



TESIS - BM185407

ANALISA RISIKO PADA PROSES START TURBIN GAS DI UNIT PLTGU PT. X MENGGUNAKAN METODE FMECA

MUHAMMAD SYAIFUDDIN ZUHDI
09211550013020

Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc.(Eng)

Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Bisnis Dan Manajemen Teknologi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2019

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD SYAIFUDDIN ZUHDI

NRP: 09211550013020

Tanggal Ujian: 9 Juli 2019

Periode Wisuda: September 2019

Disetujui oleh:

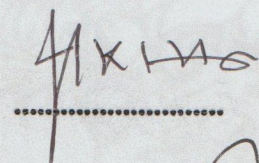
Pembimbing:

1. **Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc.(Eng)**
NIP: 196506301990031002

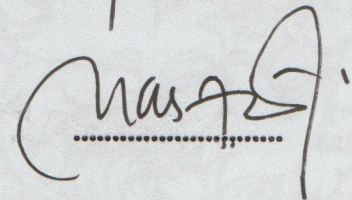


Penguji:

1. **Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D**
NIP: 197005231996011001



2. **Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D**
NIP: 197504081998022001



Kepala Departemen Manajemen Teknologi

Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi



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

NIP: 196912311994121076

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA RISIKO PADA PROSES START TURBIN GAS DI UNIT PLTGU PT. X MENGGUNAKAN METODE FMECA

Nama Mahasiswa : Muhammad Syaifuddin Zuhdi
NRP : 09211550013020
Pembimbing : Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc.(Eng)

ABSTRAK

Pembangkit *peaker* adalah pembangkit yang dioperasikan saat jaringan pada beban puncak. Menjadi pembangkit *peaker* berdampak pada seringnya start-stop dalam pola operasinya. Sehingga kesiapan unit pembangkit untuk bisa diminta start/operasi sewaktu-waktu menjadi tuntutan utama pembangkit *peaker*. Namun dalam kenyataannya, kegagalan start masih saja terjadi pada unit pembangkit. Kegagalan start disebabkan oleh kerusakan atau kondisi yang abnormal dari tiga komponen utama yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin maupun pendukungnya. Gagal start menyebabkan banyak sekali kerugian bagi perusahaan antara lain kehilangan potensi pendapatan produksi yang sangat besar, kerugian pemakaian bahan bakar, pemakaian listrik untuk peralatan pendukung, material unit pembangkit, tidak tercapainya KPI perusahaan, penurunan tingkat kepuasan pelanggan dan masih banyak lagi. Untuk itu gagal start harus diminimalisir bahkan dihilangkan. Selama ini penanganan gagal start masih bersifat *corrective maintenance*. *Corrective maintenance* merupakan tindakan pemeliharaan yang tidak terjadwal, tidak dapat diprediksi, direncanakan atau diprogram berdasarkan kejadian pada waktu tertentu sehingga memberikan potensi kehilangan pendapatan kepada perusahaan lebih besar. Salah satu upaya untuk mengurangi kegiatan *corrective maintenance* adalah melakukan *preventive maintenance*. Namun untuk melakukan *preventive maintenance* perlu dilakukan kajian dan analisa mendalam agar *preventive maintenance* yang dilakukan efektif dan tepat sasaran. Untuk itu dilakukan analisa risiko gagal start dengan menggunakan metode *Failure Mode Effects and Criticality Analysis* (FMECA). Hasil dari penelitian ini didapatkan empat moda kegagalan kritis yaitu tekanan *torque converter* rendah, abnormal pada *valve* bahan bakar, tidak terjadi pembakaran dan abnormal pada igniter beserta mitigasi risikonya.

Kata Kunci : Gagal Start, Turbin Gas, *Failure Mode Effects and Criticality Analysis* (FMECA), *Preventive Maintenance*

Halaman ini sengaja dikosongkan

RISK ANALYSIS OF GAS TURBINE START PROCESS IN PLTGU UNIT PT. X USING FMECA METHOD

Student Name : Muhammad Syaifuddin Zuhdi
Student ID : 09211550013020
Supervisor : Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc.(Eng)

ABSTRACT

The peaker power plant is a power plant that is operated when the network is at peak load. Being a peaker power plant has an impact on the frequent stop-start in the operations. So that the readiness of the power plant to be asked to start / operate at any time is the main demand of the peaker power plant. But in reality, start failure still occurs in the power plant. Start failure is caused by damage or abnormal conditions of the three main components: the compressor, combustor and turbine with its parts. Start failure causes a lot of losses for the company like very much loss of potential production revenue, loss of fuel consumption, electricity usage for supporting equipment, materials of gas turbine, failure to achieve KPI's company, decrease in customer satisfaction and much more. So, it must be minimized or eliminated. Until now, maintenance for start failure still corrective maintenance. Corrective maintenance is an unscheduled, unpredictable, unplanned or unprogrammed maintenance action based on an event at a certain time so the potential loss of company's income large. One effort to reduce corrective maintenance activities with preventive maintenance. However, to do preventive maintenance, it is necessary to conduct in-depth studies and analysis so that preventive maintenance is carried out effectively and on target. For this reason a risk analysis of the start failure with Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA) method need to do. The results is there are four of critical failure modes, torque converter's pressure low, abnormal in fuel valve, combustion not happen, igniter's abnormal and their risk mitigation.

Keywords : Start Failure, Gas Turbine, Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA), Preventive Maintenance

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat terselesaikan proposal tesis dengan judul **“ANALISA RISIKO PADA PROSES START TURBIN GAS DI UNIT PLTGU PT.X MENGGUNAKAN METODE FMECA”** sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Manajemen Teknik. Peneliti menyadari bahwa penulisan proposal tesis ini dapat terselesaikan atas bantuan berbagai pihak. Untuk itu peneliti ingin memberikan ucapan terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Pujawan., M.Eng., Ph.D., CSCP selaku Kepala Departemen Magister Manajemen Teknologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Bapak Dr. Techn. Ir. R.V. Hari Ginardi, M.Sc selaku Kepala Program Studi Manajemen Industri Magister Manajemen Teknologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Bapak Dr. Ir. Mokh Suef, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan proposal tesis.
4. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E.,Ph.D dan Ibu Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji.
5. Kedua orang tua H. Moh. Tholib dan Hj. Yuliati Ningsih serta H. Slamet Heriyadi dan Hj. Pontjorini Setyowati yang selalu mendoakan penulis
6. Istri tercinta Awliyana Rislaputri yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa kepada penulis
7. Seluruh Dosen dan Karyawan Magister Manajemen Teknologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang berperan aktif dalam proses belajar mengajar dan segala administrasi selama berkuliah.
8. Teman-teman MMT-ITS kelas Manajemen Industri dan anggota Shift B Anak Muda PLTGU Gresik.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah mendukung dalam pembuatan tesis ini hingga selesai.

Demikian kata pengantar ini disampaikan. Semoga hasil penelitian tesis ini memberikan manfaat yang besar baik dalam rangka memperkaya *khazanah* keilmuan di bidang manajemen industri secara teoritis, maupun manfaat praktis bagi pembaca. Tulisan ini juga tidak luput dari kekurangan sehingga sangat diharapkan kritik dan saran dari pembaca khususnya agar tulisan ini dapat menjadi lebih baik.

Surabaya, 21 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Batasan dan Asumsi	8
1.5 Manfaat Penelitian	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Turbin Gas.....	11
2.2 Proses Start Turbin Gas.....	23
2.3 Risiko	26
2.4 Pemeliharaan	27
2.4.1 <i>Corrective Maintenance</i>	29
2.4.2 <i>Preventive Maintenance</i>	31
2.5 <i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i>	33
2.6 Prosedur FMEA	36
2.7 <i>Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)</i>	39
2.8 Penelitian Terdahulu	43
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	49
3.1 Identifikasi Sumber Data	49
3.1.1 Identifikasi Sumber Gagal Start.....	49

3.1.2 Identifikasi Kegagalan Proses Start	49
3.2 Pengumpulan Data.....	51
3.3 Analisa Data	58
3.4 Penarikan Kesimpulan dan Saran	58
BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN	61
4.1 Identifikasi Risiko	61
4.2 Perhitungan Nilai RPN	64
4.3 Analisis <i>Risk Matrix</i>	70
4.4 Analisa Risiko Menggunakan <i>Fishbone diagram</i>	71
4.5 Pembahasan	75
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1 Kesimpulan	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Frekuensi start turbin gas PLTGU PT. X.....	2
Gambar 1.2	Frekuensi kegagalan start tubin gas PLTGU PT.X.....	2
Gambar 1.3	Prosentase gagal start turbin gas.....	3
Gambar 2.1	Rotor kompresor.....	12
Gambar 2.2	Stator kompresor.....	13
Gambar 2.3	Skema aliran fluida panas pada turbin.....	15
Gambar 2.4	Turbin gas dengan <i>combustor</i> mode <i>can-annular</i>	17
Gambar 2.5	Turbin gas dengan <i>combustor</i> mode <i>annular</i>	18
Gambar 2.6	Turbin gas dengan <i>combustor</i> mode silo.....	19
Gambar 2.7	Siklus Bryton pada Turbin Gas.....	20
Gambar 2.8	Urutan start-stop turbin gas.....	23
Gambar 2.9	Tombol start turbin gas.....	24
Gambar 2.10	Kategori-kategori <i>Corrective Maintenance</i>	30
Gambar 2.11	Kategori-kategori <i>Preventive Maintenance</i>	32
Gambar 2.12	Prosedur FMECA.....	40
Gambar 2.13	Perbedaan FMEA dengan FMECA.....	42
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	50
Gambar 4.1	Hasil <i>risk matrix</i>	71
Gambar 4.2	<i>Fishbone diagram</i> tekanan <i>torque converter</i> rendah.....	72
Gambar 4.3	<i>Fishbone diagram</i> abnormal pada valve bahan bakar.....	73
Gambar 4.4	<i>Fishbone diagram</i> tidak terjadi pembakaran.....	74
Gambar 4.5	<i>Fishbone diagram</i> abnormal pada igniter.....	74
Gambar 4.6	<i>Torque Converter</i>	78
Gambar 4.7	<i>Valve</i> bahan bakar turbin gas.....	80
Gambar 4.8	Bagian-bagian servo valve.....	81
Gambar 4.9	P&ID Sistem minyak kontrol.....	83
Gambar 4.10	Sistem <i>Igniter</i>	87
Gambar 4.11	Bagan kegagalan <i>igniter</i>	89

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Prosentase gagal start turbin gas.....	3
Tabel 1.2	Lama <i>downtime</i> perbaikan gagal start tahun 2017 dan tahun 2018.....	4
Tabel 1.3	Realisasi KPI unit PLTGU PT. X tahun 2013-2017.....	5
Tabel 2.1	Perbandingan total biaya investasi pembangkit di Indonesia...	20
Tabel 2.2	Peralatan yang Bekerja Saat Proses Start Sesuai dengan Kecepatan (dalam rpm).....	25
Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu.....	45
Tabel 3.1	Kategori penilaian <i>severity</i>	52
Tabel 3.2	Kategori <i>severity</i>	53
Tabel 3.3	Kategori penilaian <i>occurrence</i>	54
Tabel 3.4	Kategori <i>occurrence</i>	55
Tabel 3.5	Kategori penilaian <i>detection</i>	56
Tabel 3.6	Kategori <i>detection</i>	57
Tabel 4.1	Moda kegagalan pada proses start turbin gas.....	61
Tabel 4.2	Profil Responden.....	65
Tabel 4.3	Perhitungan nilai RPN.....	66
Tabel 4.4	Rangking moda kegagalan dengan 6 nilai RPN tertinggi.....	76
Tabel 4.5	Data kerusakan pada <i>torque converter</i>	80
Tabel 4.6	Data gangguan pada <i>control valve</i> bahan bakar.....	84
Tabel 4.7	Data gangguan gagal pembakaran.....	86
Tabel 4.8	Data kerusakan pada igniter.....	88

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Start Failure tahun 2017	97
Lampiran 2. Data Start Failure tahun 2018.....	100
Lampiran 3. Hasil penilaian <i>severity</i>	104
Lampiran 4. Hasil penilaian <i>occurrence</i>	109
Lampiran 5. Hasil penilaian <i>detection</i>	114
Lampiran 6. Quisioner	119

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

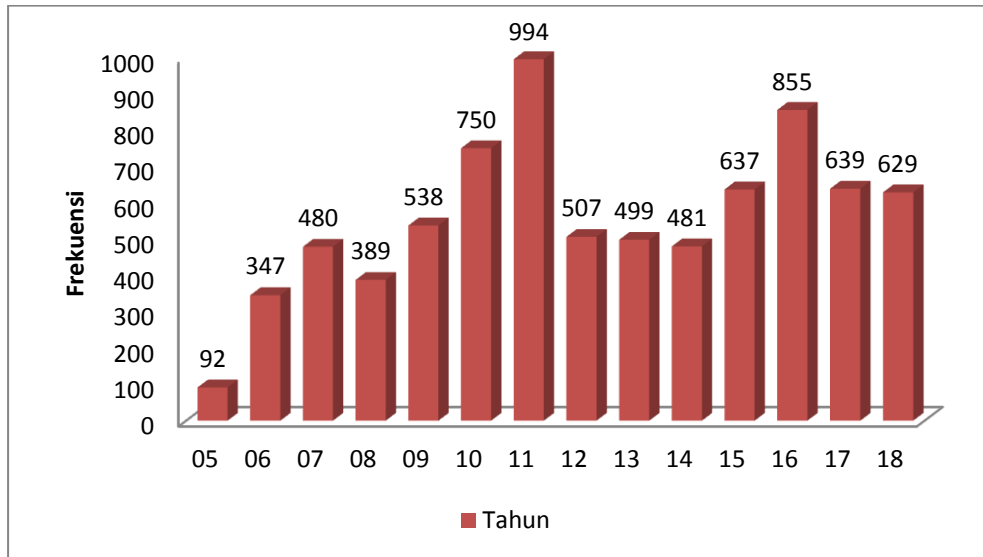
1.1 Latar Belakang

Indonesia saat ini sedang giat-giatnya membangun pembangkit-pembangkit baru untuk mencapai rasio elektrifikasi nasional sebesar 99%. Berdasarkan RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) PT. PLN 2018 – 2027 proyeksi rata-rata pertumbuhan kebutuhan listrik di Indonesia sebesar 6,86% sehingga membutuhkan tambahan pembangkit sebesar 56.024 MW. Menurut Afriyadi (2019) dari *finance.detik.com* hingga akhir desember 2018, pembangkit yang sudah beroperasi atau *Commercial Operation Date* (COD) baru 2.899 MW atau 8% nya saja. Sehingga pembangkit-pembangkit yang sudah beroperasi dulu tetap dibutuhkan eksistensinya untuk menjaga ketersediaan tenaga listrik di Indonesia.

