Jawa Bali sebagai Aset Manajer dan Aset Operatornya yang terletak di Jalan Pacitan Trenggalek KM 55 Kecamatan Sudimoro Kabupaten Pacitan ditunjukkan dalam gambar 4.1. PLTU Pacitan merupakan unit pembangkitan listrik yang memanfaatkan batu bara sebagai bahan bakar untuk pembangkitan tenaga listrik. Data informasi unit PLTU Pacitan ditampilkan sesuai tabel 4.1.



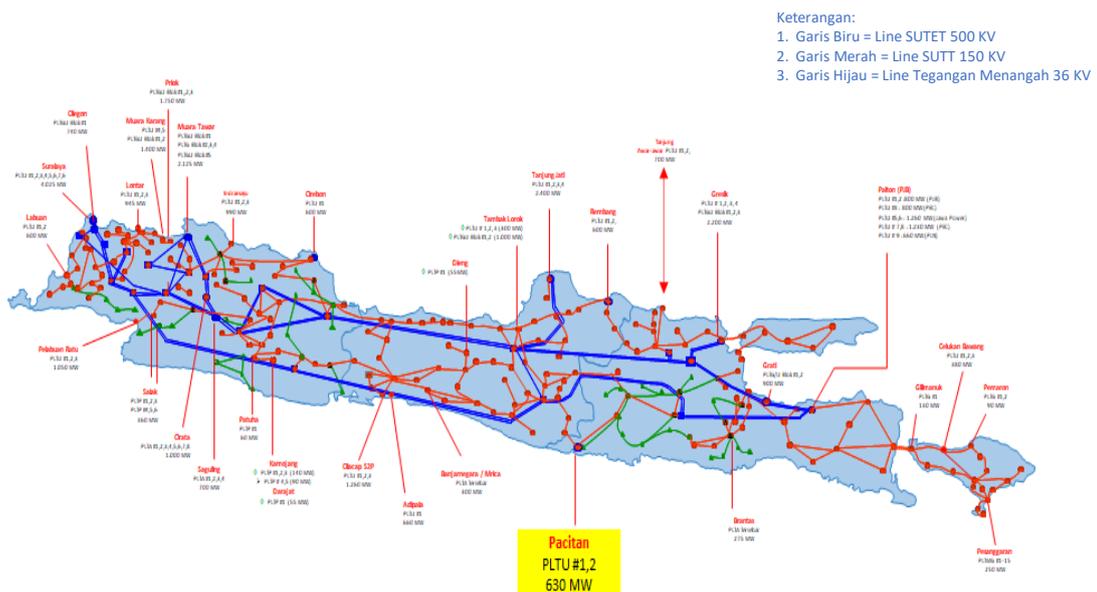
Gambar 4. 1 Unit PLTU PT. PJB UBJOM Pacitan 2 x 315 MW

Tabel 4. 1 Informasi Kapasitas PLTU Pacitan

Kapasitas terpasang	2 x 315 MW
Kapasitas <i>netto</i>	2 x 280 MW
Luas area	630.359 M2 / 63,03Ha
Spesifikasi batu bara	<i>Low Rank Coal (LRC) & Medium Rank Coal (MRC)</i>
Nilai kalor	4.200 Kcal/Kg
Tahun Operasi	22 Mei 2012
COD	PLTU UNIT #1 tgl 22 Juni 2013 PLTU UNIT #2 tgl 21 Agustus 2013
Manufaktur	<i>Dongfang Electric Corporation (DEC)</i>

Sumber : Randal Operasi PT. PJB UBJOM Pacitan

Secara umum daya listrik hasil dari pembangkitan listrik PLTU Pacitan masuk ke aliran daya 150 kV Sistem Jawa Bali dan disalurkan keseluruhan wilayah Jawa Madura dan Bali (JAMALI). Posisi PLTU Pacitan yang berada di perbatasan Jatim dan Jateng bisa melakukan *splitting transfer* energi listrik baik ke wilayah timur maupun ke wilayah Jawa Tengah dengan tegangan 150 kV ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Sistem Distribusi Energi Listrik Pulau Jawa dan Bali

Sumber : Randal Operasi PT. PJB UBJOM Pacitan

Dari hasil penelitian terkait operasional PLTU Pacitan yang dilakukan pada Tanggal 13 April 2020 didapatkan data sebagai seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2 :

Tabel 4. 2 Informasi Data Operasional PT. PJB UBJOM PLTU Pacitan

Data PLTU Unit # 1	Keterangan
Load	300 MW
Netto	284
Mvar	46 MVar
<i>coal</i>	169 Ton/Jam
SFC	0,56

Data PLTU Unit # 2	Keterangan
Load	282 MW
Netto	272
Mvar	51.1 MVar
<i>coal</i>	161 T/H
SFC	0,54

Stock	104.748,513 MT
Durasi Stock	13,03 Hari operasi
Note	(Bedding : 10.532,463 MT, Pembagi : 8.040 T)

Sumber : Randal Operasi PT. PJB UBJOM Pacitan

Sehingga dari tabel diatas dapat diperoleh data bahwa rata-rata kebutuhan batu bara setiap hari dalam operasional PLTU Pacitan dalam menghasilkan energi listrik adalah sebesar 8.040 Metrik Ton (MT).

4.2 Coal Handling Facility

Batu bara low rank didatangkan dari pulau Kalimantan dan pulau Sumatera menggunakan kapal tongkang dan kapal Vessel dan bersandar di *jetty* PLTU. Dengan menggunakan *Ship unloader* dipindahkan ke tempat penyimpanan/ coal yard dengan menggunakan *belt conveyor*.

4.2.1 Pelabuhan

Tahapan pertama *coal handling facility* PLTU Pacitan adalah diarea Pelabuhan. Fasilitas utama pada area Pelabuhan di PLTU Pacitan terdiri dari:

- **Breakwater**

Terdapat 2 (Dua) *breakwater* di Pelabuhan Khusus PLTU Pacitan, yaitu *breakwater* 1 yang berlokasi berdekatan dengan permanen *Jetty* dan *breakwater* 2 yang berlokasi berdekatan dengan Temporer *Jetty* yang ditunjukkan pada gambar 4.3. *Breakwater* memiliki fungsi untuk menjaga kestabilan permukaan kapal dan tongkang agar stabil serta menjaga kapal agar tidak menghantam *Jetty* terlalu keras akibat hempasan ombak air laut pantai selatan pulau Jawa yang terkenal kuat dan kencang ombaknya. Spesifikasi *breakwater* yang dimiliki oleh PLTU Pacitan ditunjukkan di dalam tabel 4.3.



Gambar 4. 3 Pelabuhan Khusus PLTU Pacitan

Tabel 4. 3 Data Spesifikasi Breakwater Pelabuhan PLTU Pacitan

Nama	Panjang	Lebar	Konstruksi					
			Batu Kosong	Rock bedding	Dolos	Elevasi Lantai	Face Line	Kemiringan
<i>Breakwater 1</i>	760 M	7 M	100-400	200-1.500 Kg/Unit	4-20 Ton/Unit	9635	-20	1 : 1.5
<i>Breakwater 2</i>	247 M	5 M	Kg/Unit			MLWS	MLWS	

Sumber : RENTAL Operasi PT. PJB UBJOM Pacitan

- **Jetty**

Jetty merupakan pelabuhan yang berada di pantai dekat dengan daratan. Terdapat 2 Unit *Jetty* milik PLTU Pacitan untuk operasional pengangkutan batu bara yaitu permanen *Jetty* yang digunakan untuk proses *unloading* batu bara dan Temporer *Jetty* yang digunakan untuk sandar kapal penarik tongkang dan kapal pengangkut barang. *Jetty* PLTU Pacitan memiliki kedalaman ± 30 meter. Untuk mengangkut batu bara dari lokasi penambangan batu bara ke PLTU Pacitan menggunakan kapal jenis *Vessel* maupun Tongkang yang akan bersandar di permanen *Jetty* PLTU Pacitan. Kemudian proses *unloading* batu bara dari *Vessel/Tongkang* ke *coal yard* dengan menggunakan *Ship unloader* (SU) yang memiliki kapasitas *unloading* batu bara 1250 Ton/Jam ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Proses *Ship unloader* PLTU Pacitan *Unloading* dari Kapal Pengangkut Jenis *Vessel*.

Penyedia jasa batu bara dan asal batu bara ke PLTU Pacitan dari :

1. PT Arutmin Indonesia - LRC (Kalimantan).
2. PT PLN BB - LRC (Kalimantan).
3. PT PLN BB - MRC (Kalimantan).
4. PT Dwi guna Laksana - LRC (Kalimantan).
5. PT Bukit Asam - MRC (Sumatera).

Durasi perjalanan metode pengiriman batu bara dari tambang ke PLTU Pacitan dengan menggunakan kapal *Vessel* selama 2 - 3 hari, menggunakan *Self Propelled Barge* durasi 5 - 6 hari dan jika menggunakan kapal Tongkang durasi 8 - 9 hari.

Dari hasil diskusi dengan operator *Ship unloader* didapatkan informasi bahwa saat proses unloading batu bara, potensi batu bara yang sering terjadi *self-combustion* kapal batu bara yang sandar ke PLTU Pacitan berasal dari pengiriman yang menggunakan kapal jenis tongkang.

4.2.2 Conveyor System

Belt conveyor yang digunakan di PLTU Pacitan sebelum *Transfer Tower* (TT) no.3 (gambar 4.5) dirancang dalam seri tunggal yaitu C-1.C-2.C-3 dan C-7, di mana *Belt conveyor* satu arah yang dipasang di *coal yard* batu bara dan *hopper* batu bara darurat dengan lebar *Belt conveyor* (B) adalah 1400 mm, dengan kecepatan (V) 3,5 m/s dan kapasitas (Q) angkut 2000 t/jam.



Gambar 4. 5 Transfer Tower 2 dan Belt conveyor 2 di dalam TT 2

Terdapat 2 jenis *Belt conveyor* yang digunakan di PLTU Pacitan, yaitu *Belt conveyor tipe Fire Resistant* dan *Belt conveyor tipe Fire Retardant*. Kedua jenis *Belt conveyor* tersebut memiliki ketahanan terhadap api sehingga jika terjadi

self-combustion/batu bara di *belt conveyor* api tidak mudah merambat melalui *conveyor*.

Dari hasil pengamatan dan wawancara operator CHCB di lapangan terkait operasional, *Conveyor System* dioperasikan dengan kapasitas maksimum 1000 ton/jam dengan tujuan agar tidak terjadi *Jogging* pada *belt conveyor* yang dapat menimbulkan tumpahan batu bara.

Prosedur *Preventive Maintenance* (PM) *Conveyor System* PLTU Pacitan sudah terjadwal rutin di dalam *system Maximo* yang menerbitkan *work order* PM setiap seminggu sekali dan dieksekusi oleh bidang pemeliharaan Mesin 2.