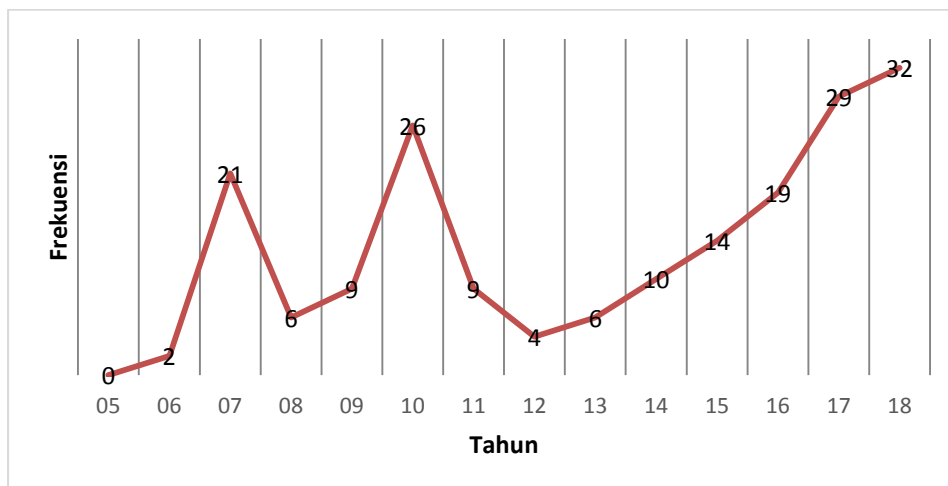
PT. X merupakan perusahaan swasta yang bergerak dalam bidang pengoperasian dan pengelolaan unit pembangkit di Indonesia. Di Plant Gresik, PT. X memiliki unit pembangkit PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap) yang sudah beroperasi sejak tahun 1993. Pada awal beroperasi unit PLTGU ini sebagai pembangkit *baseload*, namun seiring dengan pertumbuhan pembangkit-pembangkit baru yang lebih efisien, PLTGU saat ini beroperasi sebagai pembangkit *peaker* yaitu pembangkit yang dioperasikan saat jaringan pada beban puncak. Menjadi pembangkit *peaker* berdampak pada pola operasi unit itu sendiri yaitu unit mengalami start-stop yang lebih sering daripada sebagai pembangkit *baseload*. Sehingga kesiapan unit pembangkit untuk bisa diminta start/operasi sewaktu-waktu menjadi tuntutan utama pembangkit *peaker*. Frekuensi start unit turbin gas PLTGU tahun 2005 – 2018 dapat dilihat pada gambar 1.1.

Dalam perspektif produktifitas untuk unit pembangkit, terdapat lima macam *key performance indicator* (KPI) yang menjadi tolok ukur penilaian pelanggan terhadap pembangkit tersebut (Taufik, A. 2014). Lima nilai tersebut adalah *Capacity Factor* (CF), *Scheduled Outage Factor* (SOF), *Equivalent Force Outage Rate* (EFOR), *Equivalent Availability Factor* (EAF) dan *Planning*

Operation Factor (POF). Apabila unit pembangkit tidak siap, maka akan menurunkan EAF dan menaikkan EFOR. Sehingga berdampak pada penurunan KPI unit pembangkit.



Gambar 1.1. Frekuensi start turbin gas PLTGU PT.X



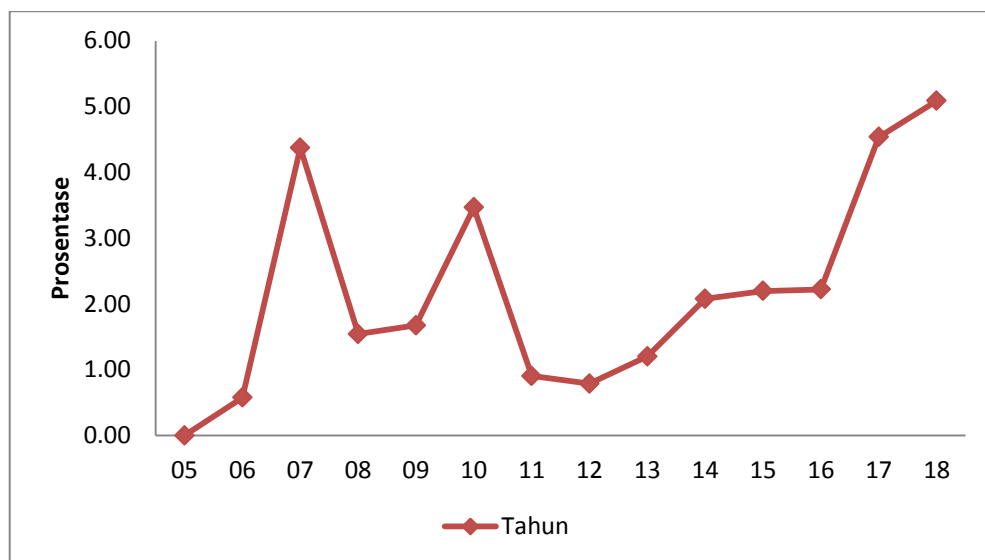
Gambar 1.2. Frekuensi kegagalan start turbin gas PLTGU PT.X

PT. X memiliki 3 blok PLTGU dengan konfigurasi masing-masing 3-3-1 (3 turbin gas – 3 HRSG – 1 turbin uap) sehingga PT. X memiliki total turbin gas sebanyak 9. Turbin gas memiliki tiga komponen utama yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin. Kompresor berfungsi untuk menyediakan udara untuk

pembakaran, ruang bakar yang berfungsi untuk pembakaran dan turbin yang berfungsi untuk memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik. Kerusakan atau kondisi yang abnormal dari tiga komponen utama maupun pendukungnya dapat menyebabkan unit mengalami kegagalan start.

Tabel 1.1 Prosentase gagal start turbin gas

Tahun	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
%	0.00	0.58	4.38	1.54	1.67	3.47	0.91
Tahun	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
%	0.79	1.20	2.08	2.20	2.22	4.54	5.09



Gambar 1.3 Prosentase gagal start turbin gas

Gagal start sering terjadi pada turbin gas seperti yang terlihat pada gambar 1.2. Bahkan di tahun 2018, terjadi gagal start sebanyak 32 kali kejadian. Dilakukan penilaian prosentase gagal start dengan membagi jumlah gagal start dengan jumlah start pada masing-masing tahun seperti pada tabel 1.1. Hasilnya tren kenaikan gagal start diikuti oleh kenaikan prosentase gagal start seperti pada gambar 1.3. Dalam tabel 1.2 dapat dilihat jumlah gagal start berdasarkan penyebabnya selama dua tahun terakhir. Penyebab internal gagal start karena kerusakan atau kelainan peralatan dari unit pembangkit sendiri. Sedangkan

penyebab eksternal gagal start karena gangguan dari sistem diluar pembangkit itu sendiri seperti gangguan dari pasokan bahan bakar atau sistem jaringan.

Tabel 1.2. Lama *downtime* perbaikan gagal start tahun 2017 dan 2018

Tahun	2017		2018	
Frekuensi gagal start	Internal	Eksternal	Internal	Eksternal
	7	22	12	20
Total <i>downtime</i>	18 jam 29 menit	119 hari 11 jam 18 menit	23 jam 30 menit	48 hari 4 jam 24 menit

Kegagalan start menimbulkan kerugian baik secara finansial maupun nonfinansial. Secara finansial, jika gagal start dari internal, maka kerugian yang ditanggung oleh perusahaan adalah :

1. Kehilangan potensi pendapatan produksi

Saat terjadi gagal start, maka unit pembangkit tidak berproduksi selama masa perbaikan. Harga jual per KWh untuk satu unit pembangkit adalah Rp. 990,-. Sedangkan kapasitas maksimum satu unit turbin gas adalah 100 MW. Sehingga **total potensi pendapatan yang hilang** di tahun 2017 sebesar **Rp. 1.829.520.000.000,-** dan di tahun 2018 sebesar Rp. **2.326.500.000.000,-**

2. Kerugian pemakaian bahan bakar

Jika terjadi gagal start saat proses sudah menuju atau melewati proses pembakaran, maka perusahaan mengalami kerugian akibat pemakaian bahan bakar.

3. Kerugian pemakaian listrik untuk peralatan pendukung

Unit yang mengalami gagal start, maka akan kehilangan biaya pemakaian energi listrik selama proses tersebut. Rata-rata, daya yang dibutuhkan unit pembangkit sampai ke fase pembakaran sebesar 776,344 KWh. Jika harga listrik per KWh berdasarkan tarif dasar listrik dari PLN sebesar Rp. 1467,28, maka **biaya pemakaian listrik untuk peralatan pendukung** di tahun 2017 sebesar Rp. **7.973.798,17** dan di tahun 2018 sebesar Rp. **13.669.368,30**.

4. Kerugian peralatan dan material unit pembangkit

Unit pembangkit terdiri dari beberapa sistem seperti sistem pelumasan, sistem pendingin, sistem pengaman dan lain sebagainya. Kinerja sistem didukung oleh peralatan dan material. Sehingga gagal start menyebabkan kerugian disisi peralatan dan material sistem pembangkit.

5. *Overtime* bidang pemeliharaan

Gagal start menimbulkan kegiatan korektif/perbaikan yang tidak tentu waktunya. Sehingga perusahaan dapat mengalami kerugian adanya *overtime* pada bidang pemeliharaan untuk melakukan perbaikan.

Sedangkan jika gagal start akibat dari eksternal, maka kerugian yang akan dialami oleh perusahaan tergantung dari jenis gangguannya. Jika gangguan diakibatkan oleh pasokan bahan bakar, maka kerugian hanya pada poin 1 seperti pada gangguan dari internal. Sedangkan jika gangguan diakibatkan oleh sistem jaringan, maka kerugian bagi perusahaan sesuai dengan poin 1, 2, 3 dan 4. Dengan melihat lama *breakdown* gagal start unit pembangkit akibat dari eksternal pada tabel 1.1, maka jelas terlihat betapa besar kerugian yang akan dialami perusahaan.

Untuk kerugian secara nonfinansial antara lain penurunan indikator kinerja pembangkit sehingga KPI (*Key Performance Indicator*) perusahaan tidak tercapai dan penurunan kepuasan pelanggan eksternal. Kegagalan start menyebabkan penurunan KPI produktifitas perusahaan untuk indikator EAF dan kenaikan indikator EFOR. Hanya gagal start dari faktor internal yang diperhitungkan dalam KPI ini. Realisasi KPI PT. X untuk unit PLTGU dari tahun 2013 – 2017 dapat dilihat pada tabel 1.3 berikut.

Tabel 1.3. Realisasi KPI unit PLTGU PT. X tahun 2013 - 2017

Indikator	2013	2014	2015	2016	2017
EAF	93,19	95,90	91,97	89,16	93,08
EFOR	0,45	0,51	2,43	3,40	0,76
CF	60,09	60,97	52,10	49,13	46,62
SOF	4,49	3,88	4,62	6,87	4,51

Sumber : Laporan Keberlanjutan PT. X tahun 2017

Dalam satu jam gangguan atau unit tidak beroperasi, akan berdampak pada penurunan EAF atau kenaikan EFOR untuk satu blok sebesar 0,07%. Jika pada tahun 2017 terjadi *downtime* akibat gagal start selama 18 jam 29 menit, maka akan berpengaruh pada EAF/EFOR sebesar 1,29%. Sedangkan pada tahun 2018, *downtime* akibat gagal start sebanyak 23 jam 30 menit, sehingga berpengaruh pada EAF/EFOR sebesar 1,65%. Bukan hanya berdampak pada KPI, gagal start juga mengakibatkan menurunnya tingkat kepuasan pelanggan. Beberapa indikator kepuasan pelanggan dibidang pembangkit antara lain (Rachmawati, A. D, dkk. 2012) :

1. Kecepatan respon dari para operator unit pembangkit terhadap perintah yang diberikan PT PLN (Persero) P3B untuk menaikkan / menurunkan beban unit.
2. Kecepatan respon operator untuk memberikan informasi mengenai kondisi mesin unit pembangkit (*Real time*).
3. Kesesuaian waktu Start Up untuk masing-masing unit pembangkit.
4. Keandalan mesin pembangkit dalam merespon Sistem Jawa Bali.

Penurunan tingkat kepuasan pelanggan akan berdampak pada daya jual dan citra perusahaan di mata pelanggan. Unit pembangkit PT. X bertugas menyuplai jaringan di area krian, waru dan Surabaya. Jika unit ini mengalami gangguan, maka daerah-daerah tersebut juga akan ikut terdampak.

Untuk penanganan gagal start selama ini masih bersifat *corrective maintenance*. Artinya ada kejadian terlebih dahulu, baru dilakukan perbaikan. Akibat kegiatan *corrective maintenance* ini unit tidak bisa segera beroperasi sehingga menimbulkan kerugian-kerugian seperti yang telah disebutkan diatas. Selain itu, akibat dinamika kebutuhan sistem jaringan beban yang tidak tentu menyebabkan lama perbaikan gagal start tidak dapat diprediksi. Karena kesiapan personil pemeliharaan tidak 24 jam. Seperti pada satu kasus, saat unit diminta start pada malam hari atau hari libur kemudian terjadi gagal start, maka perlu melakukan *oncall* pihak pemeliharaan untuk melakukan perbaikan. Lama waktu dari pemanggilan kru pemeliharaan sampai mereka datang juga merupakan kerugian finansial bagi perusahaan.

Corrective maintenance (pemeliharaan korektif) dapat didefinisikan sebagai tindakan perbaikan yang dilakukan karena kegagalan atau kekurangan yang ditemukan untuk memperbaiki peralatan/item ke keadaan awalnya. *Corrective maintenance* merupakan tindakan pemeliharaan yang tidak terjadwal, tidak dapat diprediksi, direncanakan atau diprogram berdasarkan kejadian pada waktu tertentu (Dhillon, B.S.,2002). Karena tidak dapat direncanakan, maka memberikan potensi kehilangan pendapatan kepada perusahaan lebih besar.

Salah satu upaya untuk mengurangi kegiatan *corrective maintenance* adalah melakukan *preventive maintenance*. Menurut Ebeling (1997) *Preventive maintenance* merupakan perawatan yang dilakukan secara terjadwal umumnya secara periodik. *Preventive maintenance* bertujuan untuk mencegah kerusakan mesin yang sifatnya mendadak (*corrective*) meningkatkan reliability dan dapat mengurangi *downtime* (Assauri, 2008). Namun untuk melakukan *preventive maintenance* perlu dilakukan kajian dan analisa mendalam agar *preventive maintenance* yang dilakukan efektif dan tepat sasaran.

Untuk itu dilakukan analisa gagal start pada proses start turbin gas menggunakan metode FMECA. Dari hasil analisa ini akan didapatkan sumber kegagalan, penyebab dan solusi meminimalkan kegagalan tersebut. Sehingga gagal start pada unit turbin gas dapat diminimalisir atau dihilangkan. Selain itu dengan hasil analisa ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi *preventive maintenance* yang efektif untuk meminimalisir gagal start.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja penyebab gagal start turbin gas di unit pembangkit PT. X ?
2. Apa saja risiko gagal start yang akan dianalisa dengan menggunakan metode *Failure Mode Effects and Criticality Analysis* (FMECA) ?
3. Langkah-langkah *preventive maintenance* apa saja yang perlu dilakukan untuk memitigasi risiko gagal start pada turbin gas ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi penyebab gagal start turbin gas di unit pembangkit PT. X.
2. Melakukan analisa risiko gagal start dengan menggunakan metode *Failure Mode Effects and Criticality Analysis* (FMECA).
3. Menentukan langkah-langkah *preventive maintenance* apa saja yang perlu dilakukan untuk mitigasi risiko gagal start pada turbin gas.

1.4 Batasan dan Asumsi

Adapun batasan-batasan yang digunakan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada proses start turbin gas dari 0 rpm hingga 3000 rpm, tidak sampai *synchronize* (masuk ke jaringan listrik).
2. Identifikasi risiko pada peralatan yang bekerja pada proses start.
3. Tidak dilakukan analisa dari segi biaya dan kerugian ekonomis pada moda-moda kegagalan

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Proses start turbin gas dilakukan secara normal dengan mode otomatis karena proses start lebih sering dilakukan dengan mode otomatis. Mode manual bersifat kondisional.
2. Semua peralatan unit turbin gas dalam kondisi normal
3. Tidak memperhitungkan *human error* dalam pengoperasian turbin gas
4. Tidak ada modifikasi peralatan dan instruksi kerja selama penelitian dilakukan

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada berbagai pihak yakni:

1. Manfaat bagi mahasiswa

Penelitian ini diharapkan menjadi tambahan referensi penggunaan metode *Failure Mode Effects and Criticality Analysis* (FMECA) untuk analisa risiko pada proses start turbin gas.

2. Bagi Perusahaan

Hasil penelitian ini dapat menjadi masukan kepada perusahaan untuk mengurangi potensi dan risiko gagal start unit turbin gas. Selain itu juga masukan tentang langkah-langkah pemeliharaan yang efektif untuk mengurangi kegagalan start unit turbin gas.

3. Bagi Universitas

Menambah koleksi perpustakaan dan referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan analisa risiko pada proses start turbin gas.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

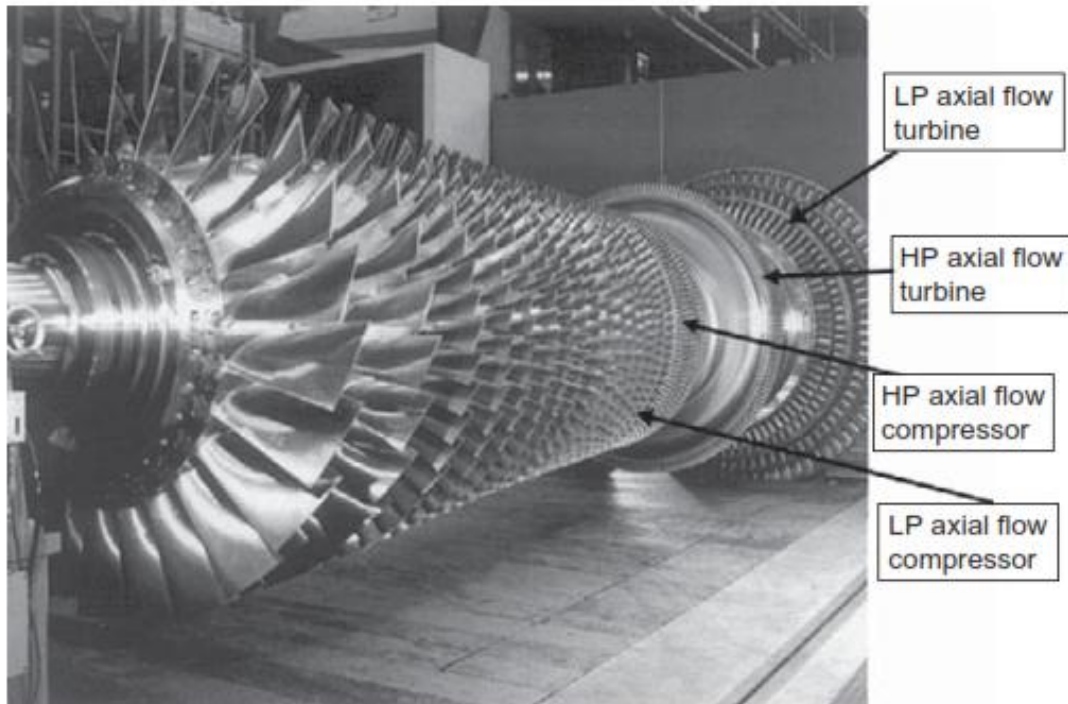
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Gas

Turbin gas adalah pembangkit yang menghasilkan jumlah energi yang besar berdasarkan ukuran dan beratnya (Boyce, M P. 2012). Disebut turbin gas karena turbin tersebut digerakkan oleh gas panas hasil pembakaran bahan bakar. Turbin gas merupakan suatu mesin berputar yang berfungsi mengubah energi potensial dari aliran gas panas menjadi energi gerak. Turbin gas memanfaatkan gas sebagai fluida untuk memutar turbin dengan pembakaran internal. Di dalam turbin gas energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik melalui udara bertekanan yang memutar roda turbin sehingga menghasilkan daya putar. Untuk tipe turbin MW 701 D dan sejenisnya memiliki spesifikasi putaran 3000 rpm. Sistem turbin gas yang paling sederhana terdiri dari 3 (tiga) komponen utama yaitu : kompresor, ruang bakar dan turbin (Sugiharto, R. 2009).

1. Kompresor

Kompresor di sebagian besar turbin gas, terutama unit terutama pada unit dengan kapasitas diatas 5 MW, menggunakan kompresor aliran aksial. Kompresor aliran aksial adalah kompresor yang masuk ke kompresor dengan arah aksial (paralel dengan sumbu rotasi), dan keluar dari turbin gas juga dalam arah aksial (Boyce M.P.2012). Kompresor aliran aksial bekerja dengan cara mempercepat dan memampatkan aliran fluida kerja kemudian mendifusikannya untuk mendapatkan peningkatan tekanan. Fluida dipercepat dengan deretan *blade airfoil* (bilah) berputar yang disebut rotor seperti pada gambar 2.1, dan kemudian berdifusi dalam barisan bilah stasioner (stator) seperti pada gambar 2.2. Difusi di stator mengubah peningkatan kecepatan yang diperoleh di rotor secara berulang-ulang sehingga terjadi peningkatan tekanan. Kompresor terdiri dari beberapa *stage* (*tahap*). Kombinasi rotor diikuti oleh stator membentuk satu kesatuan secara berurutan pada kompresor.



Sumber : Boyce, Maherwan P. (2012)

Gambar 2.1 Rotor kompresor

Baris tambahan sudu variabel pada posisi inlet kompresor, dikenal sebagai *Inlet Guide Vanes* (IGV). IGV sering digunakan pada pintu masuk kompresor untuk memastikan bahwa udara memasuki rotor tahap pertama pada sudut aliran yang diinginkan. Baling-baling ini dapat diatur sudut pembukaannya sehingga dapat disesuaikan aliran udara masuk dengan berbagai kebutuhan aliran pada mesin turbin. Selain stator, difuser lain di pintu keluar kompresor yang terdiri dari set *vanes* lain, sering dikenal sebagai *Exit Guide Vanes* (EGV), selanjutnya mendifusi fluida dan mengontrol kecepatannya memasuki ruang bakar.

Dalam kompresor aliran aksial, terjadi peningkatan tekanan udara saat melewati dari satu tahap ke tahap berikutnya. Dengan menghasilkan kenaikan tekanan rendah pada urutan 1.1: 1 hingga 1.4: 1. Penggunaan beberapa tahap memungkinkan peningkatan tekanan keseluruhan hingga 40: 1 di beberapa aplikasi mesin luar angkasa, dan rasio tekanan 30: 1 di beberapa aplikasi industri. Peningkatan efisiensi turbin gas tergantung pada dua parameter :

- Menaikkan rasio tekanan

- Menambah suhu pembakaran

Tetapi juga harus diingat bahwa kompresor aliran aksial turbin gas mengkonsumsi antara 55-65% dari daya yang dihasilkan oleh turbin gas.



Sumber : Boyce, Maherwan P. (2012)

Gambar 2.2. Stator kompresor

2. Turbin

Turbin aliran aksial adalah turbin yang paling banyak digunakan dengan menggunakan fluida bertekanan. Turbin aliran aksial menggerakkan sebagian besar unit turbin gas - kecuali turbin dengan kapasitas pembangkit renda - dan mereka lebih efisien daripada turbin arus masuk radial di sebagian besar aplikasinya. Turbin aliran aksial juga digunakan dalam desain turbin uap. Namun, ada beberapa perbedaan yang signifikan antara desain turbin aliran aksial untuk turbin gas dan turbin uap.

Pengembangan turbin uap mendahului turbin gas dalam beberapa tahun. Dengan demikian, turbin aksial yang digunakan dalam turbin gas adalah hasil teknologi turbin uap. Dalam beberapa tahun terakhir, tren turbin dengan suhu saluran masuk yang tinggi untuk turbin gas telah naik dan berkembang dengan berbagai skema pendinginan dengan memperhatikan efektivitas pendinginan dan efek aerodinamis. Dalam sejarah perkembangan turbin uap telah menghasilkan

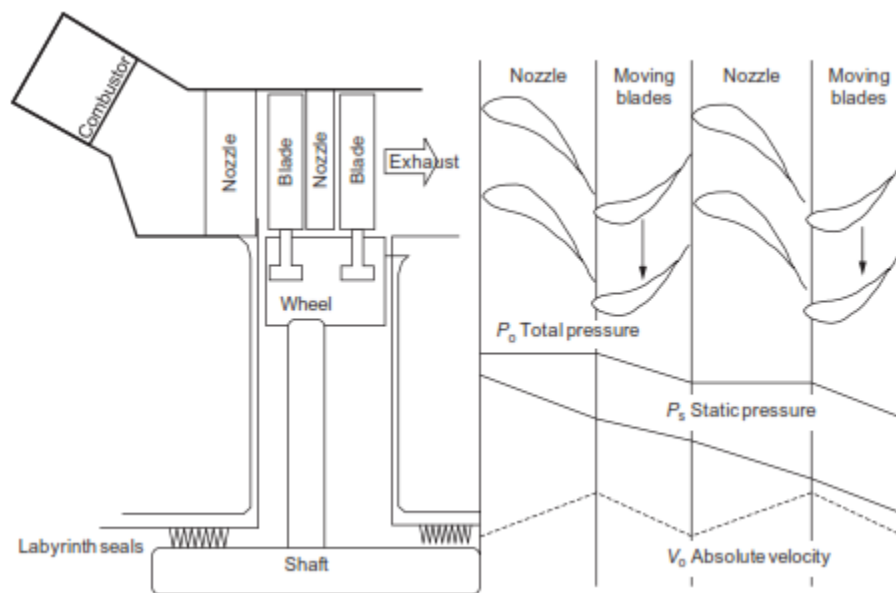
desain dua jenis turbin: turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin reaksi di sebagian besar desain turbin uap memiliki tingkat reaksi 50% yang terbukti sangat efisien. Tingkat reaksi ini sangat bervariasi dalam turbin gas dan dari ujung ke ujung dalam desain *blade* tunggal.

Turbin aliran aksial sekarang dirancang dengan faktor kerja tinggi (rasio tingkat kerja dengan kuadrat kecepatan sudu) untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah dan mengurangi kebisingan dari turbin. Konsumsi bahan bakar yang lebih rendah dan kebisingan yang lebih rendah membutuhkan desain rasio mesin pintas yang lebih tinggi. Rasio mesin pintas yang tinggi membutuhkan banyak tahapan turbin untuk menggerakkan sudu-sudu dengan aliran tinggi namun kecepatan sudu yang rendah. Para peneliti sedang berusaha untuk mengembangkan turbin berkecepatan tinggi, yang memiliki efisiensi tinggi.

Turbin aliran aksial, mirip dengan kompresor aliran aksial, memiliki aliran yang masuk dan keluar ke arah aksial. Ada dua jenis turbin aksial: (1) tipe impuls dan (2) jenis reaksi. Turbin impuls memiliki seluruh penurunan entalpi antara *nozzle*; oleh karena itu, ia memiliki kecepatan yang sangat tinggi memasuki rotor. Turbin reaksi membagi penurunan entalpi antara *nozzle* dan rotor. Gambar 2.3 adalah skema turbin aliran aksial dan menggambarkan distribusi tekanan, suhu, dan kecepatan absolut. Kebanyakan turbin aliran aksial terdiri dari lebih dari satu tahap; tahap depan biasanya impuls (reaksi nol) dan tahap selanjutnya memiliki sekitar 50% reaksi. Tahap impuls menghasilkan sekitar dua kali output dari tahap reaksi 50% yang sebanding, sedangkan efisiensi tahap impuls kurang dari pada tahap reaksi 50%.

Turbin yang bisa difungsikan dengan suhu tinggi adalah kemajuan dalam metalurgi bilah di turbin. Pengembangan bilah turbin searah serta bilah kristal tunggal yang baru, dengan pelapis baru dan skema pendinginan baru, menghasilkan peningkatan suhu serat. Rasio tekanan tinggi dalam kompresor juga menyebabkan udara pendingin yang digunakan pada tahap pertama turbin menjadi sangat panas. Temperatur keluaran kompresor pada turbin gas dapat mencapai setinggi 1200⁰F (649⁰C). Jadi, skema pendinginan sekarang yang memerlukan pendinginan udara kompresor dan saluran pendingin dalam aplikasi saat ini juga dilapisi untuk mencegah korosi pada saluran pendingin. Skema pendinginan pada

sistem turin gas diperlukan perhitungan yang cermat karena jumlah udara yang dapat digunakan terbatas, sebelum ada efek pada efisiensi termal keseluruhan karena peningkatan jumlah udara yang digunakan dalam pendinginan. Aturan praktis di bidang ini adalah bahwa jika Anda membutuhkan lebih dari 8% udara untuk pendinginan, Anda akan kehilangan keuntungan dari peningkatan suhu *ring slip* dan rotor.



Sumber : Boyce, Maherwan P. (2012)

Gambar 2.3. Skema aliran fluida panas pada turbin

3. Combustor

Input panas pada turbin gas sesuai dengan siklus Brayton disediakan oleh sebuah ruang bakar (*combustor*). *Combustor* menerima udara dari kompresor, mencampur dengan bahan bakar dan mengirimkannya pada suhu tinggi ke sudu turbin (idealnya tanpa kehilangan tekanan). Dengan demikian, ruang bakar adalah pemanas udara langsung di mana bahan bakar dibakar hampir secara stoikiometrik dengan sekitar 8–30% dengan udara keluaran kompresor, tergantung pada nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor dari bahan bakar yang dihasilkan bisa lebih rendah sekitar 1.050 BTU / lbm (2,443 kJ / kg) hingga nilai kalor tinggi pada 300 BTU / lbm (698 kJ / kg). Hasil pembakaran di *combustor* kemudian dicampur dengan

udara yang tersisa untuk sampai pada suhu masuk turbin yang sesuai dengan spesifikasi.

Semua pembakaran pada turbin gas melakukan fungsi yang sama; *combustor* meningkatkan suhu gas tekanan tinggi. Temperatur masuk di *combustor* tergantung pada rasio tekanan mesin, beban jenis mesin, dan apakah turbin regeneratif atau non-regeneratif terutama pada rasio tekanan rendah. Turbin gas regeneratif memiliki rasio tekanan yang lebih rendah antara 8: 1 dan 12: 1, dibandingkan dengan turbin gas industri baru yang rasio tekanannya antara 17: 1 dan 35: 1, yang berarti bahwa temperatur ruang masuk-pembakaran berkisar antara 1005⁰F (541⁰C) hingga 1139⁰F (614⁰C). Untuk turbin gas regeneratif laju tekanan rendah pada 1266⁰F (686⁰C) dan 1574⁰F (857⁰C) pada tekanan tinggi. Temperatur pembakaran-keluar berkisar dari 1700⁰F (927⁰C) hingga 2900⁰F (1593⁰C). Mesin pesawat baru memiliki rasio tekanan lebih dari 45: 1, yang memiliki suhu ruang bakar sekitar 1697⁰F (925⁰C) hingga 1139⁰F (614⁰C) dan suhu keluar sekitar 2990⁰F (1644⁰C).