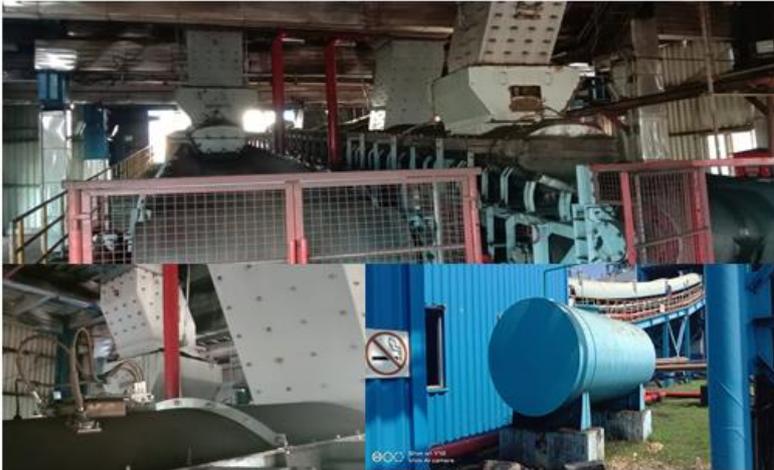
4.2.3 Transfer Tower

Dari hasil pengamatan di area *Transfer Tower* saat masih proses loading ditemukan debu batu bara yang menempel di semua ruangan walaupun setiap hari dilakukan pembersihan oleh *cleaning service* dengan menggunakan peralatan manual *cleaning* dan *vacuum system* serta dilakukan *wet cleaning* yang dilakukan setiap minggu sekali. Ini menandakan bahwa intensitas debu batu bara yang beterbangan saat proses loading batu bara ke *coal yard*/bunker sangat tinggi dan belum bisa dikontrol dengan baik.

Terdapat fasilitas untuk mengendalikan debu yang beterbangan saat proses *loading* batu bara yaitu *Dust Suppression* (TT 0) dan *Dust Collector* (TT 0, ERH, BC 5 dan BC 6).



Gambar 4. 6 Transfer Tower No. 3



Gambar 4. 7 *System Dust Suppression di Belt Conveyor*

4.2.4 Coal Yard

Coal yard PLTU Pacitan memiliki kapasitas sebagai berikut :

- *Stock* 200.000 MT.
- *Bedding coal* 10.532,463 Metrik Ton.
- *Stock Efektife* 189.467,537 Metrik Ton.
- Umur Persediaan 24 Hari Operasi (HOP).

Operasional *coal yard* untuk proses *unloading* dan *loading* batu bara di *coal yard* dilakukan dengan metode *First In First Out*. Metode ini digunakan agar dapat mencegah terjadinya *self-combustion* batu bara di *coal yard*.

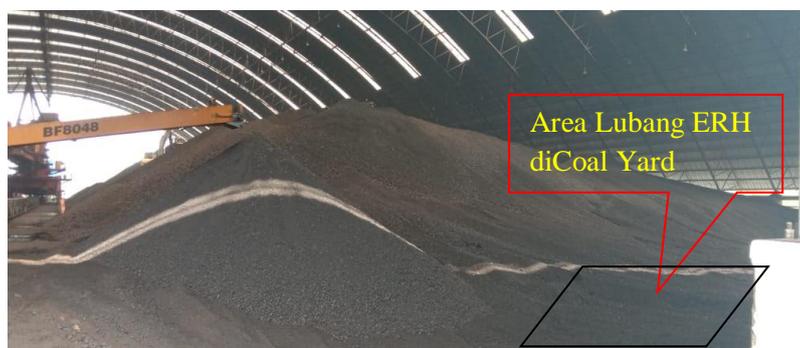
Dari supply batu bara yang digunakan terdapat 2 jenis batu bara yaitu *Medium Rank Coal* (MRC) dan *Low Rank Coal* (LRC). Untuk MRC lokasi penempatan di *coal yard* 1 dan LRC ditempatkan di *coal yard* 2. Terdapat *Stacker Reclaimer* (SR) yang ditunjukkan pada gambar 4.8 digunakan untuk melakukan *unloading* batu bara dari *Jetty* serta *loading* batu bara dari *coal yard* ke Bunker. SR yang digunakan merupakan tipe bolak-balik yang mampu mengatur batu bara di *coal yard* dengan kepadatan batu bara 0,8 - 1,2 T/M³ serta tinggi timbunan batu bara hingga 12 meter di atas rel dan 2 m di bawah rel.



Gambar 4. 8 Stacker Reclaimer PLTU Pacitan

Belt conveyor dari *Stacker Reclaimer* ke *Transfer Tower* dirancang dengan cara ganda. *Belt conveyor* dua arah didesain dengan lebar = 1200 mm, $v = 3.15$ m/s, $Q = 1250$ T/Jam sedangkan sabuk A / B dari C-6 yang dipasang di Bunker batu bara akan dirancang sebagai: $B = 1400$ mm, $v = 2.5$ m/s, $Q = 1250$ t/h.

Untuk mengantisipasi proses *loading* batu bara ke Bunker jika SR dalam kondisi dalam kondisi *maintenance* maka di area *coal yard* terdapat fasilitas *Emergency Reclaimer Hopper (ERH)* yang dapat digunakan untuk melakukan *loading* batu bara ke Bunker dengan menggunakan *Wheel Loader* untuk mendorong batu bara menuju lubang ERH seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Peralatan *Emergency Reclaimer Hopper*

Dari hasil pengamatan data history pemadaman *self-combustion* yang dilakukan bidang K3, area *coal yard* merupakan area yang memiliki potensi

tertinggi terjadinya *self-combustion* yaitu sebanyak 49 kali sejak tahun 2018 – April 2020 seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.

4.2.5 *Crusher*

Crusher di PLTU Pacitan terletak di dalam *Transfer Tower* No 3. Kapasitas *Crusher* adalah 1000 ton/jam dan dilengkapi dengan *Dust Suppression System*. Dari hasil pengamatan *Work Order* dari *system* Maximo didapatkan informasi bahwa permasalahan utama dari *crusher* adalah material *body crusher* yang berada diposisi gigi penghancur batu bara yang sering keropos akibat abrasi.



Gambar 4. 10 Peralatan *Crusher*

4.2.6 *Coal Bunker*

PLTU Pacitan memiliki 5 Bunker untuk setiap unit PLTU ditunjukkan pada gambar 4.11, sehingga total Bunker adalah 10 unit Bunker untuk 2 unit PLTU. Pengisian batu bara ke Bunker menggunakan *Belt conveyor* 6 (BC 6) yang dilengkapi dengan *V plough* sebagai pengarah batu bara menuju Bunker ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.11 Area Bunker PLTU Pacitan Unit 1



Gambar 4.12 V plough area

Area BC 6 disebut juga sebagai area *Tripper*, untuk mengendalikan debu batu bara saat pengisian Bunker di area *Tripper* terdapat fasilitas *Dust Collector* yang untuk setiap unit Bunker yang berfungsi sebagai penyedot debu di dalam Bunker sehingga area *Tripper* lebih aman dari debu batu bara yang beterbangan disaat proses pengisian batu bara, terutama saat pengisian batu bara tipe LRC. *Dust Collector* ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Dust Collector Area Tripper PLTU Pacitan

Untuk mendapatkan mengoptimalkan bahan bakar batu bara di dalam proses pembakaran di boiler untuk mendapatkan *heat rate* yang bagus maka kebutuhan bahan bakar PLTU sebelum proses *loading* batu bara dilakukan proses *mixing* antara batu bara *tipe* LRC dengan MRC oleh Operator SR bidang operasi dengan frekuensi setiap Shift pagi 1 kali, Shift Sore 1 kali, Shift malam 2 kali dalam satu hari.

Area *V plough* merupakan area yang paling rawan terjadinya kebakaran karena pada saat pengisian batu bara ke bunker banyak debu batu bara yang beterbangan memenuhi seluruh ruangan serta terdapat 2 line *steam* seperti ditunjukkan pada gambar 4.14 yang menyalurkan uap dari hasil proses di boiler ke turbin di mana desainnya melintasi area *plough* dengan posisi melintang di atas BC6 dan berdekatan dengan *V plough* sehingga memudahkan debu batu bara menempel di atas permukaan line *steam* memiliki risiko *hot surface*.



Gambar 4. 14 Pipa *line steam* di area BC 6

Dan dari hasil wawancara dengan *Fire Engineering* PLTU Pacitan didapatkan informasikan bahwa pernah terjadi kebakaran hebat terjadi di area *plough* pada tahun 2017 yang mengakibatkan 2 line *belt conveyor* putus, 3 unit bunker terbakar serta rusaknya *Dust Collector* yang mengakibatkan unit shutdown dalam kurun waktu 2 minggu untuk proses penormalan operasi area BC6.

4.2.7 Fire Protection System

Dari hasil pengamatan di lapangan terkait dengan kesiapan *fire Protection system* di PLTU Pacitan saat ini dalam proses penormalan *fire Protection system* sesuai dengan standar NFPA 850. Pada tahun 2018 telah dilakukan pemindahan line *hydrant* dari tipe *underground* menjadi *upperground*. Dan ditahun 2020 sedang dikerjakan proyek *upgrade fire system conveyor* dari *system sprinkle* menjadi *deluge system* mulai dari *jetty* sampai diarea *BC6/plough*.

4.2.8 Safety Culture PLTU Pacitan

PT. PJB Kantor pada tahun 2018 telah melakukan pengukuran tingkat kematangan *Safety Culture* di 3 unit pembangkitnya dan PLTU Pacitan adalah salah satu pesertanya. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa *safety leadership* secara langsung berpengaruh signifikan terhadap *safety climate* dan *safety culture* (Dedy, 2018).

Dari hasil diskusi dengan SPV K3 terkait dengan penerapan manajemen pengendalian kontraktor diinformasikan bahwa PT. PJB di tahun 2020 dalam proses set up program *Contractor Safety Management System (CSMS)*. Salah satu dasar penerapan program CSMS adalah banyaknya pelanggaran K3 yang dilakukan kontraktor serta berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja maupun kebakaran. Salah satu contoh kejadian kebakaran yang terjadi diarea *Crusher* yang diakibatkan oleh kontraktor yang melakukan pekerjaan *hot work* tanpa ijin / tidak melakukan pengurusan *Hot Work Permit* yang diterbitkan bidang K3.

Hot Work Permit ini merupakan persyaratan bagi seluruh pekerja PLTU Pacitan baik karyawan organik maupun kontraktor yang akan melakukan pekerjaan panas di seluruh area PLTU. Karena dengan dilakukan pengurusan *Hot Work Permit* oleh pekerja maka bidang K3 akan melakukan mitigasi risiko pada seluruh proses pekerjaan yang diajukan kemudian menyiapkan tindakan pencegahan serta memberikan briefing kepada pekerja yang akan melakukan *hot work* dan menempatkan petugas *Fire Watch* yang akan melakukan pengawasan aktivitas saat proses *hot work* dan dilanjutkan pemantauan sampai 4 jam setelah pekerjaan *hot work* selesai untuk memastikan bahwa tidak ada efek *hot work* yang dapat menyebabkan *self-combustion* karena diarea PLTU terdapat masih banyak debu batu bara yang beterbangan disaat proses loading batu bara.