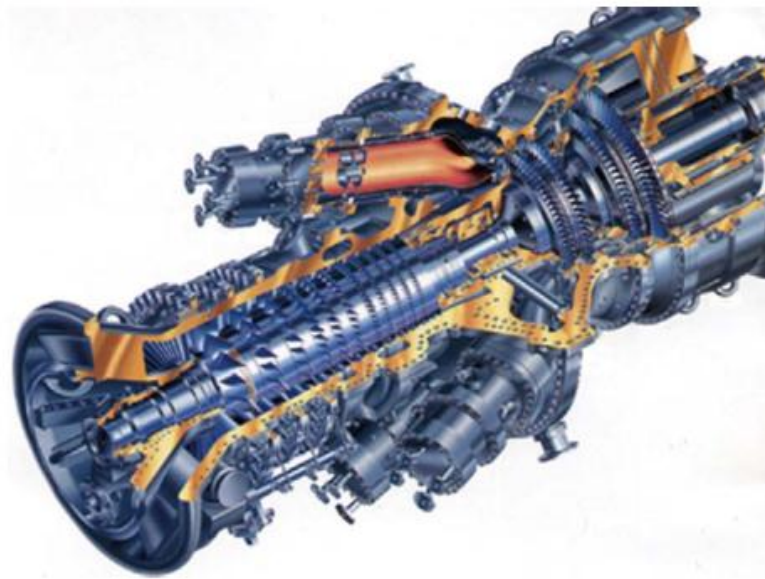
Kinerja pembakaran di *combustor* diukur dengan efisiensi, penurunan tekanan, dan kerataan distribusi suhu pada keluaran sebelum masuk sudu turbin. Efisiensi pembakaran adalah ukuran performa pembakaran yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar secara langsung, karena nilai pemanasan dari setiap bahan bakar yang tidak terbakar tidak digunakan untuk meningkatkan suhu saluran masuk turbin. Temperatur pembakaran normal berkisar antara 3400⁰F (1871⁰C) hingga 3500⁰F (1927⁰C). Pada suhu ini, volume oksida nitrat dalam gas pembakaran sekitar 0,01%. Jika suhu pembakaran diturunkan, jumlah oksida nitrat berkurang secara substansial.

Terdapat tiga model untuk *combustor* pada turbin gas, yaitu :

1. *Can annular*

Sebagian besar turbin gas dengan kapasitas tinggi di Amerika memiliki model *combustor can-annular*. Gambar 2.4 menunjukkan satu set *combustor can-annular* pada turbin gas; ada 10-16 *can* dalam pengaturan *annular* pada turbin gas tunggal. *Combustor can-annular* mudah dipelihara, karena masing-masing dapat dilepas dengan mudah dan dikerjakan secara terpisah. Pada sebagian besar desain *can-annular*, masing-masing *can* dihubungkan dengan *can* di

sebelahnya melalui "*cross-over tube*". *Cross-over tube* digunakan untuk menyamakan tekanan di setiap can. *Cross-over tube* juga berfungsi sebagai jalan api selama start-up, untuk memungkinkan api untuk melakukan perjalanan dari dua can ke semua can lainnya. Masing-masing *combustor* tersusun dari tiga hingga delapan nozel dan satu *nozzle* pilot di tengah. Untuk *can-annular* desain straight-through digunakan pada mesin pesawat, sedangkan desain reverse-flow dapat digunakan pada mesin industri.



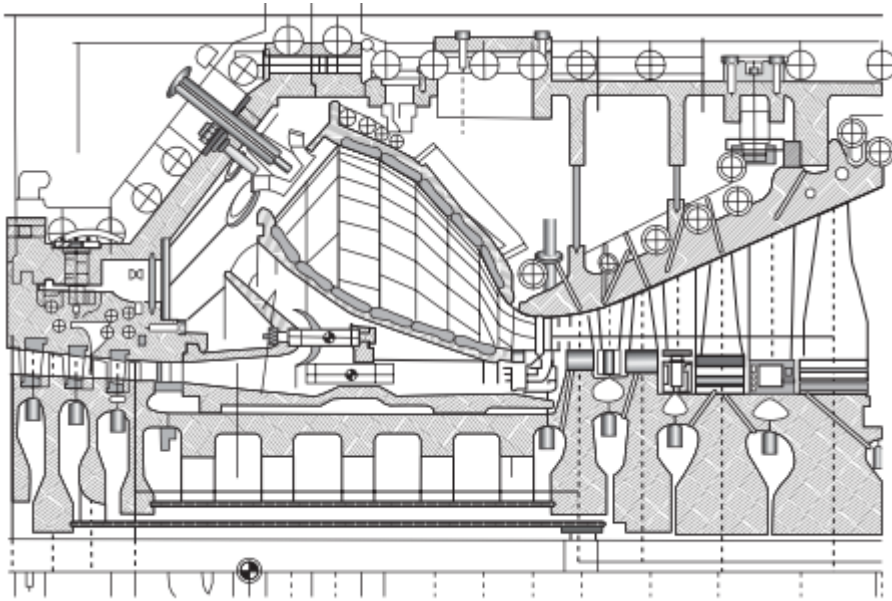
Sumber : Boyce, Maherwan P. (2012)

Gambar 2.4 Turbin gas dengan *combustor* model *can-annular*

2. *Annular*

Desain *annular* banyak digunakan pada turbin gas di Eropa. Gambar 2.5 adalah tipe *combustor annular*. Biasanya tipe *annular* ini digunakan pada turbin gas besar. *Combustor annular* sangat populer dalam desain pesawat baru namun, karena kesulitan mengembangkan desain *annular* untuk diaplikasikan pada pesawat, desain *can-annular* masih digunakan. Penggunaan desain *annular* dapat meningkatkan pembakaran dengan suhu yang lebih tinggi. Hal ini karena jumlah udara pendingin yang dibutuhkan jauh lebih sedikit daripada dalam desain *can-annular* karena luas permukaan yang jauh lebih kecil. Jumlah udara pendingin yang dibutuhkan menjadi

pertimbangan penting dalam meningkatkan suhu pembakaran, karena sebagian besar udara digunakan di zona primer dan sedikit yang tersisa untuk pendinginan sisi rotor. *Combustor annular* kebanyakan menggunakan desain aliran langsung untuk fluidanya.

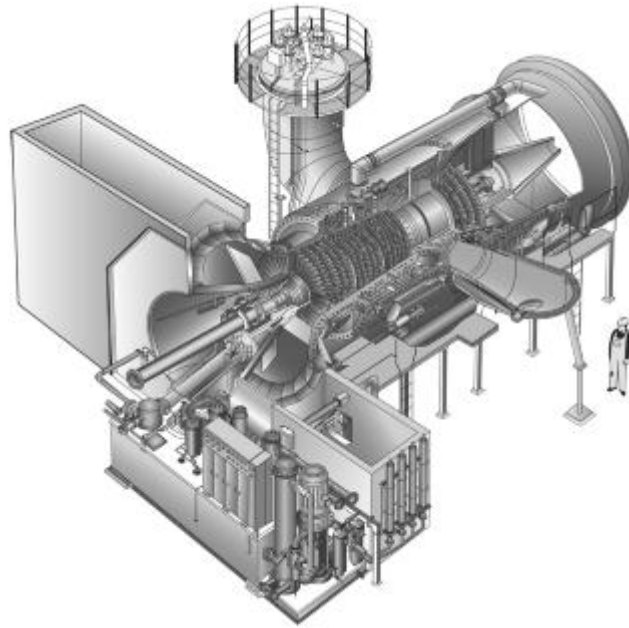


Sumber : Boyce, Maherwan P. (2012)

Gambar 2.5 Turbin gas dengan *combustor* model *annular*

3. Tipe silo.

Combustor tipe silo seperti pada gambar 2.6 merupakan gabungan dari tipe *can-annular* dengan *annular*. Keuntungan dari tipe silo ini adalah desain yang lebih sederhana, kemudahan perawatan, dan umur panjang selama tingkat pelepasan panasnya rendah. Tipe ini memungkinkan aliran panas "straight-through" atau "reverse-flow".

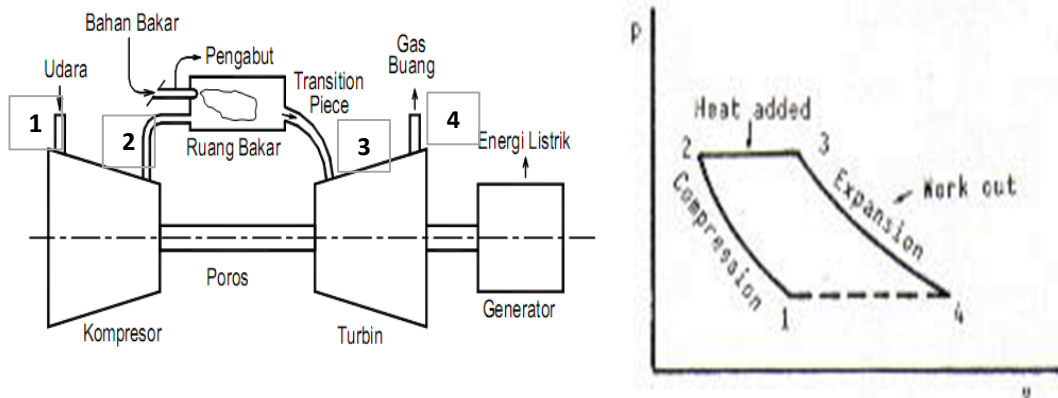


Sumber : Boyce, Maherwan P. (2012)

Gambar 2.6. Turbin gas dengan *combustor* model silo

Turbin gas dijelaskan secara termodinamika oleh Siklus Brayton seperti pada gambar 2.7, di mana udara dikompresi secara isentropik, pembakaran terjadi pada tekanan konstan, dan ekspansi terjadi di turbin secara isentropik kembali ke tekanan awal. Gas panas sebagai fluida kerja untuk memutar turbin diperoleh dari hasil pembakaran internal. Didalam turbin gas energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik melalui udara bertekanan yang memutar roda turbin sehingga menghasilkan daya. Secara umum proses yang terjadi pada suatu sistem turbin gas adalah sebagai berikut:

- Pemampatan (*compression*) : udara di hisap dan dimampatkan
- Pembakaran (*combustion*) : bahan bakar dicampurkan ke dalam ruang bakar dengan udara kemudian di bakar.
- Pemuaian (*expansion*) : gas hasil pembakaran memuai dan mengalir ke luar melalui nozel (*nozzle*).
- Pembuangan gas (*exhaust*) : gas hasil pembakaran dikeluarkan lewat saluran pembuangan.



Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Turbin_gas

Gambar 2.7 Siklus brayton pada turbin gas

Pemilihan unit pembangkit menggunakan turbin gas memiliki kelebihan dan juga kekurangan. Beberapa kelebihan jika menggunakan turbin gas antara lain : pertama tidak memerlukan tempat yang luas. Hal ini dikarenakan jumlah komponen pada turbin gas lebih sedikit jika dibandingkan dengan turbin uap. Keuntungan berikutnya adalah getaran halus/rendah, mudah dan cepat dioperasikan sehingga sangat tepat apabila digunakan sebagai pembangkit *peaker*. Biaya untuk investasi turbin gas lebih rendah daripada turbin uap seperti pada tabel 2.1 (La Ode, 2005).

Tabel 2.1 Perbandingan total biaya investasi pembangkit di Indonesia

Jenis Pembangkit Listrik	Class (MW)	EPC (\$/KW)	IDC (\$/KW)	Total (\$/KW)
Jawa Nuklir	900	1500	435	1935
PLTU-FGD Combined	600	990	228	1218
Cycle Gas Turbin	750	500	100	600
Pump Storage	150	280	28	308
Geothermal	250	580	174	754
	60	950	133	1083

Namun turbin gas juga memiliki kekurangan yaitu effisiensinya sangat rendah, berkisar antara 25% – 30%. Hal ini karena sebagian besar kerja turbin digunakan untuk menggerakkan kompresor. Secara perhitungan ideal, menurut

Sukadana (2015), kerja turbin yang digunakan untuk menggerakkan kompresor sebesar 50%, namun aktual dilapangan hampir 2/3 dari kerja turbin. Kerugian yang lain adalah suaranya sangat bising.

Dalam dunia pembangkit, dilakukan pengukuran keandalan dan kinerja suatu turbin gas. Pengukuran ini dilakukan sebagai dasar kontrak atau *key performance indicator* (KPI) terhadap suatu pembangkit. Menurut Ekstrom (1995), pengukuran keandalan gas turbin pada item-item berikut :

1. Keandalan saat start : Kemungkinan yang diharapkan bahwa unit pembangkit dapat berhasil start sesuai permintaan dan / atau dalam periode waktu tertentu. Keandalan saat start lebih mudah dipahami sebagai perbandingan antara jumlah start yang berhasil dengan jumlah percobaan start yang dilakukan. Persamaan untuk keandalan saat start sesuai dengan persamaan 1 dan 2.

$$\text{Keandalan saat start} = \frac{\text{Jumlah start yang berhasil}}{\text{Jumlah percobaan start}} \quad (1)$$

$$\text{Keandalan saat start} = \frac{\text{Jumlah start yang berhasil}}{\text{Jumlah start yang berhasil} + \text{Jumlah gagal start}} \quad (2)$$

2. Keandalan saat beroperasi : Kemungkinan yang diharapkan bahwa unit pembangkit dapat menyediakan listrik saat diminta. Pengukuran keandalan saat beroperasi berhubungan dengan kejadian yang tidak direncanakan dan tidak termasuk pada semua pemadaman yang telah direncanakan dalam kegiatan pemeliharaan terjadwal. Pemadaman turbin gas yang tidak direncanakan disebut *Force Outage* (FO). Untuk menghitung keandalan saat beroperasi (*running reliability*) diperoleh dari total waktu beroperasi (*period hours*) turbin gas dikurangi dengan *force outage* dibagi dengan total waktu beroperasi sesuai dengan persamaan 3.

$$RR = \frac{\text{Period Hours} - \text{FOH}}{\text{Period Hours}} \quad (3)$$

Dimana :

RR = *running reliability* (keandalan saat beroperasi)

FOH = *Force Outage Hours*

3. Ketersediaan : Periode waktu yang diharapkan bahwa unit pembangkit mampu menyediakan listrik. Ketersediaan memperhitungkan semua aktivitas pemadaman, baik yang terencana, tidak terencana, dipaksa dan terjadwal. Ketersediaan lebih umum digunakan untuk mengukur waktu dari suatu unit turbin gas dapat membangkitkan listrik tanpa pemadaman tiba-tiba (*force outage*), pemadaman untuk pemeliharaan (*maintenance outage*) atau pemadaman terencana (*planned outage*). Dalam standar ANSI/IEEE 762-1987 ketersediaan diukur menggunakan *availability factor*. Persamaan *availability factor* (AF) sesuai dengan persamaan 4.

$$AF = \frac{\text{Available Hours}}{\text{Period Hours}} \quad (4)$$

$$\text{Available Hours} = PH - FOH - MOH - POH$$

Dimana :

PH = *Period Hours*

FOH = *Force Outage Hours*

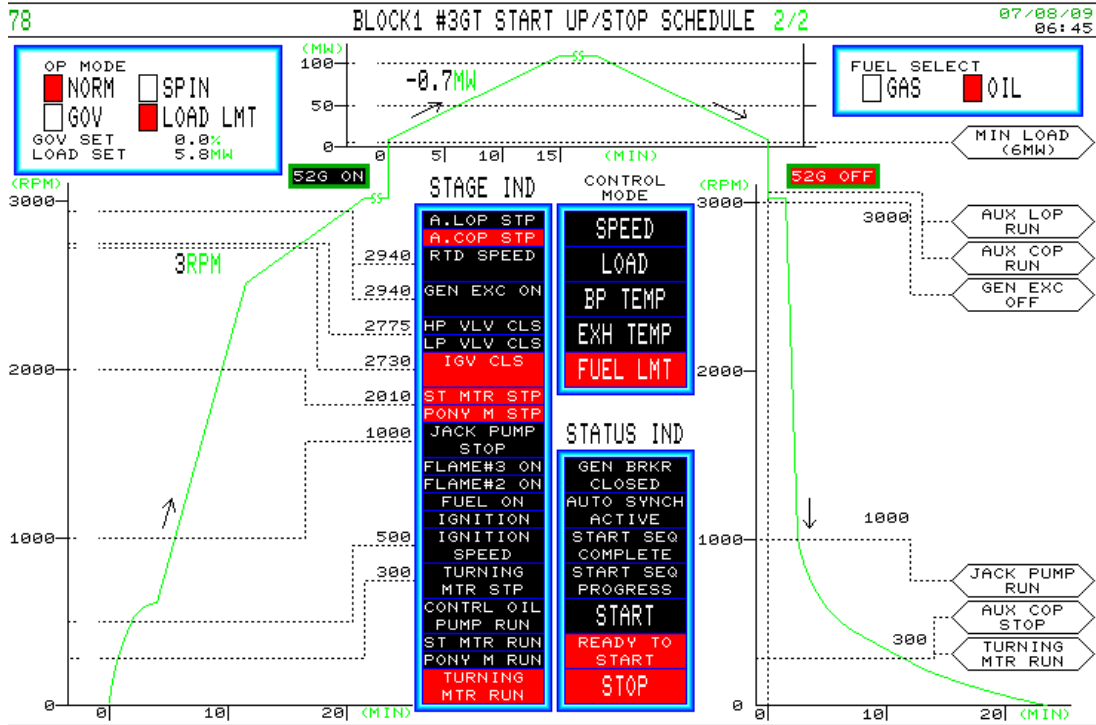
MOH = *Maintenance Outage Hours*

POH = *Planned Outage Hours*

4. Ketersediaan ekivalen : Mirip dengan ketersediaan di poin tiga, tetapi disempurnakan oleh penyesuaian kapasitas untuk mencerminkan kemampuan produksi energi total. Ketersediaan ekivalen mengukur seberapa banyak output energi yang dihasilkan selama periode waktu (biasanya satu tahun) yang dipengaruhi oleh moda-moda dalam operasi yang menyebabkan penurunan kapasitas. Dapat diartikan sebagai gabungan dari ketersediaan dan keandalan saat beroperasi. Nilai inilah yang umum dipakai oleh kebanyakan unit pembangkit sebagai indikator kinerja mereka sebagai *Equivalent Availability Factor* (EAF). Keandalan gas turbin dalam pembangkit

2.2 Proses Start Turbin Gas

Proses start turbin gas di PT. X mengikuti urutan sesuai dengan gambar 2.8. Sebelum di start, posisi turbin harus pada posisi READY TO START. Pada posisi ini *turning motor* berputar pada kecepatan 3 rpm.



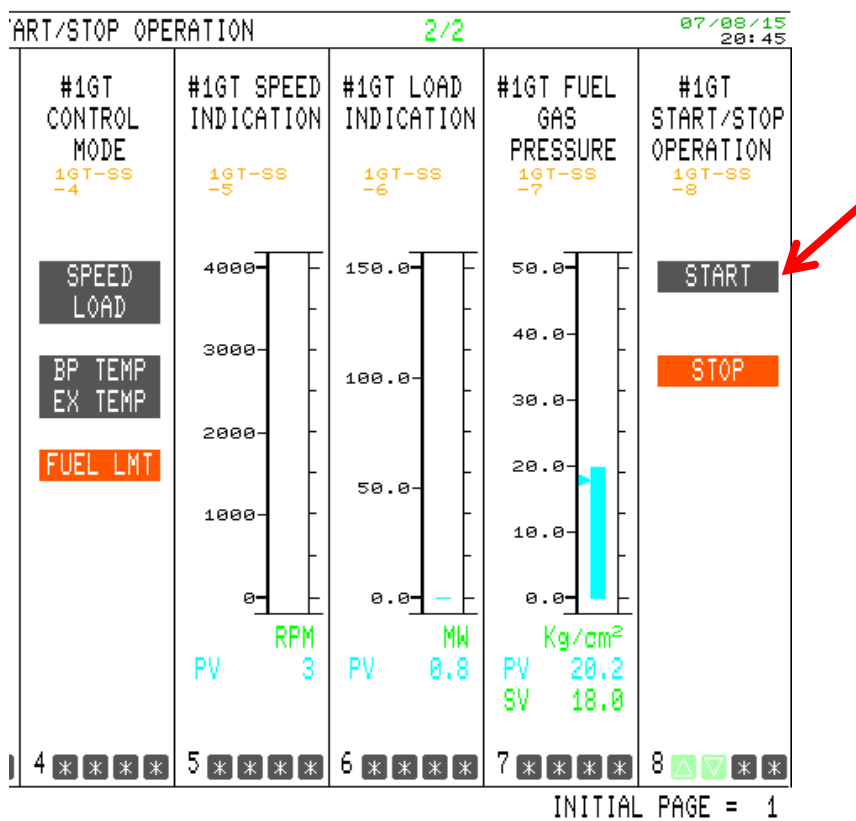
Gambar 2.8 Urutan start – stop turbin gas

Status READY TO START akan terpenuhi jika peralatan dibawah ini dalam kondisi otomatis. Peralatan tersebut yaitu :

- | | | | | | |
|----|-------------------------|----|------------------------|----|----------------------------|
| 1 | Emergency Lube oil pump | 4 | G/T Package vent fan C | 7 | Fuel Oil Transfer Pump A |
| 2 | Auxiliary lube oil pump | 5 | Jacking Oil Pump A | 8 | Fuel Oil Transfer Pump B |
| 3 | Vapour extractor | 6 | Jacking Oil Pump B | 9 | Auxiliary Control Oil Pump |
| 10 | AC turning gear | 14 | B-Rack vent fan | 18 | Generator Space Heater |
| 11 | DC turning gear | 15 | Igniter | 19 | Fuel Oil Additive Pump |

- 12 *G/T Package vent 16 Main Fuel Oil fan A Pump*
- 13 *G/T Package vent 17 Fuel Oil Drain fan B Pump*

Saat sinyal READY TO START muncul, mengindikasikan bahwa turbin gas siap dioperasikan secara otomatis. Untuk memulai start turbin, tekan tombol START pada panel seperti pada gambar 2.9. Setelah tombol START ditekan, maka kecepatan turbin gas akan naik dari 3 rpm menuju 3000 rpm.



Sumber : Tampilan monitor *control room* PLTGU

Gambar 2.9 Tombol start turbin gas

Pada prosesnya, peralatan akan bekerja pada rpm tertentu sesuai dengan urutan start pada gambar 2.8 dan tabel 2.2. Jika terdapat peralatan yang tidak dapat beroperasi sesuai dengan urutan start, maka akan terjadi gagal start. Saat terjadi gagal start maka kecepatan akan turun atau tertahan di kecepatan tersebut.

Perbaikan pada gagal start tidak bisa dilakukan secara *online*, sehingga perlu mematikan unit turbin gas kemudian apabila sudah selesai perbaikan, pengujian dilakukan dengan men-start kembali unit turbin gas.

Tabel 2.2 Peralatan yang bekerja saat proses start sesuai dengan kecepatan (dalam rpm)

Kecepatan	Proses
0 rpm – 3 rpm	READY TO START muncul (terpenuhi semua persyaratannya) AC turning motor run
3 rpm – 300 rpm	Pony motor run Starting motor run Package vent fan run Auxiliary control oil run Torque Converter run Inlet Guide Vane open 22 ⁰
300 rpm – 500 rpm	AC turning off Generator heater off Fuel control valve open
500 rpm – 1000 rpm	Fuel Vent valve close Proses persiapan pemantikan api Igniter on Terjadi pembakaran dengan tanda FLAME ON menyala Igniter off
1000 rpm – 2010 rpm	Jacking oil pump stop Pony motor stop Starting motor stop Torque converter off
2010 rpm – 2775 rpm	IGV ke posisi 0 ⁰ HP dan LP Bleed valve close
2775 rpm – 3000	Generator Excitation on

Dilanjutkan ke halaman berikutnya

Tabel 2.2 (lanjutan)

Kecepatan	Proses
rpm	Auxiliary lube oil pump off Auxiliary control oil pump off Turbin gas siap untuk synchronize

PLTGU unit pembangkit PT. X merupakan unit *peaker* sehingga unit ini dioperasikan saat beban jaringan tinggi. Hal ini mengakibatkan unit mengalami start-stop sesuai dengan permintaan pelanggan dan tidak terjadwal. Jika unit yang diminta start oleh pelanggan gagal dalam proses start selama waktu yang ditentukan, maka unit tersebut akan diberi status tidak siap dan pelanggan akan meminta pembangkit lain yang lebih siap untuk start.

2.3 Risiko

Kata “risiko” sangat identik dengan sesuatu yang negatif. Sehingga masyarakat umum berpikiran bahwa risiko adalah kemungkinan sesuatu yang berbahaya atau merugikan terjadi. Berikut ini merupakan beberapa definisi dari kata “risiko”.

- Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, risiko adalah akibat yang kurang menyenangkan (merugikan, membahayakan) dari suatu perbuatan atau tindakan (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2012).
- Menurut *Oxford Dictionaries*, *risk is a situation involving exposure to danger* (Oxford University Press, n.d.).
- Menurut ANSI/ASSE/ISO 31000 (Z690.2-2011) *Risk Management Principles and Guidelines*, *risk is effect of uncertainty on objectives* (American Society of Safety Engineers, 2011, p. 12).
- Menurut buku *Fundamental of Risk Management*, *risk is an event with ability to impact (inhibit, enhance, or cause doubt about) the mission, strategy, projects, routine operations, objectives, core processes, key dependencies and/or the delivery of stakeholder expectations* (Hopkin, 2012, p. 14).
- Menurut buku *Enterprise and Individual Risk Management*, *risk is*

a consequence of uncertainty – it isn't uncertainty itself (Baranoff, Brockett, & Kahane, 2012, p. 21)

Masyarakat umum kerap kali menyalah artikan risiko dengan ketidakpastian (*uncertainty*), padahal keduanya tidak sama. Peluang terjadinya risiko lebih besar daripada peluang terjadinya ketidakpastian. Di masa depan tidak dapat dipastikan kejadian merugikan yang akan terjadi, tetapi risiko mempunyai kemungkinan muncul. Ini perbedaan antara risiko dan ketidakpastian.

Adapun 2 komponen yang mempunyai hubungan erat dengan risiko, yaitu kemungkinan (*likelihood – chance of something happening* (American Society of Safety Engineers, 2011, p. 12)) dan dampak (*impact*). Jika semakin besar kemungkinan terjadinya risiko, maka semakin tinggi juga risikonya. Sebaliknya jika semakin besar dampak dari risiko yang ditimbulkan, maka semakin tinggi juga risiko yang ditimbulkan.

Dua komponen lain yang juga mempunyai hubungan erat dengan risiko, yaitu penyebab risiko (*hazard*) dan petunjuk keselamatan (*safeguard*). Jika penyebab risiko tidak diketahui, maka risiko semakin tinggi. Sebaliknya jika petunjuk keselamatan risiko semakin banyak, maka risiko semakin kecil.

2.4 Pemeliharaan

Pemeliharaan adalah hal yang sangat penting bagi perusahaan. Tidak hanya menyangkut operasional perusahaan tetapi juga ekonomi perusahaan. Pemeliharaan baik sedikit maupun banyak tetap harus dilaksanakan oleh sebuah perusahaan. Apabila perusahaan tidak melakukan pemeliharaan secara teratur terhadap mesin-mesin atau fasilitas yang mereka miliki, maka secara teratur pula mesin-mesin atau fasilitas yang ada diperusahaan tersebut akan rusak. Kerusakan akan berdampak fatal dan menimbulkan kerugian yang besar bagi perusahaan. Dalam studi kasus industri di Amerika Serikat, perusahaan yang tidak melakukan pemeliharaan, hampir 80% keuangan mereka terserap pada perbaikan kerusakan pada pada mesin, fasilitas dan sistem. Tetapi dengan menerapkan pemeliharaan yang efektif, dapat menghilangkan kegagalan dan kerusakan berat pada mesin, fasilitas dan sistem di perusahaan dan mampu menghemat 40% – 60%

pengeluaran perusahaan (Dhillon, 2002). Di Indonesia pun sama, biaya pemeliharaan juga cukup besar. Namun biaya kerusakan akibat tidak ada pemeliharaan jauh lebih besar. Salah satu contoh pada industri tenaga listrik, Direktur Utama PT Indonesia Power, Sripeni Inten Cahyani, menjelaskan biaya pemeliharaan pembangkitan listrik mencapai Rp 2 triliun per tahun. Namun dengan pemeliharaan rutin yang baik dapat menurunkan biaya tersebut 5%-10% nya (Abidin, D. 2018).

Kata pemeliharaan diambil dari bahasa Yunani terjemah artinya merawat, menjaga, dan memelihara. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, pemeliharaan adalah (1) proses, cara, perbuatan memelihara, penjagaan, perawatan, (2) penyelamatan, penghindaran (3) penjagaan harta kekayaan, terutama alat produksi tahan lama dalam perusahaan agar tetap dalam kondisi yang baik. Menurut Anthony (1992) pemeliharaan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima. (Anthony, 1992). Untuk pengertian pemeliharaan lebih jelas adalah tindakan merawat mesin atau peralatan pabrik dengan memperbaharui umur masa pakai dan kegagalan/kerusakan mesin. (Setiawan, 2008). Menurut Assauri (2008), pemeliharaan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Sedangkan menurut Manahan (2004), pemeliharaan merupakan semua aktivitas termasuk menjaga peralatan dan mesin selalu dapat melaksanakan pesanan pekerjaan. Dari beberapa pendapat di atas bahwa dapat disimpulkan bahwa kegiatan pemeliharaan dilakukan untuk merawat ataupun memperbaiki peralatan perusahaan agar dapat melaksanakan produksi dengan efektif dan efisien sesuai dengan pesanan yang telah direncanakan atau ditentukan oleh perusahaan dengan hasil produksi yang berkualitas. Sedangkan menurut Dhillon (2002) pemeliharaan adalah fungsi yang harus dilakukan dalam keadaan, kondisi dan tekanan yang tidak normal, yang memiliki tujuan utama untuk mengembalikan peralatan dengan cepat ke kondisi kesiapan operasionalnya menggunakan sumber daya yang tersedia.