4.2.9 Housekeeping

PLTU yang menggunakan batu bara *tipe* LRC selalu mempunyai permasalahan dengan debu batu bara, karena merupakan karakteristik batu bara *tipe* LRC yang mudah hancur, berdebu dan *self-combustion*. Sehingga agar dapat menciptakan kondisi lingkungan kerja PLTU yang bersih aman dan nyaman PT. PJB UBJOM Pacitan telah menggunakan 1 unit *Vacuum* Truk serta *Cleaning service agent* yang memiliki *standar Industrial Cleaning*. Data jumlah tenaga kerja *Cleaning service area coal handling facility* ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Man Power dan Jadwal *Cleaning* area CHF

Area	Jumlah <i>Manpower</i>				Sub Total
	Pagi	Siang	Malam	OFF	
COAL HANDLING					
<i>Ship unloader</i>	2				2
<i>Transfer Tower 0 & BC 0 & BC 1</i>	3				3
<i>Transfer Tower 1</i>	2				2
<i>coal Belt conveyor Trestle # 2</i>	2				2
<i>Transfer Tower 2</i>	2				2
<i>Stacker Reclaimer</i>	3	3	3	3	12
<i>Transfer Tower 3</i>	3	3	3	3	12
<i>coal Belt conveyor Trestle # 4</i>	3			1	4
<i>coal Belt conveyor Trestle # 7</i>	2	2	2	2	8
<i>Crusher House</i>	2	2	2	2	8
<i>coal Belt conveyor Trestle # 5</i>	2				2
<i>coal Belt conveyor Trestle # 6</i>	4	3	3	3	13
<i>Sampling 1 & 2</i>	1				1

Sumber : Bidang Lingkungan PT. PJB UBJOM Pacitan

4.3 Penentuan Potensi *Failure* Kebakaran Dalam Operasional *coal handling facility*

Penanganan batu bara di *coal handling facility* (CHF) sangat penting untuk diperhatikan pengawasannya, karena potensi terjadinya kebakaran terbesar PLTU berada di area *coal handling facility*. Bagi PLTU Pacitan dalam menangani *coal handling facility* merupakan kebutuhan utama dalam operasional PLTU. Dikarenakan posisi letak PLTU Pacitan yang berada di selatan pulau Jawa dan supplier batu bara berada di daerah Kalimantan dan Sumatera yang

mengakibatkan pengiriman batu bara membutuhkan yang lama karena harus melintasi pulau Jawa sehingga dapat mengakibatkan batu bara mengalami deformasi dari batuan pecah menjadi kerikil bahkan menjadi pasir/debu dan menyebabkan terjadinya *self-combustion*. Dan jika *self-combustion* batu bara ini tidak diketahui dan terangkut dalam *conveyor system* dapat menjadikan sumber penyalan api saat bersentuhan dengan debu batu bara yang sudah lama menempel di peralatan *conveyor* dan *transfer tower* yang dapat memicu terjadinya kebakaran. Dari Gambar 4.15 ditunjukkan sistem proses *coal handling System* dari mulai *jetty* sampai Bunker dan didalam tabel 4.5 menunjukkan jenis failure pada peralatan serta akar penyebabnya yang terjadi di peralatan *coal handling facility* yang dapat dilihat lebih lengkap pada lampiran 4. (Bundhoo, 2012).



Gambar 4. 15 Jalur Sistem *Coal handling System*

Table 4. 5 Root Cause Failure Analysis Coal handling Facility

<i>Sub-system & Function</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Effect of Failure</i>	<i>Cause of Failure</i>
<i>Vibrating table</i> <i>[Drive out coal to a conveyor]</i>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>
			<i>Fuse fails</i>
			<i>Contactor fails</i>
			<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>
	<i>Misalignment due to coupling</i>		
	<i>Limit switch failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Sensor actuation fails</i>
	<i>Spring failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Failure of spring due to excessive stress</i>
<i>Screener</i> <i>[separate the coal depend on their sizes]</i>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>
			<i>Fuse fails</i>
			<i>Contactor fails</i>
			<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>
<i>Vibrating table</i> <i>[Drive out coal to a conveyor]</i>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>
			<i>Fuse fails</i>
			<i>Contactor fails</i>
			<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>
	<i>Misalignment due to coupling</i>		
	<i>Limit switch failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Sensor actuation fails</i>
	<i>Spring failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Failure of spring due to excessive stress</i>
<i>Screener</i> <i>[separate the coal depend on their sizes]</i>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>
			<i>Fuse fails</i>
			<i>Contactor fails</i>
			<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>
<i>Screener</i> <i>[separate the coal depending on their sizes]</i>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Misalignment due to coupling</i>
	<i>Bearing failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Overloading</i>
			<i>Lubrifcation failure</i>
	<i>Shock absorber fails</i>	<i>Low operation</i>	<i>Component fails due to excessive stress</i>
	<i>Bolt failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Bolts broken</i>
			<i>Loosening of bolts due to excessive vibration</i>
	<i>Screen failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Misalignment</i>

Sumber: (Bundhoo, 2012)

Sehubungan dengan Risiko yang terjadi maka harus direncanakan solusi untuk menghadapinya. Langkah penting bagi manajemen risiko adalah mengidentifikasi yang ada. Sebelum menentukan urutan jenis *failure* maka harus dilakukan identifikasi proses yang terjadi di area *coal handling facility* PLTU Pacitan. Kemudian dengan menggunakan metode FMEA digunakan untuk menentukan daftar kritikal *risk* untuk setiap peralatan *coal handling facility*. Di mana penentuan FMEA berdasar dampak bagi peralatan, kemungkinan terjadinya dan dapat atau tidaknya risiko untuk diketahui. Jenis *failure* pada peralatan yang telah dipetakan didapat dari wawancara serta kuesioner dari ekspert PT. PJB. Data history Laporan Investigasi Kebakaran area *coal handling facility* juga digunakan untuk penentuan bobot. Dari laporan tersebut akan didapatkan bagaimana dampak kebakaran yang terjadi di area *coal handling facility* dan serta pengaruhnya terhadap operasional unit PLTU.

Setelah penentuan risiko paling kritis maka tanggapan mitigasi risiko yang tepat bagi proses tersebut harus ditentukan. Harapan yang didapat dengan metode FMEA adalah penentuan mitigasi menjadi lebih tepat berdasar risiko yang dihadapi serta untuk meningkatkan operasi *coal handling* yang efektif dan selalu aman dari bahaya kebakaran. Dengan adanya mitigasi untuk peralatan yang paling kritis diharapkan peralatan lain akan berkurang pula tingkat risikonya.

Untuk menentukan jenis *failure* yang terjadi dalam operasional CHF di PLTU Pacitan, dengan merujuk pada jurnal penelitian sebelumnya terkait *Hazard analysis and risk assessment in thermal power plant* (Rathod dkk., 2017) serta memperhatikan data dari Bidang K3 PLTU Pacitan tentang *record history* terjadinya *self-combustion*/kebakaran batu bara. Dilakukan *Forum Group Discussion* (FGD) dengan karyawan PLTU Pacitan yang menangani *coal handling* dan mendapatkan 13 jenis *failure*.

Selanjutnya dari hasil FGD tersebut jenis *failure* yang terjadi pada operasional CHF di PLTU Pacitan dilakukan FGD dengan ekspert CHF PT. PJB Kantor Pusat yang diikuti oleh Kepala Bidang *Technical Support, Process Safety Management* serta Manajer Pembinaan *coal handling* di PT PJB. Dan didapatkan tambahan 2 jenis *failure*. Bentuk formulir FGD ditunjukkan pada lampiran 1. Sehingga dari hasil FGD yang telah dilakukan dapat diperoleh dan disepakati 15 (lima belas) jenis *failure* yang dapat terjadi dalam operasional CHF PLTU Pacitan

yang dapat memicu timbulnya *self-combustion* dan dapat memicu terjadinya kebakaran. Adapun 15 jenis *failure* yang didapat dari hasil FGD yang telah dilakukan dapat dilihat dalam tabel 4.6.

Selanjutnya semua jenis *failure* tersebut ditabulasi dan dikombinasikan dengan bobot risikonya menjadi suatu bentuk kuesioner yang dibagikan kepada 12 responden karyawan PLTU Pacitan yaitu General Manajer, Manajer Operasi, Manajer Engineering, Manajer Pemeliharaan serta 3 orang SPV operasi CHF, SPV Bahan Bakar, SPV Mekanik 2, SPV *System Owner* dan 2 orang *Fire Engineering* yang memiliki kompetensi yang tinggi untuk memberikan penilaian.

Tabel 4. 6 Jenis *Failure* pada Operasional *coal handling facility*

No	Jenis <i>Failure</i>
1	Batu bara banyak yang berdebu
2	<i>Self-combustion</i> di tongkang
3	<i>Self-combustion</i> di <i>coal yard</i>
4	<i>Conveyor Jogging</i>
5	<i>Slip</i> /kerusakan pada <i>Pulley</i>
6	<i>Mechanical Spark</i>
7	<i>Crusher</i>
8	<i>Dust Suppression System</i>
9	<i>Dust Collector System</i>
10	<i>Welding and Cutting</i>
11	<i>Hot Surfaces</i>
12	<i>Housekeeping</i>
13	<i>Self-combustion</i> di Bunker
14	<i>Design Transfer Chute</i>
15	<i>Fire Protection system</i>

4.4 Standar Rating

Pada tahapan penelitian berikutnya dengan menggunakan metode FMEA melalui media kuesioner akan didapatkan tingkatan dengan mentabulasi semua jenis *failure* tersebut dan dikombinasikan dengan bobot. Bentuk kuesioner yang digunakan dapat dilihat dalam bagian lampiran 2. Dalam format kuesioner tersebut, ditentukan ketiga rating yang akan menentukan risiko kritis yaitu nilai *rating* probabilitas terjadinya risiko (*Occurrence*), dampak akibat risiko (*Severity*), dan deteksi terhadap risiko (*Detection*). PT PJB selaku Induk perusahaan PT. PJB UBJOM Pacitan telah memiliki standar sendiri untuk pemberian rating *Severity* maupun *Occurrence*, dan standar tersebut digunakan

dalam penelitian ini. Standar nilai *Occurrence* dan *Severity* dapat dilihat dalam bagian lampiran 3

Sementara nilai dari *Detection* adalah kuantifikasi dari kontrol atau prosedur atau strategi yang dapat memungkinkan untuk mendeteksi suatu kesalahan akan terjadi atau sebelum dampak kesalahan tersebut terjadi. Fungsi deteksi identik dengan pemahaman sumber risiko dan atau pemahaman terhadap pengendalian yang ada pada proses yang diamati untuk melihat apakah risiko yang ada dapat diketahui sebelum terjadinya kegagalan dan juga apakah kontrol yang dimiliki dapat mengurangi risiko kegagalan yang dapat terjadi.