2.4.1 *Corrective maintenance*

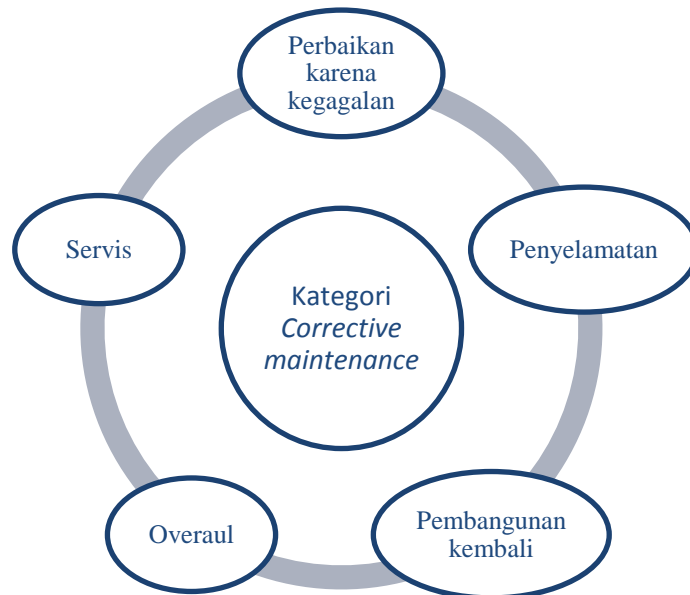
Meskipun setiap upaya dilakukan untuk membuat sistem menjadi sehandal mungkin melalui desain, pemilihan material berkualitas dan sebagainya, pada akhirnya dari waktu ke waktu pasti akan mengalami kerusakan. Akibatnya, peralatan tersebut harus diperbaiki agar kembali bisa digunakan dan dalam keadaan operasional semula. Dengan demikian, *corrective maintenance* atau pemeliharaan korektif merupakan opsi dari kegiatan pemeliharaan. *Corrective maintenance* dapat didefinisikan sebagai tindakan perbaikan yang dilakukan karena terjadi kerusakan atau kegagalan yang ditemukan selama *patrol check* untuk dilakukan perbaikan agar dapat dikembalikan ke keadaan operasionalnya (Dhillon, 2002). Komarasakti (2008) juga menyatakan bahwa pemeliharaan korektif adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan pada fasilitas sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Dapat disimpulkan bahwa pemeliharaan korektif dilakukan pada saat mesin tersebut telah rusak.

Biasanya, pemeliharaan korektif adalah tindakan pemeliharaan tidak terjadwal, kebutuhannya tidak dapat diprediksi, direncanakan atau diprogram berdasarkan kejadian pada waktu tertentu. Tindakan ini membutuhkan perhatian mendesak yang harus segera dilakukan dengan, atau diganti dengan item pekerjaan yang sebelumnya dijadwalkan. *Corrective maintenance* dilakukan dengan tindakan cepat setelah adanya kerusakan yang ditemukan selama operasi pada peralatan / barang atau saat kinerja sistem menurun karena insiden atau kecelakaan. Upaya pemeliharaan secara korektif ini sudah banyak dilakukan oleh sebagian besar orang maupun industri.

Perawatan korektif dapat diklasifikasikan ke dalam lima kategori utama seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10. Kategori-kategori tersebut yaitu perbaikan karena kegagalan, penyelamatan, pembangunan kembali, *overhaul*, dan servis.

1. Perbaikan karena kegagalan: Melakukan perbaikan pada item yang gagal atau abnormal untuk dikembalikan ke dalam status normal operasi.
2. Penyelamatan: Elemen pemeliharaan korektif ini berkaitan dengan pembuangan material yang tidak dapat diperbaiki dan penggunaan material yang diselamatkan

dari peralatan / item yang tidak dapat diperbaiki dalam program perbaikan, perbaikan, atau pembangunan kembali.



Gambar 2.10 Kategori-kategori *corrective maintenance*

13. Pembangunan kembali: Ini berkaitan dengan mengembalikan item ke standar sedekat mungkin dengan keadaan awal dalam kinerja, umur pakai, dan penampilan. Hal ini dicapai melalui pembongkaran lengkap, pemeriksaan semua komponen, perbaikan dan penggantian komponen yang aus / tidak dapat digunakan sesuai dengan spesifikasi asli dan toleransi pabrikan, dan pemasangan kembali dan pengujian dengan pedoman produksi asli.

4. *Overhaul*: Mengembalikan item ke kondisi total yang dapat diservis sesuai standar perawatan servis, dengan menggunakan pendekatan "inspeksi dan perbaikan hanya jika sesuai".

5. Servis: Servis mungkin diperlukan karena tindakan pemeliharaan korektif, misalnya, ketika melakukan perbaikan mesin hal yang harus dilakukan adalah pembersihan part, pengelasan, pemotongan dan lain sebagainya.

2.4.2 Preventive maintenance

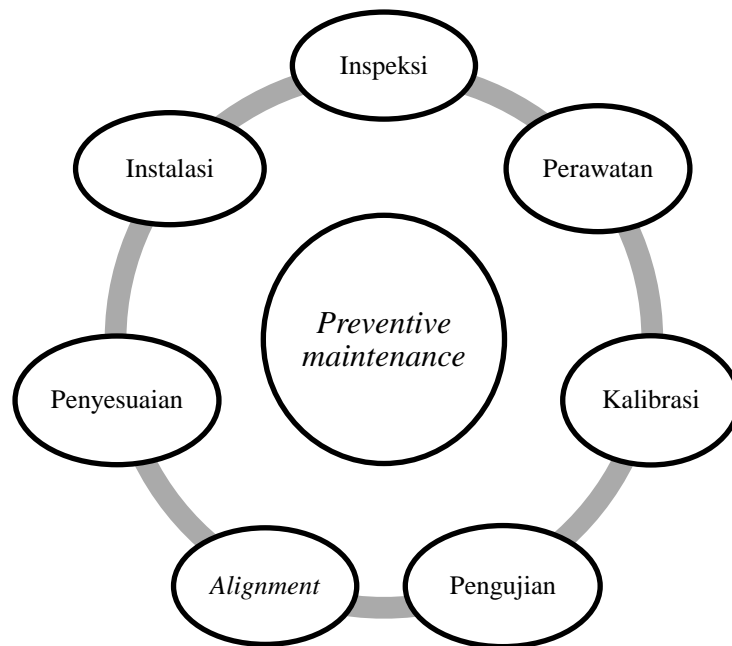
Preventive maintenance adalah komponen penting dari aktivitas pemeliharaan. Di dalam organisasi pemeliharaan biasanya merupakan proporsi utama dari total upaya pemeliharaan. *Preventive maintenance* dapat digambarkan sebagai perawatan dan servis oleh individu yang terlibat dengan pemeliharaan untuk menjaga peralatan / fasilitas dalam kondisi operasional yang memuaskan dengan menyediakan inspeksi sistematis, deteksi, dan koreksi kegagalan dini sebelum terjadi atau sebelum perkembangannya menjadi kegagalan besar. Menurut Higgins (2002) Pemeliharaan preventif adalah pemeliharaan yang dilakukan sebelum kebutuhan berkembang untuk meminimalkan kemungkinan atau gangguan produksi yang tidak terduga atau gangguan besar. Ketika program pemeliharaan preventif terencana dikembangkan dan diikuti dengan benar, dapat mengurangi frekuensi dan tingkat peralatan *overhaul* atau rekondisi serta downtime yang menyebabkan kehilangan produksi.

Beberapa tujuan utama *Preventive maintenance* adalah untuk: meningkatkan usia produktif peralatan modal, mengurangi kerusakan peralatan penting, memungkinkan perencanaan dan penjadwalan pekerjaan pemeliharaan yang lebih baik, meminimalkan kerugian produksi karena kegagalan peralatan, dan meningkatkan kesehatan dan keselamatan personel pemeliharaan.

Dari waktu ke waktu, program *preventive maintenance* di organisasi pemeliharaan berakhir dengan kegagalan (misalnya kegiatan ini kehilangan dukungan di manajemen tingkat atas) karena biayanya tidak adil atau mereka mengambil waktu yang cukup besar untuk menunjukkan hasil. Padahal untuk memetik hasil dari *preventive maintenance* ini harus dilakukan pengawalan, kedisiplinan dan kesadaran bidang pemeliharaan dan manajemen perusahaan agar menjadi efektif. Prinsip paling penting untuk menjaga dukungan manajemen yang berkelanjutan untuk melakukan *Preventive maintenance* adalah jika tidak akan menghemat uang, maka jangan lakukan *preventive maintenance*.

Ada tujuh kategori *preventive maintenance* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Setiap elemen dibahas di bawah ini.

1. Inspeksi: Secara berkala memeriksa bahan / barang untuk menentukan kemudahan servisnya dengan membandingkan karakteristik fisik, listrik, mekanis, dan lain sebagainya sehingga sesuai dengan standar yang diharapkan
2. Perawatan: Membersihkan, melumasi, mengisi daya, mengawetkan dan lain sebagainya pada barang. Peralatan atau bahan secara berkala untuk mencegah terjadinya kegagalan terjadi.



Gambar 2.11 Kategori-kategori *preventive maintenance*

3. Kalibrasi: Secara berkala menentukan nilai karakteristik suatu peralatan dengan membandingkan nilainya berdasarkan standar. Pekerjaan ini terdiri dari perbandingan dua instrumen, salah satunya adalah standar tersertifikasi dengan akurasi yang diketahui, untuk mendeteksi dan menyesuaikan setiap perbedaan dalam keakuratan parameter atau besaran suatu peralatan atau bahan dibandingkan dengan nilai standar yang ditetapkan
4. Pengujian: Menguji atau memeriksa secara berkala untuk menentukan kemudahan servis dan mendeteksi degradasi yang terkait dengan listrik / mekanik
5. *Alignment*: Membuat perubahan pada elemen variabel tertentu item untuk tujuan mencapai kinerja optimal

6. Penyesuaian: Menyesuaikan secara berkala elemen variabel material tertentu untuk tujuan mencapai kinerja sistem yang optimal

7. Instalasi: Penggantian berkala barang-barang dengan masa pakai terbatas atau item yang mengalami siklus waktu atau degradasi keausan, untuk mempertahankan toleransi sistem yang ditentukan

Beberapa karakteristik perusahaan atau industri yang membutuhkan program pemeliharaan preventif yang baik adalah sebagai berikut:

- Industri yang kerap terjadi kegagalan pada peralatannya sehingga tingkat penggunaan peralatan rendah
- Terdapat barang cacat produk jumlah besar dari hasil produksi dikarenakan peralatan yang tidak dapat diandalkan
- Naiknya biaya perbaikan peralatan karena kelalaian dalam pekerjaan-pekerjaan perawatan seperti pelumasan rutin, inspeksi, dan penggantian alat atau komponen mesin yang aus
- Kegagalan atau kerusakan pada peralatan menyebabkan waktu tidak berproduksi dan atau waktu persiapan produksi lama
- Adanya pengurangan masa produktif peralatan atau lifetime peralatan akibat pemeliharaan yang tidak benar

2.5 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan sebuah logika, analisa struktural dari sebuah sistem, subsistem, *device*, atau proses. Merupakan salah satu metode analisis sistem keandalan dan keamanan yang pada umumnya digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan moda kegagalan, penyebab kegagalan, dan akibat dari kegagalan tersebut. Identifikasi yang baik dan tepat akan meningkatkan keandalan dan keamanan produk secara keseluruhan. Selain itu, banyak sekali tujuan lain dari penggunaan FMEA yaitu mengidentifikasi dan mencegah *safety hazard*, meminimasi kerugian kehilangan performansi dari produk dan penurunan performansi, meningkatkan aktivitas tes dan verifikasi, meningkatkan kualitas proses, menjadi pertimbangan dalam desain produk dan proses manufaktur, mengidentifikasi produk yang signifikan dan karakteristik

produk, merancang rencana *preventive maintenance* dan merancang teknik *online diagnostic* (Carlson, 2014).

Terdapat empat tipe *Failure and Mode Effect Analysis* menurut Stamatis (2003):

- *System FMEA*

System FMEA digunakan untuk menganalisis sistem dan subsistem pada konsep dan desain awal. *System FMEA* merupakan tipe FMEA yang terfokus pada potensi moda kegagalan antara fungsi dari sistem yang disebabkan kekurangan sistem dan bertujuan untuk memaksimalkan kualitas, reliabilitas, biaya dan *maintainability* dari suatu sistem. Output yang dihasilkan dari *system FMEA* adalah sebagai berikut :

1. Daftar potensi moda kegagalan yang disusun berdasarkan tingkat RPN.
2. Daftar potensi dari fungsi sistem yang dapat mendeteksi mode kegagalan potensial.
3. Daftar potensi dari tindakan desain untuk mengeliminasi mode kegagalan, masalah keselamatan, dan mengurangi tingkat *occurrence*.

Manfaat dari *system FMEA* adalah sebagai berikut:

1. Membantu memilih alternatif desain sistem yang optimal.
2. Membantu menentukan redundansi (peramalan).
3. Membantu dalam mendefinisikan dasar untuk prosedur diagnosa tingkatan sistem yang ada.
4. Meningkatkan kemungkinan bahwa masalah-masalah yang potensial akan dipertimbangkan untuk ditindaklanjuti.
5. Mengidentifikasi kegagalan sistem yang potensial dan interaksinya dengan sistem dan subsistem lain

- *Design FMEA*

Design FMEA digunakan untuk menganalisis produk sebelum dirilis di manufaktur. *Design FMEA* merupakan tipe FMEA yang terfokus pada moda kegagalan yang disebabkan oleh kekurangan desain dan bertujuan untuk memaksimalkan kualitas, realibilitas, biaya dan *maintainability* dari suatu desain. Output yang dihasilkan dari *design FMEA* adalah sebagai berikut:

1. Daftar potensi moda kegagalan yang disusun berdasarkan tingkat RPN.

2. Daftar potensi dari karakteristik kritis maupun signifikan.
3. Daftar potensi dari tindakan desain yang dapat dilakukan untuk mengeliminasi moda kegagalan, masalah keselamatan dan mengurangi tingkat *occurrence*.
4. Daftar potensi dari parameter untuk metode pengujian, inspeksi, maupun deteksi yang sesuai.
5. Daftar potensi dari tindakan yang seharusnya dilakukan untuk karakteristik kritis dan signifikan.

Manfaat dari *design* FMEA adalah sebagai berikut:

1. Membuat prioritas untuk tindakan peningkatan desain yang ada.
2. Mendokumentasikan alasan yang digunakan untuk perubahan yang dilakukan.
3. Menyediakan informasi untuk membantu verifikasi produk desain dan pengujian.
4. Membantu mengidentifikasi karakteristik yang kritis atau signifikan.
5. Membantu dalam pengevaluasian kebutuhan dan alternatif desain yang akan dibuat.
6. Membantu mengidentifikasi dan menghilangkan masalah keamanan yang berpotensi muncul.
7. Mengidentifikasi kegagalan sistem yang potensial dan interaksinya dengan sistem dan subsistem lain.

- *Process* FMEA

Process FMEA digunakan untuk menganalisis proses - proses manufaktur dan perakitan. *Process* FMEA merupakan tipe FMEA yang terfokus pada moda kegagalan yang disebabkan kekurangan proses atau perakitan yang ada. Output yang dihasilkan dari *process* FMEA adalah sebagai berikut:

1. Daftar potensi dari moda kegagalan berdasarkan peringkat RPN.
2. Daftar potensi dari karakteristik kritis dan/atau signifikan.
3. Daftar potensi dari rekomendasi tindakan untuk merujuk pada karakteristik kritis dan signifikan.

Manfaat dari *process* FMEA adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi perbedaan proses dan menawarkan rekomendasi tindakan perbaikan.
2. Mengidentifikasi karakteristik kritis dan/atau signifikan dan membantu dalam mengembangkan perencanaan pengendalian.
3. Membuat prioritas dari tindakan perbaikan.
4. Membantu dalam analisis manufaktur atau proses perakitan.

- *Service* FMEA

Service FMEA digunakan untuk menganalisis pelayanan sebelum mencapai konsumen. *Service* FMEA berfokus pada moda kegagalan yang disebabkan oleh sistem atau proses. Output yang dihasilkan dari *service* FMEA adalah sebagai berikut:

1. Daftar potensi dari kesalahan berdasarkan peringkat RPN.
2. Daftar potensi dari karakteristik tugas kritis atau signifikan atau proses.
3. Daftar potensi dari proses atau tugas yang *bottleneck*.
4. Daftar potensi untuk mengeliminasi kesalahan
5. Daftar potensi dari sistem pengawasan / fungsi proses.

Manfaat dari *service* FMEA adalah sebagai berikut:

1. Membantu dalam menganalisis aliran kerja.
2. Membantu dalam menganalisis sistem dan/atau proses.
3. Mengidentifikasi perbedaan tugas.
4. Menyusun prioritas untuk tindakan perbaikan

2.6 Prosedur FMEA

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) adalah jenis desain dan teknologi untuk menganalisis keandalan pencegahan, yang merupakan formula yang sistematis terstruktur untuk mengidentifikasi modus kerusakan yang potensial dalam desain atau manufaktur, kemudian mempelajari pengaruh kerusakan pada sistem, kemudian mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk mengoreksi dan sebagai metode pencegahan sementara yang mengarah pada masalah dalam sistem keandalan (Effendi & Arifin, 2015). Metode FMEA mengubah kualitatif menjadi kuantitatif, maka untuk menilai risiko kegagalan dengan konsep fungsi

utilitas sebagai dasar untuk meningkatkan urutan prioritas.

Langkah-langkah berikut digunakan untuk mengimplementasikan FMEA (Ambekar, Edlabadkar, & Shrouy, 2013).

1. Penilaian *Severity*

Menentukan semua mode kegagalan, berdasarkan pada kebutuhan fungsional dan efeknya. Sebuah mode kegagalan pada satu komponen dapat membawa ke sebuah mode kegagalan di komponen yang lain, sehingga setiap mode kegagalan harus terdaftar diistilah teknis dan untuk fungsi. Kemudian efek terakhir dari setiap mode kegagalan perlu dipertimbangkan. Sebuah efek kegagalan didefinisikan sebagai hasil dari sebuah mode kegagalan pada fungsi dari sistem seperti diketahui oleh pengguna. Dengan cara ini, mudah untuk menulis efek tersebut di istilah dari yang pengguna mungkin lihat atau alami. Setiap efek diberikan sebuah nilai *severity* (S) dari 1 (tidak ada bahaya) sampai 10 (gawat). Nilai ini membantu insinyur untuk memprioritaskan mode kegagalan dan efeknya. Jika nilai S suatu efek adalah 9 sampai 10, tindakan dipertimbangkan untuk mengubah desain dengan mengeliminasi mode kegagalan, jika memungkinkan, atau melindungi pengguna dari efek tersebut. Peringkat *severity* dari 9 sampai 10 umumnya ditujukan untuk efek-efek yang akan menyebabkan cedera kepada pengguna atau sebaliknya mengakibatkan litigasi (Ambekar, Edlabadkar, & Shrouy, 2013).

2. Penilaian *Occurrence*

Pada langkah ini, perlu untuk melihat pada penyebab dari sebuah mode kegagalan dan berapa kali terjadinya. Ini dapat diselesaikan dengan melihat produk atau proses yang serupa dan mode kegagalan yang telah didokumentasikan di masa lalu. Sebuah penyebab kegagalan dipandang sebagai sebuah kelemahan desain. Semua penyebab yang berpotensi untuk mode kegagalan harus diidentifikasi dan didokumentasi. Sekali lagi ini harus ada di istilah teknis (Aravinth, Kumar, Dakshinamoorthy, & Kumar, 2012).

3. Penilaian *Detection*

Ketika tindakan yang seharusnya ditentukan, perlu untuk menguji efisiensinya. Sebagai tambahan, verifikasi desain diperlukan. Metode inspeksi yang tepat perlu untuk dipilih. Pertama seorang insinyur harus

melihat kontrol yang digunakan saat ini dari sistem, yang mencegah mode kegagalan agar tidak terjadi atau yang mendeteksi kegagalan sebelum mencapai pelanggan. Kemudian salah satu harus mengidentifikasi pengujian, analisis, pemantauan, dan teknik lain yang telah digunakan pada sistem yang serupa untuk mendeteksi kegagalan. Dari kontrol ini, seorang insinyur dapat mempelajari bagaimana sebuah kegagalan diidentifikasi atau dideteksi. Setiap kombinasi dari dua langkah sebelumnya mendapat nilai *detection* (D). Ini mengurutkan kemampuan dari uji dan inspeksi terjadwal untuk menghilangkan cacat atau mendeteksi mode kegagalan pada waktunya. Nilai D yang telah ditetapkan mengukur risiko yang kegagalan akan lolos deteksi. Nilai deteksi yang tinggi mengindikasikan bahwa kegagalan akan lolos deteksi mempunyai kesempatan yang tinggi, atau dengan kata lain, kesempatan dari deteksi rendah. Setelah tiga langkah dasar ini, *risk priority number* (RPN) dikalkulasi (Ambekar, Edlabadkar, & Shrouty, 2013).

4. Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN)

RPN tidak memainkan peran yang penting dalam pilihan dari tindakan terhadap mode kegagalan. RPN merupakan nilai ambang dalam evaluasi dari tindakan tersebut. Setelah peringkat *severity*, *occurrence*, dan deteksibilitas, RPN dapat dengan mudah dihitung dengan mengalikan tiga peringkat tersebut sesuai dengan persamaan 5.

$$RPN = S \times O \times D \quad (5)$$

Ini harus dilakukan untuk semua proses dan/atau desain. Sekalinya ini dilakukan, mudah untuk menentukan area yang membutuhkan perhatian paling besar. Mode kegagalan yang mempunyai RPN paling tinggi harus diberikan prioritas paling tinggi untuk tindakan perbaikan. Ini berarti tidak selalu mode kegagalan dengan nilai *severity* paling tinggi yang harus diperbaiki terlebih dahulu. Mungkin ada kegagalan yang kurang parah, tapi yang terjadi lebih sering dan kurang dapat terdeteksi. Setelah nilai tersebut dialokasikan, tindakan rekomendasi dengan target, tanggung jawab, dan tanggal implementasi dicatat. Tindakan tersebut dapat termasuk inspeksi spesifik, prosedur pengujian atau kualitas, desain ulang (seperti pemilihan

komponen yang baru), penambahan lebih banyak redundansi, dan pembatasan tekanan lingkungan atau jangkauan operasi. Sekalinya tindakan telah diimplementasikan di desain atau proses, RPN yang baru harus dicek untuk memastikan perbaikan. Pengujian ini biasanya berupa grafik agar lebih mudah dilihat. Kapanpun sebuah desain atau proses berubah, FMEA harus diperbarui (Ambekar, Edlabadkar, & Shrouy, 2013).

2.7 Failure Modes Effects and Criticality Analysis (FMECA)

FMECA adalah sebuah metodologi untuk mengidentifikasi dan menganalisis semua mode kegagalan potensial dari berbagai bagian dari sistem, efek kegagalan tersebut terhadap sistem, bagaimana menghindari kegagalan dan atau mengurangi dampak dari kegagalan sistem. FMECA pada awalnya dikembangkan oleh *national aeronautics and space administration* (NASA) yang bertujuan untuk meningkatkan dan memverifikasi keandalan *hardware* program antariksa MIL-STD-785 yang berjudul *reliability program for system and equipment development and production* mengulas prosedur untuk melakukan FMECA pada peralatan atau atau sistem. Adapun MIL-STD-1629 merupakan standar militer yang menetapkan persyaratan dan prosedur melakukan FMECA, untuk mengevaluasi dan mendokumentasikan dampak potensial dari setiap kegagalan fungsional atau hardware pada keberhasilan misi, keamanan personil dan sistem, pemeliharaan dan kinerja sistem.

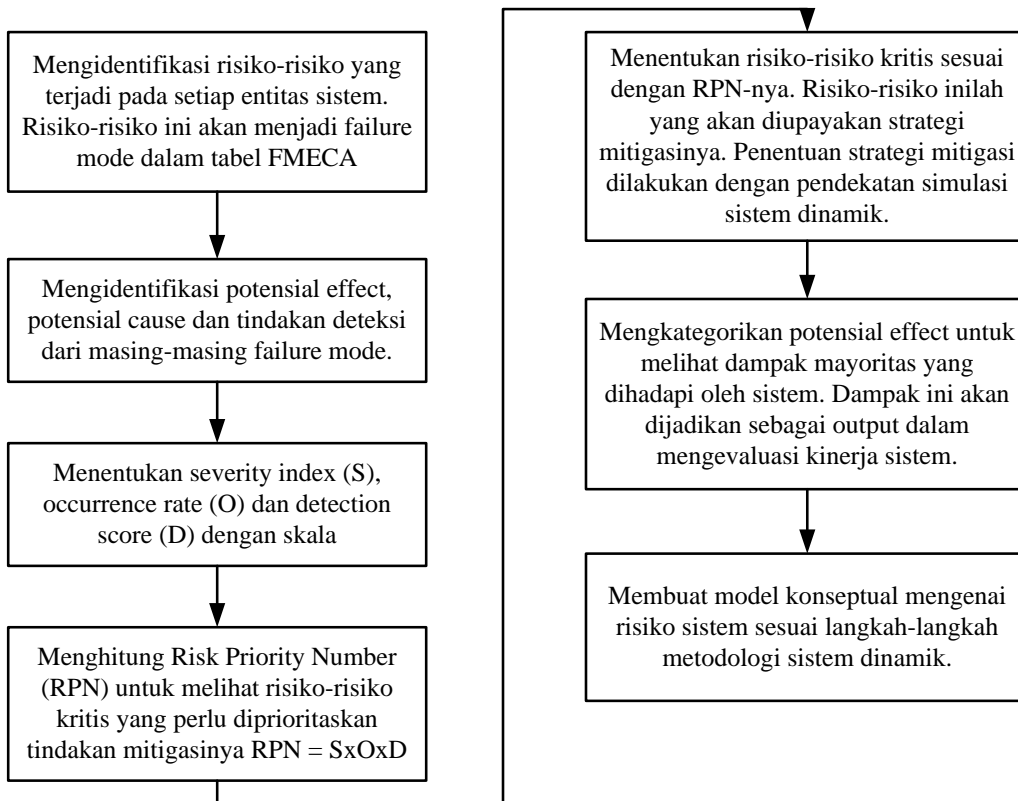
Menurut Rausand (2005), mendefinisikan FMECA adalah sebuah metodologi untuk mengidentifikasi dan menganalisis :

- Semua mode kegagalan potensial dari berbagai bagian dari sistem
- Efek kegagalan tersebut terhadap sistem bagaimana menghindar kegagalan dan atau mengurangi dampak dari kegagalan pada sistem.

Prosedur failure modes effects and criticality analysis (FMECA) secara garis besar dapat meliputi beberapa langkah secara sistematis diantaranya (Wang, Y.M., 2009) :

- a. Mengidentifikasi semua *failure modes* potensial dan penyebabnya
- b. Evaluasi dampak pada setiap *failure modes* dalam sistem

- c. Mengidentifikasi metode dalam mendeteksi kerusakan/kegagalan
- d. Mengidentifikasi pengukuran korektif untuk failure modes
- e. Akses frekuensi dan tingkat kepentingan dari kerusakan-kerusakan penting untuk analisa kritis, dimana dapat diaplikasikan



Gambar 2.12. Prosedur FMECA

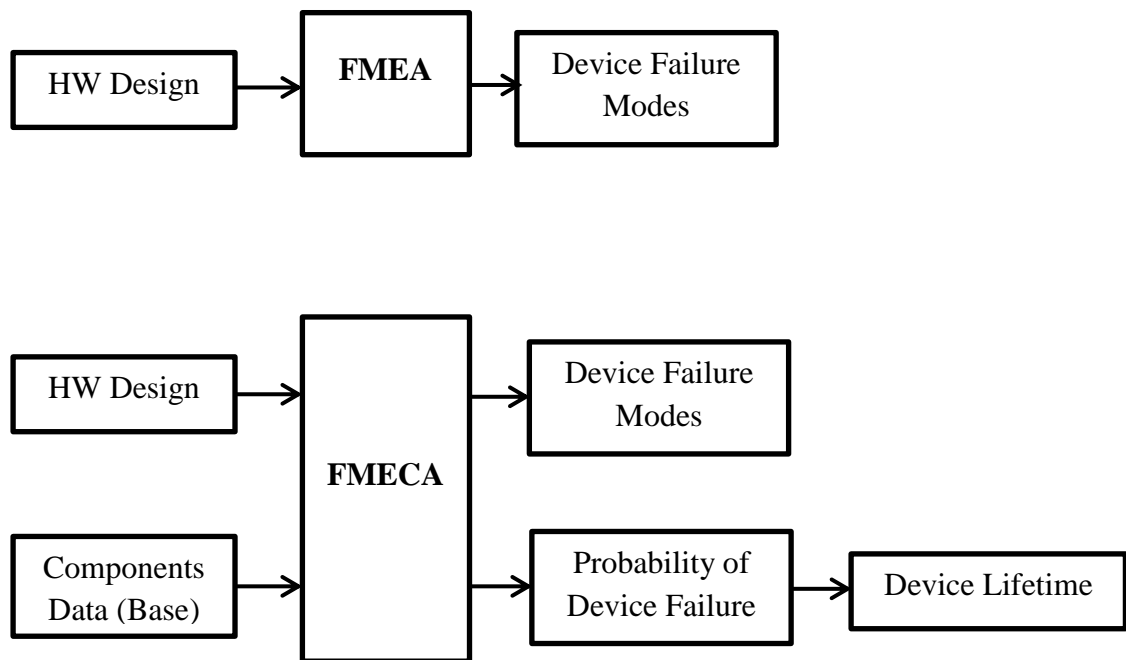
Sedangkan menurut Zafiropoulos dan Dialynas (2005), langkah-langkah dasar dalam FMECA konvensional meliputi :

- a. Mendefinisikan sistem, yang meliputi identifikasi fungsi internal dan *interface*, kinerja yang diharapkan dalam berbagai tingkatan kompleksitas, pembatasan sistem dan definisi kegagalan.
- b. Melakukan analisis fungsional, yang mengilustrasikan kegiatan operasi keterkaitan, dan ketergantungan entitas fungsional.
- c. Mengidentifikasi *failure mode* dan dampaknya, seluruh *failure mode* potensial dari item dan interface diidentifikasi dan dampaknya terhadap

fungsi langsung item dan sistem harus didefinisikan secara jelas.

- d. Menentukan *severity rating* (S) dari *failure mode*, yang mengacu kepada seberapa serius dampak atau efek dari failure mode.
- e. Menentukan *occurrence rating* (O) dari frekuensi terjadinya failure mode dan analisis kekritisan failure mode. Dengan asumsi bahwa komponen sistem cenderung akan mengalami kegagalan dalam berbagai cara, informasi ini digunakan untuk menggambarkan aspek yang paling kritis dari desain sistem.
- f. Menentukan *detection rating* (D) dari design control criteria terjadinya failure mode.
- g. *Risk Priority Number* (RPN) merupakan hasil perkalian bobot *severity*, *occurrence* dan *detection*. Hasil ini akan menentukan komponen kritis.