Skala yang digunakan mulai dari rentang 1 – 5, yang mana semakin tinggi skala maka semakin rendah tingkat kontrol yang dimiliki untuk mendeteksi terjadinya. Parameter deteksi ini dapat menjadi masukan ke PT. PJB UBJOM PACITAN untuk kemungkinan menggunakan metode FMEA dalam melakukan analisa risiko. Tabel *Detection* yang dipilih dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.7 yang digunakan dalam penelitian dengan menggunakan metode FMEA oleh (Junkeon dkk., 2017).

Tabel 4. 7 Nilai *Detection*.

<i>Rank</i>	Kriteria	Keterangan
1	<i>Very High</i>	Gangguan akan menyebabkan alert atau akan memicu <i>shutdown</i> .
2	<i>High</i>	Gangguan dapat dideteksi sesuai dengan penyimpangan sistem.
3	<i>Low</i>	Gangguan tidak terdeteksi oleh sensor.
4	<i>Remote</i>	Gangguan tidak terdeteksi secara fisik.
5	<i>Never</i>	Gangguan tidak dapat dideteksi dengan metode apa pun.

Sumber : (Junkeon dkk., 2017).

PT. PJB telah memiliki prosedur untuk mengidentifikasi risiko, melakukan penilaian dan pengendalian risiko yang didalamnya dilengkapi format untuk aktivitasnya sesuai dengan SK PT. PJB No.128/DIR/2014 tentang penerapan manajemen resiko dilingkungan PT. PJB. Dalam penentuan level risiko dari perhitungan nilai *risk score* di PT. PJB UBJOM PACITAN didasarkan pada suatu *risk matrix* yang ditentukan. Tingkat atau level dari suatu risiko didefinisikan sebagai hubungan antara *Severity* dan *Occurrence*. Untuk tabel *risk matrix* dalam penentuan nilai *risk score* yang digunakan di PT. PJB UBJOM PACITAN dalam kegiatan *risk assessment* dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 8 Matriks Risiko di PT PJB

Tingkat Kemungkinan	Sangat Besar	E	Moderat	Moderat	Tinggi	Ekstrem	Ekstrem
	Besar	D	Rendah	Moderat	Tinggi	Ekstrem	Ekstrem
	Sedang	C	Rendah	Moderat	Tinggi	Tinggi	Ekstrem
	Kecil	B	Rendah	Rendah	Moderat	Tinggi	Ekstrem
	Sangat Kecil	A	Rendah	Rendah	Moderat	Tinggi	Ekstrem
			1	2	3	4	5
			Tidak Signifikan	Minor	Medium	Signifikan	Malapetaka
			Tingkat Dampak				

Sumber : PT. PJB UBJOM PACITAN

4.5 Analisis Data FMEA

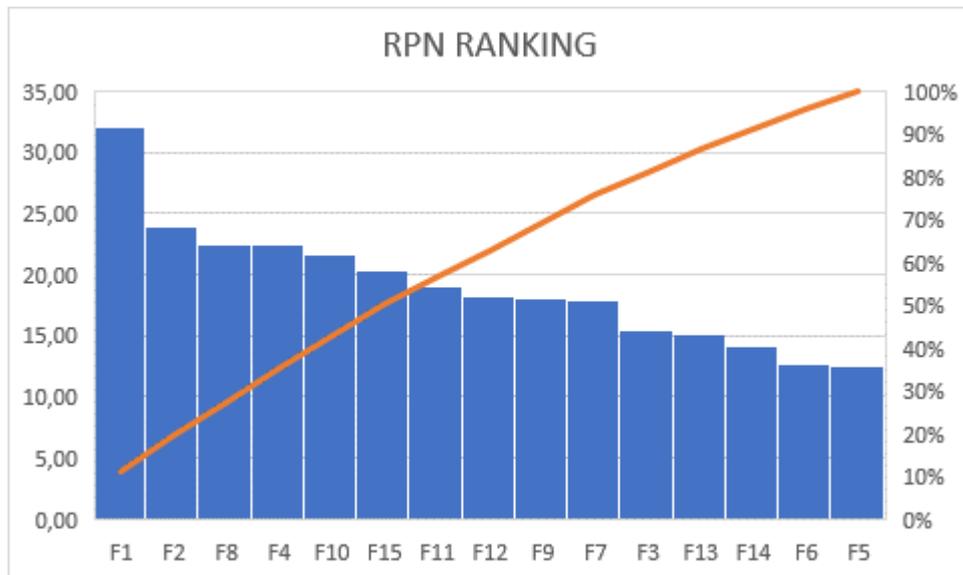
Penentuan nilai *Occurrence*, *Severity*, dan *Detection* dilakukan setelah jenis *failure* teridentifikasi. Untuk menentukan nilai tersebut menggunakan kuesioner yang diberikan kepada 12 (sebelas) karyawan di PT PJB UBJOM PACITAN dengan jabatan minimal Supervisor yang pengisiannya dilakukan melalui *Online brainstorming* dan penulis secara aktif menjelaskan tata cara pengisiannya. Dari hasil penilaian tersebut maka didapatkan masing-masing nilai untuk *Occurrence*, *Severity*, dan *Detection* untuk tiap jenis *failure*.

Dari data nilai rata-rata untuk ketiga parameter tersebut, maka dapat dibuat tabulasi baru untuk dapat menentukan nilai RPN yang diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.1 pada halaman 32. Mendapatkan nilai RPN merupakan tahapan penting dalam penentuan tingkat risiko dengan metode FMEA karena dari nilai RPN akan dapat diketahui prioritas risiko yang termasuk risiko kritis. Adapun nilai RPN yang diperoleh seperti tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4. 9 Nilai Occ, Sev, Det, dan RPN

KODE	JENIS <i>FAILURE</i>	Occ	Sev	Det	RPN
F1	Batu bara banyak yang berdebu	3,50	3,33	2,75	32,05
F2	<i>Self-combustion</i> di tongkang	2,92	3,17	2,58	23,88
F3	<i>Housekeeping</i> tidak bersih	2,25	2,67	2,58	15,50
F4	<i>Self-combustion</i> di <i>coal yard</i>	2,92	3,08	2,50	22,48
F5	<i>Dust Collector System</i> rusak	2,00	2,33	2,67	12,44
F6	<i>Fire Protection system</i> tidak <i>standby</i>	2,33	2,17	2,50	12,64
F7	<i>Dust Suppression System</i> rusak	1,92	3,50	2,67	17,94
F8	<i>Hot Surfaces</i>	2,58	2,83	3,08	22,49
F9	<i>Mechanical Spark</i>	2,08	3,25	2,67	18,05
F10	<i>Hot work</i> tidak berizin	2,58	3,25	2,58	21,63
F11	<i>Slip/kerusakan</i> pada <i>Pulley</i>	2,42	3,25	2,42	19,03
F12	<i>Self-combustion</i> di Bunker	2,42	3,00	2,50	18,15
F13	Desain <i>Transfer Chute</i>	1,75	3,58	2,42	15,16
F14	<i>Conveyor Jogging</i>	1,75	2,50	3,25	14,22
F15	<i>Crusher body</i> berlubang	2,50	3,75	2,17	20,34

Berdasarkan data dari tabel 4.9, maka dapat dibuat diagram *Pareto* untuk menyusun *ranking* dari RPN seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Grafik Ranking RPN dengan Metode FMEA.

Gambar 4.16 menunjukkan kode *failure* secara berurutan mulai dari yang nilai RPN-nya paling besar hingga yang nilainya paling kecil. Berdasarkan risiko

yang telah terdaftar dan diketahui nilai RPN masing-masing, maka dapat ditentukan risiko kritis. Suatu risiko dikategorikan sebagai risiko kritis jika memiliki nilai RPN di atas nilai kritis. Nilai kritis RPN ditentukan dari rata-rata nilai RPN dari seluruh risiko.

$$\text{Nilai Kritis RPN} = \frac{\text{Total RPN}}{\text{Jumlah Risiko}} = \frac{286,02}{15} = 19,07 \quad (4.1)$$

Berdasarkan nilai kritis RPN diatas juga diperoleh 6 (enam) risiko kritis. Nilai RPN dari lima risiko tersebut berada di atas 19,07 yang merupakan nilai kritis RPN. Untuk jenis keenam risiko tersebut dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Risiko Kritis berdasarkan FMEA.

KODE	JENIS <i>FAILURE</i>	Occ	Sev	Det	RPN
F1	Batu bara banyak yang berdebu	3,50	3,33	2,75	32,05
F2	<i>Self-combustion</i> di tongkang	2,92	3,17	2,58	23,88
F8	<i>Hot Surfaces</i>	2,58	2,83	3,08	22,49
F4	<i>Self-combustion</i> di <i>coal yard</i>	2,92	3,08	2,50	22,48
F10	<i>Hot work</i> tidak berizin	2,58	3,25	2,58	21,63
F15	<i>Crusher body</i> berlubang	2,50	3,75	2,17	20,34

4.6 Penentuan Mitigasi Resiko Jenis *Failure* diarea CHF

Dari hasil rating risiko berdasarkan perhitungan dengan metode FMEA didapatkan data bahwa dari 15 Jenis *failure* yang dilakukan penelitian, terdapat 6 jenis *failure* memiliki resiko yang besar diatas 19,07 yang memerlukan perhatian khusus agar area CHF selalu aman dari resiko terjadinya *Self-combustion* yang dapat menyebabkan terjadinya kebakaran batu bara.

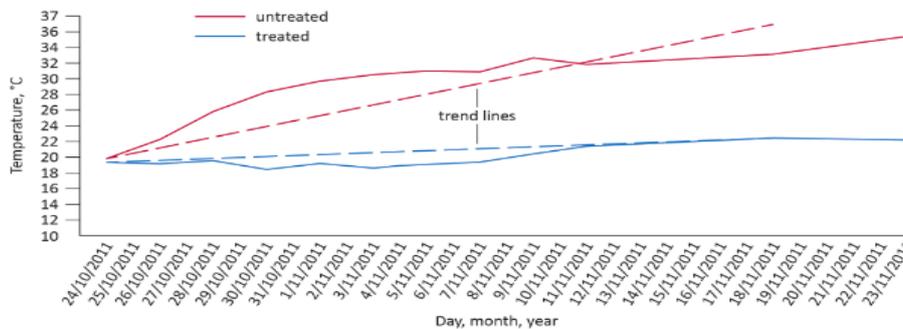
Untuk dapat mengatasi resiko tersebut diperlukan mitigasi penanganan terhadap 6 jenis *failure* di peralatan CHF. Melalui penelitian ini peneliti melakukan kajian mitigasi melalui literatur buku, paper serta melakukan wawancara dengan karyawan PT. PJB PLTU Pacitan untuk mendapatkan mitigasi resiko jenis *failure* yang kompatibel untuk diterapkan di PLTU Pacitan.

4.6.1 Mitigasi Resiko Banyak yang berdebu

4.6.1.1 Debu dari Tambang

Mitigasi resiko yang dapat dilakukan adalah :

1. Batu bara sebelum dikirim dari tambang dilakukan penyemprotan dengan *surfactance* untuk mencegah deformasi batu bara. (Beamish dan Smith, 2014) dalam (Sloss, 2015) “melaporkan keuntungan lain menggunakan aplikasi anti-oksidan: lebih sedikit degradasi batu bara, mengurangi masalah debu, mempertahankan nilai kalor, pengurangan dampak lingkungan dan keselamatan dari emisi gas yang terkait dengan pengembangan *hot spot*, yang digambarkan pada grafik di gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Grafik *trending* temperatur batu bara menggunakan *surfactance*

Sumber : (Sloss, 2015)

2. Pengangkutan batu bara diutamakan menggunakan *tipe Vessel boat*
3. SU (*Ship unloader*) telah dilengkapi oleh *Dust Suppression* dilakukan modifikasi *nozzle*. (Xie dkk., 2007) dalam (Zuniawan & Sriwana, 2019) mengungkapkan "...dengan tekanan tertentu, efisiensi meningkat ketika desain *nozzle* diubah untuk menghasilkan kabutan yang lebih kecil. Kabutan kecil lebih efektif dalam menjatuhkan partikel debu kecil dari udara." Contoh aplikasi ditunjukkan pada gambar 4.18.

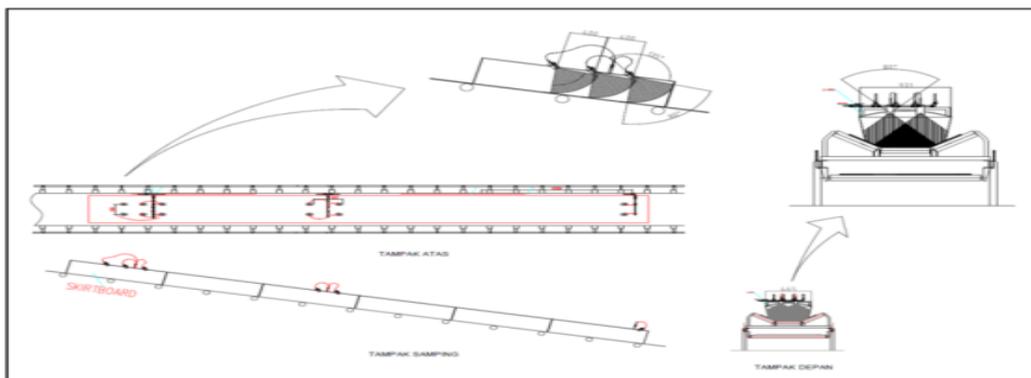


Gambar 4. 18 Dust Suppression di Ship unloader
Sumber : (Zuniawan & Sriwana, 2019)

4.6.1.2 Debu di coal yard

Mitigasi resiko yang dapat dilakukan adalah:

1. Saat proses loading batu bara dari Jetty ke coal yard di belt conveyor TT0 - TT2 dipasang *Dust Suppression system* dengan menggunakan system nozzle yang sangat kecil dengan tekanan air yang tinggi yang dapat menghasilkan pengkabutan. Sesuai dengan penelitian tentang *Hi-Pressure Fog Spray Dust Suppression System* Di PLTU Paiton 9 Dapat dilakukan pemasangan dust suppression sistem sesuai design pada gambar 4.19 dengan biaya sebesar Rp. 78.039.104,00.



Gambar 4. 19 Desain Hi-Pressure Fog Spray Dust Suppression

Hasil penelitian (Sony dkk, 2018) mampu mengendalikan debu yang terbentuk ketika proses *handling*, yang dibuktikan dengan penurunan kadar debu pada udara dari 50,14 mg/m³ menjadi 1,35 mg/m³ sesuai dengan standar yang ditetapkan sebesar 10 mg/m³. Dan merupakan salah satu program yang mendukung *Operation Excellent* khususnya *Coal handling Safety* karena

pengendalian debu dapat meminimalkan dan menghilangkan kejadian kebakaran dan pencemaran lingkungan. Serta dapat mengurangi biaya pemeliharaan peralatan khususnya pada *scope cleaning*.

2. Penerapan manajemen penggunaan batu bara di area *coal yard* dengan metode *First In First Out* (FIFO).
3. Memasang *water jet spray/fogging system* untuk pembasahan Batu bara di *coal yard* untuk menjaga temperatur *coal yard* selalu stabil.
4. Proses loading batu bara dari *coal yard* diutamakan menggunakan *Stacker Reclaimer*. Memasang peralatan tambahan *water fogging fan* saat loading menggunakan *Wheel loader* seperti ditunjukkan pada gambar 4.20.



Gambar 4. 20 *Water Fogging Fan*

Sumber : Internet⁵

4.6.2 *Self-combustion* di Tongkang

Mitigasi resiko yang dapat dilakukan adalah :

1. Menurut Geijs dan Ruijgrok (2014) dalam (Sloss, 2015) “Sebelum dilakukan *unloading* batu bara harus dilakukan pengukuran temperatur batu bara. Dan hanya akan diterima untuk *unloading* bila suhu muatan tidak lebih tinggi dari 55° C berdasarkan *International Maritime Solid Bulk Cargoes* (IMSBC) *CODE*: Bagian 4 (proteksi kebakaran).”
2. Pemadaman *Self-combustion* dengan *foam* menggunakan *piercing rod*.

⁵ <https://bosstek.com/high-performance-dust-control-at-midwest-coal-transfer-station/> diakses 3 Juni 2020 pukul 11.11 Wib.

3. Monitoring temperatur batu bara dengan *thermal imaging spot* sesuai gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Thermal Imaging Spot

Sumber : Internet⁶

4. Pembasahan dengan air *hydrant* untuk area batu bara yang memiliki temperatur $> 55^{\circ} \text{C}$.
5. Mempersingkat waktu sandar kapal dengan mempercepat waktu bongkar.
6. Untuk penanganan self-combustion dari tongkang yang terangkut *Grab ship unloader* diarea *conveyor belt* TTO dapat dipasang camera thermal imaging yang dapat mendeteksi self-combustion secara dini dan terkoneksi dengan sistem hydrant untuk pemadamannya.

4.6.3 Hot Surfaces

Mitigasi resiko yang dapat dilakukan adalah

1. Pemasangan *heat insulation* untuk area yang memiliki permukaan panas.
2. *Improvement* dengan penambahan atau penggantian lapisan tahan panas pada *Hot Surfaces* tersebut dengan material kalsium silika (material eksisting *glasswool*).

⁶ <https://www.nevcoengineers.com/product/flir-tg165-tg167-spot-thermal-cameras/> diakses 3 Juni jam 12.12 WIB

4.6.4 Self-Combustion di Coal Yard

Mitigasi resiko yang dapat dilakukan adalah :

1. Saat proses loading batu bara dari *jetty* ke *coal yard* di *belt conveyor* TT0 - TT2 dipasang *dust suppression system* dengan air yang dicampur dengan bahan kimia *surfactance*. Dalam hal ini sebagai contoh menggunakan Surfaktan CoalGuard 575 produk dari EON *Chemical Solution* yang merupakan produk berbasis polimer untuk treatment, yang bekerja dengan cara melapisi partikel-partikel untuk mereduksi terjadinya *self-combustion* akibat oksidasi pada kondisi cuaca ekstrim, disamping itu juga dapat mengikat partikel-partikel debu serta menambah beratnya sehingga substrat menjadi tidak mudah berdebu. (Anonim, 2014)

Dengan harga CoalGuard Rp. 36.000/liter dan untuk aplikasi penggunaan dicampurkan dengan air rasio 1:40. Dan untuk kebutuhan aplikasi perton membutuhkan 10-liter larutan CoalGuard. Sehingga jika dalam 1-ton dibutuhkan 250 mL CoalGuard senilai Rp. 9.000.

2. Penataan sesuai arah angin penataan *coal yard* dengan bentuk kerucut dengan metode *compacting*.
3. Penerapan manajemen penggunaan batu bara di area *coal yard* dengan metode *First In First Out* (FIFO).
4. Optimalisasi pemadaman manual melakukan penguraian batu bara menggunakan excavator kemudian dilakukan pemadatan. "Resirkulasi timbunan batu bara dengan mengambilnya dan memindahkannya melalui sistem reklamasi dan konveyor juga dapat digunakan sebagai metode untuk menghilangkan panas" menurut Anglocoal (2008) dalam (Sloss, 2015).
5. Pemadaman *Self-combustion* dengan *foam* menggunakan *piercing rod*.
6. Pemadaman menggunakan mobil PMK dengan menggunakan campuran air dan *foam*.
7. Memasang *water jet spray/fogging system* untuk pembasahan batu bara di *coal yard* untuk menjaga temperatur *coal yard* selalu stabil.
8. Monitoring rutin pengecekan temperatur batu bara *coal yard* menggunakan *thermal imaging camera*. (Newcastle coal, 2014) dalam (Sloss, 2015) menyatakan bahwa "pengamatan *coal yard* dilakukan saat :
 - a) 50° C melakukan pengamatan terjadwal (mingguan)

- b) 50-70° C pengamatan harian dan mengukur suhu setiap hari
- c) > 70° C menerapkan tindakan perbaikan."

4.6.5 Hot Work Tidak Berizin

Mitigasi resiko yang dapat dilakukan adalah:

1. Penyusunan SOP *hot work*.
2. Mewajibkan ketersediaan *fire watch* saat proses *hot work*.
3. Memastikan kondisi *Fire Protection system* standby/ terdapat prosedur *impairment* saat FPS tidak *standby*.
4. Implementasi manajemen *safety permit* berbasis CSMS Maximo.
5. *Job Safety Audit*, Patrol K3 secara berkala untuk menegakkan regulasi perusahaan terhadap budaya K3.
6. Sosialisasi pentingnya permit saat ada pekerjaan *hot work*, dan menindak tegas pelanggaran tersebut.
7. Pemeriksaan area *Hot work* setelah 4 jam selesai pelaksanaan pekerjaan.

4.6.6 Crusher Body lubang

Mitigasi resiko yang dapat dilakukan adalah:

1. Memperbaiki dengan menambal *body crusher* yang berlubang, dan tetap menjaga prosedur *hot work*.
2. Melakukan *redesign upgrade* material *body crusher*.
3. Memasang *filter*/kasa dengan material dari besi yang dapat menjaring material yang mempunyai ukuran lebih besar dari spesifikasi batu bara yang akan diproses oleh *crusher*.

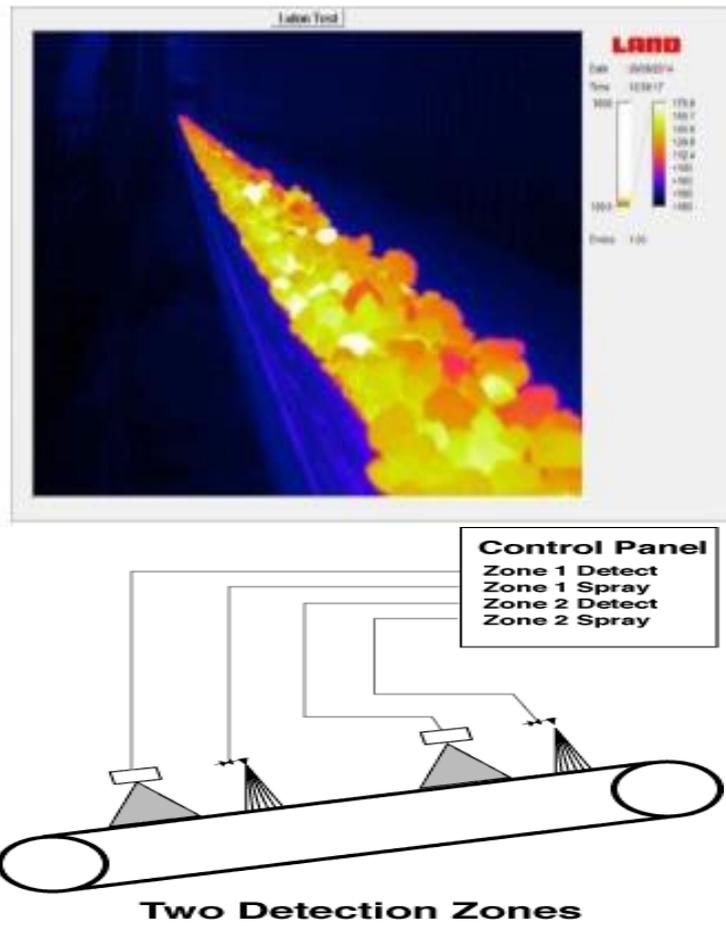
Berdasarkan aktifitas penelitian, metode penelitian dan hasil penelitian dari analisis risiko *self-combustion*/kebakaran yang telah dilakukan seperti uraian diatas, diharapkan dapat diterapkan di PT. PJB UBJOM PACITAN yang bersifat melengkapi prosedur yang sudah ada atau modifikasi serta investasi peralatan yang dapat meningkatkan keselamatan operasional serta bidang lain, seperti *maintenance* dan *engineering*. Beberapa hal yang direkomendasikan kepada manajemen PT. PJB UBJOM PACITAN untuk rencana penerapannya antara lain:

1. Memberikan kesempatan bagi peneliti untuk mempresentasikan dan menjelaskan hasil penelitian yang telah dilakukan kepada manajemen PT.

PJB UBJOM PACITAN.

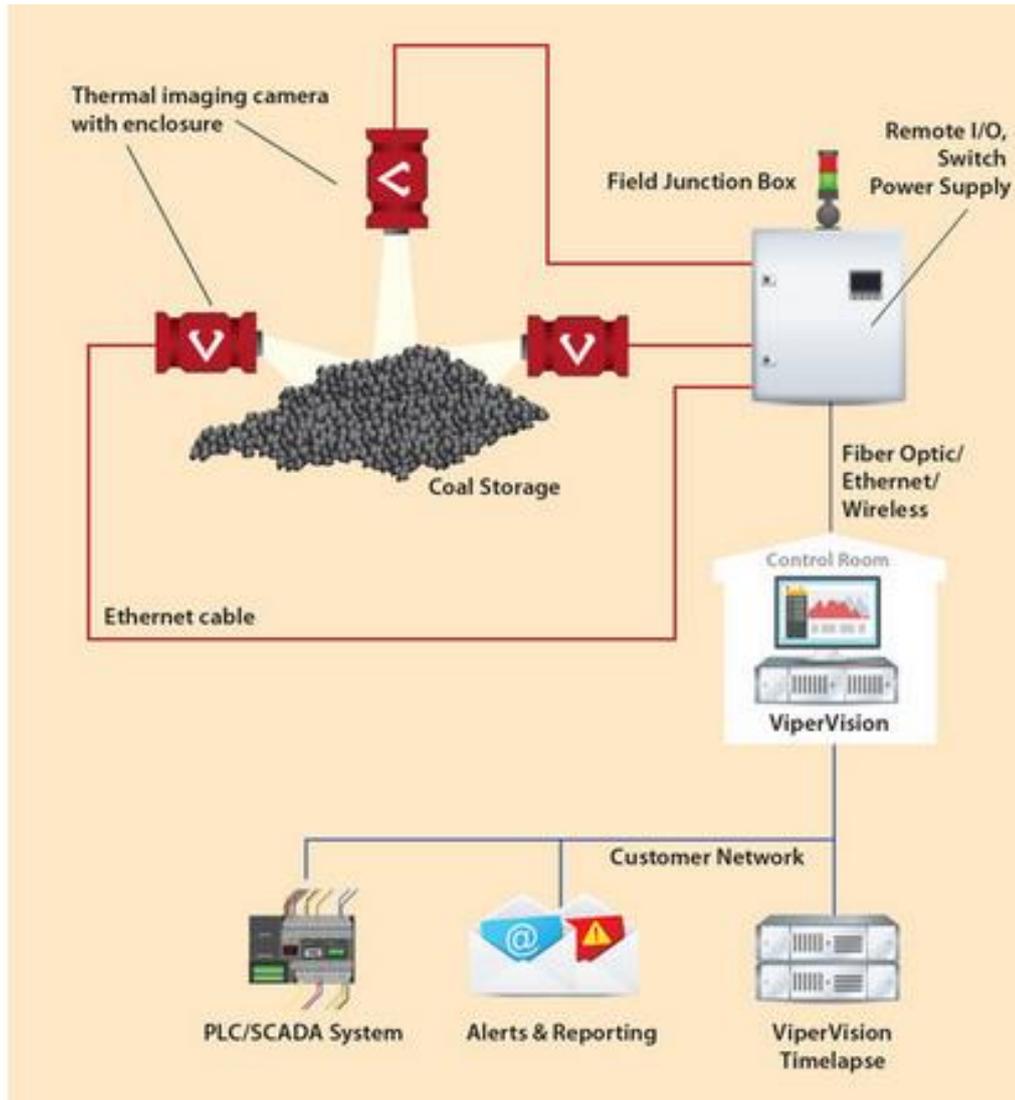
2. Pembentukan Tim reaksi cepat untuk melakukan pemadaman *self-combustion*/kebakaran, sosialisasi *internal*, dan perubahan atau pembuatan prosedur baru untuk penerapannya.
3. Menyusun program training oleh *expert* untuk tim reaksi cepat maupun perwakilan semua departemen yang terkait dalam penerapannya.
4. Mengusulkan anggaran untuk studi dan pelaksanaan rekomendasi teknis terkait modifikasi peralatan atau unit operasional guna menurunkan faktor risiko *self-combustion*/kebakaran, salah satunya adalah:
 - a. Penggunaan *surfactance* pada dari tambang yang akan dikirim ke PLTU Pacitan, agar tidak mudah teroksidasi dengan O₂ sehingga tidak mudah terjadi deformasi saat perjalanan.
 - b. Pemasangan *dust suppression system* dengan sistem pengkabutan di *conveyor system* saat proses loading dari *jetty* ke *coal yard/coal yard* ke bunker unit agar debu yang terangkut dapat terikat dengan baik dengan
 - c. Pemasangan *thermal imaging camera alarm detector system* diarea *coal yard* untuk mendeteksi secara dini *spot* yang berpotensi terjadi *self-combustion* dengan mendeteksi perubahan temperatur permukaan *coal yard* secara otomatis serta mengirimkan informasi secara on line ke *user*.
 - d. Pemasangan *thermal imaging camera detector and automatic Suppression system* untuk area *Conveyor System* di TT 0 - TT 2 dan BC 3 untuk mengamankan *Conveyor System* dengan mendeteksi *hot spot* yang diangkut melalui *belt conveyor* dan dapat langsung secara otomatis melakukan penyemprotan agar yang terjadi *self-combustion* padam.

Dari tahapan penelitian yang dilakukan, jenis instrumentasi tersebut sudah tersedia di pasaran seperti yang diproduksi dan dipasarkan oleh VIPER/FLIR, produsen instrumentasi dari Amerika. Yang mana alat ini dapat digunakan untuk pengamanan diarea *Conveyor System* dengan konfigurasi *thermal imaging detector dan Suppression control system* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.23 dan monitoring diarea *coal yard* dengan konfigurasi *thermal imaging detector* ditunjukkan seperti gambar 4.24.



Gambar 4. 22 Konfigurasi *Thermal Imaging Detector and Automatic Suppression System* untuk area *Conveyor System*
 Sumber dari internet'

⁷ <https://www.flir.eu/discover/instruments/early-fire-detection/thermal-imaging-cameras-prevent-fires-at-korean-coal-power-plant/>



Gambar 4. 23 Konfigurasi *Thermal Imaging Detector Alarm system area coal yard*

Sumber dari internet⁸

⁸ <https://www.viperimaging.com/hot-spot-detection-for-fire-prevention>

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kelima ini akan dibahas mengenai kesimpulan dari keseluruhan penelitian ini serta saran dari penulis.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis maka penulis mengambil kesimpulan yaitu berdasarkan metode FMEA dari 15 jenis *failure* peralatan yang teridentifikasi dalam operasional *coal handling facility* di PT PJB UBJOM PACITAN adalah:

1. Terdapat 6 jenis kegagalan yang harus mendapatkan perhatian lebih manajemen yaitu debu pada batu bara yang berpotensi menyebabkan *self-combustion*, *self-combustion* batu bara di tongkang, *hot surfaces*, *self-combustion* di *coal yard*, *hot work* yang tidak berizin dan *crusher body* berlubang, yang disebabkan beberapa faktor dan merupakan risiko terbesar penyebab terjadinya *self-combustion*/kebakaran.
2. Risiko yang paling dominan sebagai penyebab terjadinya *self-combustion* di area *coal handling facility* adalah debu batu bara dan untuk langkah manajemen mitigasi yang paling efektif dengan biaya yang sedikit adalah pemasangan *dust suppression* sistem dengan model pengkabutan pada sistem *belt conveyor* dapat dilakukan.

5.2 Saran

Setelah menyelesaikan melakukan pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan mengambil kesimpulan maka penulis dapat memberikan saran kepada perusahaan yang mungkin bisa dijadikan sebagai masukan untuk melakukan peningkatan level pengamanan dan mitigasi sebagai berikut:

1. Manajemen PT PJB UBJOM PACITAN dapat menerapkan metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu FMEA yang merupakan kombinasi dari penilaian risiko yang telah diterapkan (*Occurrence* dan *Severity*) dengan ditambahkan penilaian dari *Detection* yang merupakan penilaian terhadap sarana mitigasi yang sudah ada untuk digunakan dalam kegiatan *risk*

assessment.

2. Dalam operasional di area *coal handling facility* dapat terus ditingkatkan keandalannya dengan konsisten melakukan tindakan perbaikan penanganan pengendalian debu batu bara dengan mengoptimalkan penggunaan dust suppression system dengan sistem pengkabutan serta aplikasi penggunaan *surfactance*
3. Untuk mendeteksi secara dini potensi *self-combustion*/kebakaran batu bara di area *conveyor* dan *coal yard* dapat mulai melakukan studi dan diskusi dengan supplier *thermal imaging detector tipe camera* yang dapat bekerja memberikan alarm maupun dapat dikombinasikan dengan *hydrant system* yang sudah terpasang.
4. Memaksimalkan kegiatan patroli operator dengan penggunaan *thermal imaging spot* yang diharapkan dapat mengetahui secara dini terkait awal terjadinya *self-combustion* di area *coal handling facility* di PT PJB UBJOM PACITAN.
5. Sebagai langkah mitigasi jika terjadi kebakaran batu bara, perlu diberikan pelatihan bagi petugas K3/PMK PT. PJB UBJOM PACITAN untuk mengenali metode penanganan pemadaman batu bara *tipe low rank*. Karena kebakaran batu bara *low rank* dapat meluas jika dilakukan penyemprotan dengan *hydrant* secara langsung dan tanpa penggunaan foam.

Disamping saran untuk perusahaan, peneliti juga menyarankan untuk dapat dilakukan penelitian selanjutnya yaitu:

1. Penggunaan metode lain dalam kasus yang sama pada area operasional yang sama atau berbeda dalam operasional *coal handling facility* sebagai perbandingan dan mendapatkan metode yang lebih tepat.
2. Dalam pemilihan langkah-langkah pencegahan potensi risiko *self-combustion*/kebakaran di *coal handling facility* berdasarkan hasil analisis dan saran-saran diatas, penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dan terdapat kemungkinan untuk menerapkan metode *Failure Task Analysis (FTA)* dan *Risk Failure Mode Effect Analysis (RFMEA)* untuk membantu perusahaan dalam pemilihan langkah pencegahan dan mitigasi yang menjadi prioritas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aladin, A., & Mahfud. (2011). *Sumber Daya Alam Batubara*. Bandung: CV. Lubuk Agung.
- Andrawina, & Ernawati, R. (2019). Analisis Terjadinya Swabakar serta Penanganan Swabakar di Temporary Stockpile Pit 1 C TE-5900 HS Area Banko Barat di PT. Bukit Asam Tanjung Enim . *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII* , 489-494.
- Anonim. (2014). *Produk Informasi CoalGuard 575*. Jakarta: PT. EON Chemical solution.
- Bundhoo, J. (2012). *Analysis and application of maintenance strategies for Omnicane Thermal Energy Operations*. Stockholm: KTH Industrial Engineering and management.
- Carbone, T. A., & Tippett, D. D. (2014). Project Risk Management Using the Project Risk FMEA. *Engineering Management Journal Vol. 16 No. 4*, 28-35.
- Chrysler Corporation, General Motors Corporation. (2008). *Potential Failure mode and Effects Analysis Fourth Edition*. Southamton Hampshire: Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation.
- Constantinescu, G. C. (2017). A comparative critical study between FMEA and FTA risk analysis methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 252.
- Crowl, D. A., & Louvar, J. F. (2011). *Chemical Process Safety Fundamentals with Applications Third Edition*. Boston: Pearson Education, Inc.
- Dedy. (2018). Membentuk Iklim dan Budaya Keselamatan Melalui Kepemimpinan Keselamatan di Power Plant. *Konferensi Internasional tentang Teknologi Informasi, Teknik, Ilmu, dan Aplikasi* , 128-138.
- Du, Y. (2018). A Brief Talk on Coal Dust Suppression . *2nd International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science 170*, 032098.
- Eckhoff, R. K. (2003). *Dust Explosions in The Process Industries*. Burlington: Elsevier Science.
- Gupta, A. (2013). Failure analysis of belt in conveyor system for coal handling in thermal power plant. *S-JPSET : ISSN : 2229-7111,*, Vol. 3, Issue 2.

- Hanafi, M. M. (2014). *Manajemen Risiko*. Yogyakarta.: UPP STIM YKPN.
- Junkeon, A., Noh, Y., Park, S. H., Choi, B. I., & Chan, D. (2017). Fuzzy-based failure mode and effect analysis (FMEA) of a hybrid molten carbonate fuel cell (MCFC) and gas turbine system for marine propulsion. *Journal of Power Sources*, 226 - 233.
- Larson, E. W., & Gray, C. f. (2011). *Project Management The Managerial Process 5th Edition*. New York: Tim Vertovec.
- Mobley, R. K. (1999). *Root Cause Failure Analysis*. Woburn: Butterworth-Heinemann.
- Persson, H. (2013). *Silo Fires Fire Extinguishing and Preventive and Preparatory Measures*. Swedish: Swedish Civil Contingencies Agency (MSB).
- Rathod, R., Gidwani, D. G., & Solanky, P. (2017). Plant, Hazard Analysis and Risk Assessment In Thermal Power Plant. *International Journal of Engineering Science & Research Technology*, 177 - 185.
- Shrivastava, R., & Patel, P. (2014). Hazards Identification and Risk Assessment in Thermal Power Plant. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 463-466.
- Sloss, D. L. (2015). *Assessing and managing spontaneous combustion of coal*. London: IEA Clean Coal Centre.
- Smith, D. D. (2001). *Reliability, Maintainability and Risk*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Sony, M. M., Trismawati, & Suhandini, Y. (2018). Implementasi Hi-Pressure Fog Spray Dust Suppression System Di PLTU Paiton 9. *ISSN :2088-4591 Vol. 8 No. 1 Edisi Mei*, 39-43.
- Tekendra Sahu, A. K. (2017). Dmaic Method aplying in *Coal handling Plant To Reduce Cola Wastage*. *Journal of Scientific Research in Allied Sciences*, 256-272.
- Zuniawan, A., & Sriwana, I. K. (2019). Handling of Coal dust at *Coal handling Facility In coal Power Plant Using Soft System Methodology (SSM) Approach*. *Sinergi Vol. 23, No. 3*, 223-232.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Penentuan Rating Jenis *Failure coal handling Facility* (CHF) PLTU Pacitan

Identitas Responden:

Nama :

Jabatan :

Dengan hormat,

Saya Mohon bantuannya untuk dapat menambahkan daftar "Jenis *Failure* yang memiliki potensi menyebabkan *self-combustion* / kebakaran di area CHF PLTU Pacitan selain yang telah tersebut di pertanyaan *List Jenis Failure* di bawah ini, menurut pengetahuan serta pengalaman Bapak/Saudara ?

13 Jenis *Failure* yang telah tersebut di bawah ini adalah hasil wawancara dengan karyawan PLTU Pacitan yang bekerja di area *coal handling Facility*.

Kuesioner ini bertujuan untuk mengetahui "Jenis *Failure*" di area CHF PLTU Pacitan yang memiliki potensi dapat menyebabkan *self-combustion*/kebakaran.

Sehubungan dengan hal ini, saya mohon kesediaan Bapak/Saudara untuk mengisi kuesioner ini sesuai dengan pengalaman serta pengetahuan yang dimiliki. Atas partisipasinya saya ucapkan terima kasih.

Jenis *Failure* :

1. banyak yang berdebu
2. *Self-combustion* di Tongkang
3. *Self-combustion* di *coal yard*
4. *Conveyor Jogging*
5. Slip/kerusakan pada *Pulley*
6. *Mechanical Spark*
7. *Crusher body* berlubang
8. *Dust Suppression System* rusak
9. *Dust Collector System* rusak
10. *Hot work* tidak berizin
11. *Hot Surfaces*
12. *Housekeeping*
13. *Self-combustion* di Bunker
14.
15.
16.

Lampiran 2. Kuesioner Pembobotan Indikator FMEA

KUESIONER

Identitas Responden:

Nama :

Jabatan :

Dengan Hormat saya meminta Bapak untuk memberikan penilaian Analisa Risiko Jenis *Failure* yang Berpotensi Menyebabkan *Self-combustion* / Kebakaran diarea *coal handling Facility* di PLTU Pacitan. Kuesioner berikut merupakan kuesioner metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) untuk menentukan nilai bobot risiko yang telah teridentifikasi dari pengelolaan data penelitian. Kuesioner ini adalah media yang digunakan oleh peneliti kepada pihak ahli atau *expert* dalam hal penilaian risiko yang dominan pada area *coal handling facility* PLTU Pacitan.

Semoga hasil penelitian tugas akhir ini dapat membantu memberikan masukan dalam pengelolaan risiko dalam pencegahan *Self-combustion* / Kebakaran diarea *coal handling Facility* di PLTU Pacitan. Data yang diperoleh murni digunakan untuk kepentingan pendidikan dan penelitian. Atas partisipasinya saya ucapkan terima kasih.

Petunjuk Pengisian:

Beri tanda Bundar untuk pengisian yang paling sesuai menurut anda, berdasarkan kategori proses dan risiko – risiko serta skala perbandingan yang telah diberikan untuk setiap aspek risiko.

Tabel 0.1 Severity Index

Rating	Descriptor	Health And safety	Keselamatan Aset	Environment	Reputasi	Supply Tenaga Listrik
1	Tidak Signifikan	Tdk ada korban jiwa.	Kerusakan aset dapat diperbaiki dengan FLM dan PM.	Tidak ada teguran dari KLH.	Dampak tidak berarti, tidak menimbulkan gangguan operasional permanen.	Down time sampai dengan 3 jam.
2	Minor	Korban luka ringan (rawat jalan)	Kerusakan aset ringan	Teguran dari KLH.	Dampak minimum berupa komplain atau ketidakpuasan, tidak mengganggu operasional bisnis.	Down time: 3 jam sampai dengan 12 jam.
3	Medium	Korban luka sedang (rawat inap)	Kerusakan aset sedang	Peringatan keras dari KLH.	Komplain, ketidakpuasan, demonstrasi dan sorotan media memicu tanggapan stakeholder, operasional bisnis terganggu.	Down time: 12 jam sampai dengan 1 hari.
4	Signifikan	Korban luka berat/ cacat permanen	Aset rusak berat, perlu perbaikan.	Denda/ pembatasan operasional dari KLH	Sorotan media yang luas didaerah, memicu tanggapan pemerintah, operasional bisnis terhenti beberapa saat, diperlukan penanganan segera.	Down time: 1 hari sampai dengan 1 minggu.
5	Malapetaka	Korban jiwa.	digunakan lagi. Aset rusak berat, tidak dapat	Penutupan lokasi, atau pemindahan oleh KLH.	Sorotan secara nasional, dibutuhkan kebijakan khusus pemerintah, ancaman terhadap bisnis jangka panjang.	Down time > 1 minggu.

Tabel 0.2 Occurrence Rate

Rating	Descriptor	Deskription
1	Sangat Kecil	Hampir dipastikan tidak akan terjadi
2	Kecil	Kemungkinan kecil akan terjadi
3	Sedang	kemungkinan sama antara akan terjadi dan tidak terjadi
4	Besar	Kemungkinan Besar akan terjadi
5	Sangat Besar	Hampir dapat dipastikan akan terjadi

Tabel 0.3 Detection Index

Rating	Kriteria	Keterangan
1	<i>Very High</i>	Gangguan akan menyebabkan alarm atau memicu shutdown
2	<i>High</i>	Gangguan dapat dideteksi sesuai dengan penyimpangan
3	<i>Low</i>	Gangguan tidak terdeteksi oleh sensor
4	<i>Remote</i>	Gangguan tidak terdeteksi secara fisik
5	<i>Never</i>	Gangguan tidak dapat dideteksi dengan metode apa pun

PERHITUNGAN FMEA " JENIS FAILURE CHF PLTU"

1	banyak yang berdebu	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
2	<i>Self-combustion</i> di Tongkang	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
3	<i>Self-combustion</i> di coal yard	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
4	<i>Conveyor Jogging</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
5	Slip/kerusakan pada <i>Pulley</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
6	<i>Mechanical Spark</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5

		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
7	<i>Crusher</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
8	<i>Dust Suppression System</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
9	<i>Dust Collector System</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
10	<i>Welding and Cutting</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
11	<i>Hot Surfaces</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5

		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
12	<i>Housekeeping</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
13	<i>Self-combustion di Bunker</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
14	<i>Design Transfer Chute</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5
15	<i>Fire Protection system</i>	Severity / Dampak				
		1	2	3	4	5
		Occurrence / Kemungkinan kegagalan				
		1	2	3	4	5
		Detection / Pengawasan				
		1	2	3	4	5

Lampiran 3. Formulir Wawancara Penanganan Mitigasi Risiko

Petunjuk Pengisian Formulir Wawancara :

Mohon bantuannya Bapak/Saudara untuk dapat sharing pengetahuan/ pengalamannya di dalam melakukan Mitigasi pengendalian/ penanganan Resiko sesuai dengan "Jenis *Failure*" yang tersebut di bawah ini :

1. 1.a banyak yang berdebu (Dari asal Tambang sampai di *Jetty* PLTU)
Mitigasinya :

- 1.b banyak yang berdebu (Diarea *coal yard*)
Mitigasinya :

2. *Self-combustion* di Tongkang
Mitigasinya :

3. *Housekeeping* tidak bersih
Mitigasinya :

4. *Self-combustion* di *coal yard*
Mitigasinya :

5. *Dust Collector System* rusak
Mitigasinya :

6. *Fire Protection system* tidak *standby*
Mitigasinya :

7. *Dust Suppression System* rusak
Mitigasinya :

8. *Hot Surfaces*
Mitigasinya :

9. *Mechanical Spark*
Mitigasinya :

10. *Hot work* tidak berizin
Mitigasinya :

11. Slip/kerusakan pada *Pulley*
Mitigasinya :

12. *Self-combustion* di Bunker
Mitigasinya :

13. Desain *Transfer Chute*

Mitigasinya :

14. *Conveyor Jogging*

Mitigasinya :

15. *Crusher body* berlubang

Mitigasinya :

Lampiran 4. Daftar *Root Cause Failure Analysis* Coal handling Facility

<i>Sub-system & Function</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Effect of Failure</i>	<i>Cause of Failure</i>
<p><i>Vibrating table</i> <i>[Drive out coal to a conveyor]</i></p>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>
			<i>Fuse fails</i>
			<i>Contactor fails</i>
			<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>
	<i>Misalignment due to coupling</i>		
	<i>Limit switch failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Sensor actuation fails</i>
	<i>Spring failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Failure of spring due to excessive stress</i>
<p><i>Screener</i> <i>[separate the coal depend on their sizes]</i></p>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>
			<i>Fuse fails</i>
			<i>Contactor fails</i>
			<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>
<p><i>Vibrating table</i> <i>[Drive out coal to a conveyor]</i></p>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>
			<i>Fuse fails</i>
			<i>Contactor fails</i>
			<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>
	<i>Misalignment due to coupling</i>		
	<i>Limit switch failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Sensor actuation fails</i>
	<i>Spring failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Failure of spring due to excessive stress</i>
<p><i>Screener</i> <i>[separate the coal depend on their sizes]</i></p>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>
			<i>Fuse fails</i>
			<i>Contactor fails</i>
			<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>

<i>Sub-system & Function</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Effect of Failure</i>	<i>Cause of Failure</i>
<i>Screener</i> <i>[separate the coal depending on their sizes]</i>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Misalignment due to coupling</i>
	<i>Bearing failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Overloading</i>
			<i>Lubrication failure</i>
	<i>Shock absorber fails</i>	<i>Low operation</i>	<i>Component fails due to excessive stress</i>
	<i>Bolt failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Bolts broken</i>
			<i>Loosening of bolts due to excessive vibration</i>
<i>Screen failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Misalignment</i>	
<i>Conveyor</i> <i>[Transportation of coal]</i> <i>Conveyor</i>	<i>Sensor failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Jam sensor fails</i>
			<i>Rotational sensor</i>
	<i>Bearing failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Overloading</i>
			<i>Lubrication failure</i>
	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>
			<i>Fuse fails</i>
			<i>Contactors fails</i>
			<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>
			<i>Misalignment due to coupling failure</i>
	<i>Roller failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Component fails due to friction and wearing</i>
		<i>Fires</i>	<i>The roller is stuck so that it burns the conveyor belt</i>
	<i>Conveyor belt failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Misalignment of belt</i>
			<i>Tearing</i>
		<i>Fires</i>	<i>Jogging conveyor belts result in coal spills</i>
<i>Gear box failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Seals fail</i>	
		<i>Wearing of gear</i>	
	<i>Fires</i>	<i>Oil spills on hot surfaces</i>	

<i>Sub-system & Function</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Effect of Failure</i>	<i>Cause of Failure</i>	
<i>Conveyor</i> <i>[Transportation of coal]</i>	<i>Gear box failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Lubrication failure</i>	
			<i>Bearing failure</i>	
	<i>Bearing failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Kebakaran</i>	<i>Tumpahan oli yang mengenai permukaan panas</i>
			<i>Fires</i>	<i>Overloading</i>
				<i>Lubrication failure</i>
<i>Crusher</i> <i>[Reduce the coal in size between 0-50 mm]</i>	<i>Belt drive failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Fatigue failure</i>	
			<i>Cracking</i>	
	<i>Gear box failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Seals fail</i>	
			<i>Wearing of gear</i>	
			<i>Gear clogged</i>	
			<i>Lubrication failure</i>	
	<i>Crusher teeth failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>	
			<i>Component fails due to wearing</i>	
<i>Hollow Body</i>	<i>Flying dust</i>	<i>Coupling problem</i>		
		<i>Friction between coal and body</i>		
<i>Crusher</i> <i>[Reduce the coal in size between 0-50 mm]</i>	<i>Bearing failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Overloading</i>	
			<i>Lubrication failure</i>	
	<i>Sensor failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Component defective</i>	
	<i>Crusher clogged</i>	<i>Low operation</i>	<i>Component fails due to big unwanted particles</i>	
	<i>Bearing failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Overloading</i>	
			<i>Lubrication failure</i>	
	<i>Gear box failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Seals fail</i>	
			<i>Wearing of gear</i>	
			<i>Gear clogged</i>	
			<i>Lubrication failure</i>	
<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>		
		<i>Fuse fails</i>		

<i>Sub-system & Function</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Effect of Failure</i>	<i>Cause of Failure</i>
<i>Silo</i> <i>[Storage of coal]</i>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Contactor fails</i>
			<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>
			<i>Misalignment due to coupling</i>
	<i>Extracting screw failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Wearing problem</i>
			<i>Coupling problem due to misalignment</i>
			<i>Fatigue</i>
<i>Bearing failure</i>			
<i>Sensor failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Component defective</i>	
<i>Self-Combustion</i>	<i>Fires</i>	<i>Coal storage time is more than 7 days</i>	
<i>Shuttle</i> <i>[Transportation of coal to the boiler]</i>	<i>Conveyor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Sensor failure</i>
			<i>Belt failure</i>
			<i>Bearing failure</i>
	<i>Conveyor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Roller failure</i>
			<i>Gear box failure</i>
			<i>Drive motor failure</i>
	<i>Gear box failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Seals fail</i>
			<i>Wearing of gear</i>
			<i>Gear clogged</i>
			<i>Lubrification failure</i>
	<i>Bearing failure</i>		
<i>Roller failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Wearing of component</i>	
<i>Sensor failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Defective component</i>	
<i>Shuttle</i> <i>[Transportation of coal to the boiler]</i>	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Bearing failure</i>
			<i>Fuse fails</i>
			<i>Contactor fails</i>
	<i>Drive motor failure</i>	<i>Shutdown</i>	<i>Relay fails</i>
			<i>Winding fails</i>
			<i>Misalignment due to coupling</i>
	<i>Belt failure</i>	<i>Low operation</i>	<i>Fatigue</i>
<i>Misalignment</i>			

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Muchamad Jati Nugroho merupakan anak ketiga dari lima bersaudara yang lahir pada 3 Juni 1979. Masa kecil hingga remaja penulis habiskan di kota Pahlawan Surabaya. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari SDN Dr. Soetomo VI Surabaya, SMP Negeri 12 Surabaya, SMA Negeri 6 Surabaya jurusan IPA, S1 Teknik Elektronika Universitas 17 Agustus Surabaya Angkatan Tahun 1998 dan terakhir saat ini adalah Magister Manajemen Teknologi ITS dengan bidang keahlian Manajemen Industri Kelas Eksekutif Angkatan tahun 2018. Selama menjalani studi S2 di MMT ITS penulis bekerja Di PT. Pembangunan Jawa Bali Kantor Pusat di bidang Keselamatan

dan Kesehatan Kerja (K3). Saat ini penulis sedang melakukan penelitian tesis yang berjudul Manajemen Mitigasi Kebakaran Pada PLTU Dengan Menggunakan Metode FMEA Studi Kasus PT. Pembangunan Jawa Bali UBJOM Pacitan. Penulis pada periode tahun 2015 – 2018 pernah bekerja di PLTU Pacitan sebagai Supervisor K3. Sehingga penulis memahami terkait dengan risiko yang terdapat di PLTU dan pencegahannya. Penulis juga aktif membuat karya inovasi terkait pengendalian dan penanganan batubara yang telah mendapatkan juara Karya Inovasi PT. PJB tahun 2017 dengan produk inovasi “Multi Pacitan Foaming” yang digunakan untuk pemadaman batubara serta juara Karya Inovasi PT. PJB tahun 2020 dengan produk inovasi “I-diagnostic” yang dapat membuat camera CCTV dapat mendeteksi pelanggaran alat pelindung diri (APD), asap serta api kemudian mengirimkan notifikasi langsung ke user berupa gambar dan informasi pelanggaran melalui media aplikasi Telegram. Untuk detail produk I-diagnostic dapat diakses melalui <http://bit.ly/i-diagnostic>

Penelitian yang dilakukan penulis diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada perusahaan tercinta untuk mengembangkan keselamatan dan kehandalan operasional unit pembangkitan listrik sehingga dapat meningkatkan produktifitas dan pendapatan bagi PT. Pembangunan Jawa Bali. Penulis dapat dihubungi melalui email much.jati@ptpjb.com atau 6.jatti@gmail.com. Terima kasih