Beberapa ahli berpendapat bahwa faktor-faktor S, O dan D tidak mudah dievaluasi secara akurat. Upaya evaluasi dilakukan secara linguistic (Wang,, 2009). Rating berdasarkan severity adalah peringkat untuk mengestimasi dampak dari kegagalan kepada pembeli, dimana pembeli mungkin menjadi end user atau terdapat proses yang selanjutnya. Skala dari 1 sampai 10 digunakan dimana 1 tidak berdampak signifikan sedangkan 10 bisa sangat serius maupun berbahaya. Terdapat banyak organisasi mempunyai kebijakan untuk memilih hanya angka 9 atau 10 yang ditujukan agar proses dapat diperhatikan dengan baik dan kegagalan akan jarang terjadi. Occurrence merupakan angka prioritas untuk menyatakan kemungkinan ataupun perlakuan yang akan terjadi, maka dari itu ranking prioritas untuk mode kegagalan tetap harus dilakukan. Nilai ranking berdasarkan skala dari 1 sampai 10 dimana angka 1 mengindikasikan sulit untuk terjadinya kegagalan dan 10 hampir pasti terjadi kegagalan. Detection berarti mengestimasi angka untuk kemungkinan adanya pendeteksian dari kegagalan berdasar penyebab umum dari kemungkinan yang telah dijaga agar tidak terjadi. Skala 1 sampai 10 tetap digunakan. Tetapi 1 mengindikasikan sering terjadi dan 10 hampir tidak mungkin terjadi.



Gambar 2.13. Perbedaan FMEA dengan FMECA

Pada gambar 2.13 dijelaskan bahwa perbedaan mendasar antara FMEA dengan FMECA adalah keluaran dari FMECA yang mampu menilai kemungkinan kegagalan peralatan atau sistem. Kedua metode ini harus dimasukkan inputan berupa desain dari *hardware* peralatan atau sistem. Kemudian kedua metode tersebut menganalisa kegagalan untuk mampu mengeluarkan mode kegagalan yang terdeteksi. FMECA sendiri adalah perkembangan dari FMEA dengan menitikberatkan *critical analysis* bagi peralatan maka kemungkinan kegagalan dapat terdeteksi. FMECA mampu menilai prioritas peralatan atau sistem mana yang harus diperbaiki terlebih dahulu karena adanya nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* yang diwajibkan diisi nilainya. Lalu berdasar kemungkinan kegagalan tersebut, umur dari peralatan dapat dianalisa berdasar desain peralatan yang telah dimasukkan sebelumnya. FMECA adalah suatu metode yang digunakan untuk mengukur dan menganalisa keamanan dari suatu produk atau proses. Input dari FMECA adalah rencana, diagram, probabilitas dan frekuensi data berdasarkan data historis. Sedangkan outputnya adalah daftar *most critical risk* dan beberapa target dari mitigasi risiko.

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menunjukkan posisi penelitian yang ditulis oleh penulis dan sebagai dasar penelitian ini dilakukan. Berikut ini beberapa penelitian terdahulu yang berhubungan dan dianggap relevan dengan analisa risiko pada proses start turbin gas serta menggunakan metode *failure mode effect analysis* dalam proses mitigasi risiko gangguan yang terjadi pada proses suatu sistem. Penelitian yang dilakukan oleh Fauzi (2019) melakukan analisa gangguan yang sering terjadi pada penyulang, gardu induk dan gardu distribusi dengan metode FMEA. Analisa dilakukan berdasar dari nilai severity dan occurrence saja. Dengan bantuan peta risiko didapatkan gangguan yang bernilai ekstrem yaitu Gangguan Proyek/Warga/Baliho, Gangguan Kabel Tanah, Gangguan Konstruksi SUTM, dan Gangguan Proteksi sehingga gangguan-gangguan tersebut yang nantinya dilakukan mitigasi. Dari penelitian tersebut tujuan yang ingin dilakukan sama dengan penelitian ini namun analisa masih dianggap kurang. Pada dasarnya, terdapat banyak metode untuk melakukan analisa dan mitigasi risiko, seperti yang dilakukan oleh Kristianingsih (2013) dan Sulanjari (2016). Keduanya menggunakan metode *Hazard And Operability Analysis* (HAZOP). Metode ini melakukan analisa kegagalan dari *node* (titik) yang telah ditentukan sebelumnya. Dari titik tersebut akan diuraikan komponen penyusunnya dan dianalisa risiko kegagalannya. Metode ini sesuai jika digunakan untuk menganalisa suatu komponen atau sistem akan tetapi kurang tepat jika digunakan untuk menganalisa proses. Dalam proses start turbin gas terdapat beberapa sistem yang berperan dan saling berhubungan sehingga diperlukan metode yang lebih kompleks dengan adanya identifikasi moda kegagalan, analisa, pembobotan risiko dan mitigasinya seperti yang ada pada metode FMEA. Penelitian ini dilakukan dibidang pembangkitan seperti yang dilakukan oleh Feili (2013) di pembangkit listrik tenaga panas bumi, Fitriyan (2016) di pembangkit listrik tenaga uap dan Anugrah (2017) di pembangkit listrik tenaga uap sedangkan penelitian ini pada pembangkit listrik tenaga gas uap berfokus pada turbin gas. Perbedaan mendasar penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah obyek penelitian. Dari tiga peneliti sebelumnya menganalisa tentang potensi kegagalan saat unit pembangkit sedang beroperasi. Untuk unit yang memiliki *maturity level* tinggi kelainan saat

beroperasi dapat diketahui dari *patrol check*, sensor dan alarm sedangkan untuk unit dengan *maturity level* rendah atau unit berkapasitas kecil sistem kontrol dan deteksi dini kegagalan masih kurang baik. Akan tetapi kegagalan dalam proses start pada pembangkit menjadi suatu tantangan dan misteri yang pasti dialami oleh semua pembangkit baik yang memiliki *maturity level* rendah ataupun tinggi. Untuk itu dirasa penting untuk melakukan analisa gagal start pada bidang pembangkitan.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Refrensi	Judul Penelitian	Metode	Deskripsi Penelitian
1	Fauzi (2019)	Evaluasi jaringan distribusi listrik dengan metode <i>failure mode effect analysis</i> di PT PLN (Persero) area surabaya selatan	FMEA	Menganalisa gangguan yang sering terjadi pada penyulang, gardu induk dan gardu distribusi dengan metode FMEA untuk mengevaluasi tingkat resiko yang paling besar dan juga untuk melakukan pemetaan risiko. Hasilnya diberikan langkah mitigasi untuk segera diambil tindakan pencegahan pada gangguan-gangguan tersebut.
2	Kristianingsih (2013)	Analisis <i>safety system</i> dan manajemen risiko pada <i>Steam Boiler</i> PLTU di Unit 5 Pembangkitan Paiton, PT. YTL	HAZOP	Melakukan analisa bahaya dan sistem keamanan pada <i>boiler</i> dengan metode <i>Hazard and Operability Analysis</i> (HAZOP) sehingga komponen yang memiliki kriteria risiko <i>extreme</i> dapat diturunkan dengan beberapa upaya seperti perawatan, kalibrasi rutin dan membuat sistem <i>redundant</i> .
3	Feili (2013)	<i>Risk analysis of geothermal power plants using failure modes and effects analysis (FMEA) technique</i>	FMEA	Penelitian tentang cara untuk meningkatkan keandalan dari pembangkit listrik tenaga panas bumi. Dengan melakukan analisa FMEA

Dilanjutkan ke halaman berikutnya

Tabel 2.3 (lanjutan)

No	Refrensi	Judul Penelitian	Metode	Deskripsi Penelitian
				didapatkan 10 besar potensi kegagalan dari hasil perhitungan nilai RPN dan dilakukan analisa serta solusi untuk menurunkan potensi risikonya.
4	Fitriyan (2016)	Analisis risiko kerusakan peralatan dengan menggunakan metode FMEA untuk meningkatkan kinerja pemeliharaan prediktif pada pembangkit listrik	FMEA	Metode FMEA digunakan untuk menentukan prioritas pemeliharaan peralatan pembangkit berdasarkan nilai RPN agar dapat mendukung keandalan pembangkit. Analisa FMEA didasarkan pada potensi kerusakan masing-masing peralatan pada PLTU berkapasitas 7 – 16,5 MW.
5	Anugrah (2017)	Analisis risiko operasional di PLTU Gresik dengan metode <i>Multi Attribute Failure Mode Analysis</i> (MAFMA)	AHP, FMEA, MAFMA	Menganalisa potensi gangguan yang terjadi selama operasional pembangkit PLTU Gresik. Penentuan nilai SOD (<i>Severity, Occurrence dan Detection</i>) dengan AHP (<i>Analytical Hierarchy Process</i>) dan FMEA kemudian memasukkan kriteria <i>cost</i> (biaya) untuk diolah lebih lanjut menggunakan metode MAFMA. Dihasilkan 26 potensi risiko namun belum disertai mitigasi

Dilanjutkan ke halaman berikutnya

Tabel 2.3 (lanjutan)

No	Refrensi	Judul Penelitian	Metode	Deskripsi Penelitian
				penanganannya.
6	Sulanjari (2016)	Analisis HAZOP (<i>Hazard And Operability Analysis</i>) dan manajemen risiko pada <i>steam drum</i> PLTU unit 4 di PT PJB UP Gresik	HAZOP	Melakukan analisa bahaya yang terjadi pada <i>steam drum</i> dan menerapkan manajemen risiko dalam menghadapi bahaya risiko yang terjadi. Hasilnya diterapkan <i>emergency response</i> pada <i>steam drum</i> untuk meminimalisir dampak yang terjadi.
7	El-Dogdog (2016)	<i>Implementation of FMECA and Fishbone Techniques in Reliability Centred Maintenance Planning</i>	<i>Fishbone Diagram, FMECA, RCM</i>	Menggunakan FMECA dan <i>fishbone diagram</i> untuk membantu tim pemeliharaan di pabrik kaca lampu Toshiba dan mengurangi kemungkinan kegagalan yang dapat menyebabkan cacat, dan mengoptimalkan upaya pemeliharaan dengan menyarankan tindakan pencegahan yang efektif. FMEA juga membantu meningkatkan keandalan dan menemukan kegagalan sebelum terjadi dan melakukan tindakan pencegahan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang terstruktur diperlukan pada sebuah penelitian, yang berisi langkah-langkah dan aturan-aturan tertentu guna memperoleh suatu hasil penelitian. Pada bab 3 ini akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang akan dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, tahap analisa data dan tahap penarikan kesimpulan dari penelitian ini seperti yang tergambar pada gambar 3.1.

3.1 Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data akan dilakukan pengambilan data primer dengan *brainstorming* dengan *expert* bidang operasi, pemeliharaan dan *engineering* dan data sekunder berupa data historikal laporan gagal start unit turbin gas di perusahaan. Pada tahap pengumpulan data ini terdiri dari dua tahap yaitu identifikasi sumber gagal start dan identifikasi kegagalan proses start.

3.1.1 Identifikasi Sumber Gagal Start

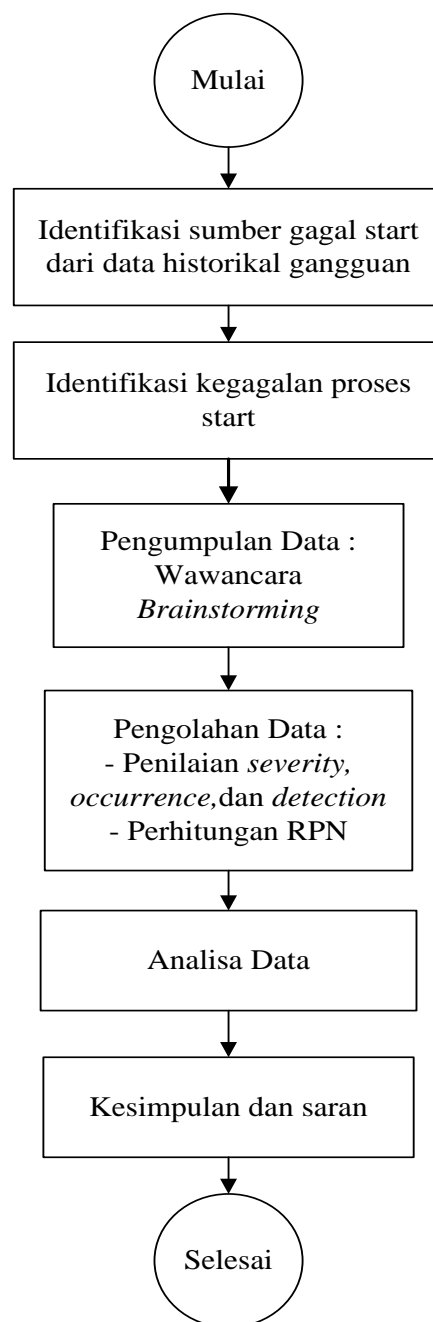
Tahap awal dalam penelitian ini adalah melakukan identifikasi permasalahan gagal start pada turbin gas. Dilakukan identifikasi awal dari data sekunder historikal data gangguan turbin gas tahun 2017 dan 2018. Kemudian dari data sekunder tersebut dilakukan wawancara dengan *expert* bidang operasi untuk diklasifikasikan gangguan berdasarkan sumbernya. Dari hasil wawancara didapatkan bahwa sumber permasalahan gagal start berasal dari dua sumber, yaitu gangguan yang bersumber dari internal dan eksternal seperti pada lampiran 1 dan 2. Gangguan internal berasal dari peralatan maupun sistem peralatan pada turbin gas. Sedangkan gangguan eksternal berasal dari sistem diluar unit turbin gas.

3.1.2 Identifikasi Kegagalan Proses Start

Tahap berikutnya dilakukan identifikasi gagal start yang bersumber dari internal berdasarkan proses start. Dilakukan wawancara dan *brainstorming*

dengan pihak *engineering*, pemeliharaan dan operasi untuk mengetahui penyebab gangguan. Selain itu juga untuk mengetahui gangguan tersebut dalam proses start yang mana. Sehingga nantinya didapatkan moda-moda kegagalan dan fungsi kegagalan berdasarkan pada urutan proses start.

Selain itu untuk menunjang data primer tersebut, peneliti akan melakukan studi literatur terkait proses start turbin gas, penyebab gagal start pada turbin gas, pemeliharaan, teori FMECA dan aplikasi FMECA dalam mitigasi risiko.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Beberapa data yang dibutuhkan yaitu :

1. Data proses start unit turbin gas mulai dari awal sampai siap untuk *synchronize*. Data ini didapatkan dengan cara wawancara kepada *expert* bidang operasi dan pengamatan langsung proses start turbin gas. Setiap langkah dalam proses start akan dicatat waktunya.
2. Data peralatan dan sistem yang bekerja pada proses start turbin gas. Data ini didapatkan dengan melakukan wawancara kepada *expert* bidang operasi untuk mengetahui peralatan-peralatan dan sistem apa yang bekerja pada setiap langkah pada proses start turbin gas. Hal ini diperlukan untuk dapat memperkirakan sumber-sumber kegagalan pada proses start turbin gas.
3. Data penyebab gagal start pada unit turbin gas. Data ini didapatkan dengan melakukan wawancara dengan *expert* bidang operasi dan pemeliharaan terkait langkah-langkah mana saja pada proses start yang pernah mengalami gangguan sehingga mengakibatkan gagal start pada unit turbin gas.
4. Data penanganan gangguan gagal start pada unit turbin gas. Data ini didapatkan dengan melakukan wawancara dengan *expert* bidang pemeliharaan dan *engineering* terkait penanganan-penanganan yang dilakukan saat gagal start terjadi sesuai dengan prosedur kerja dan pengalaman lapangan. Data yang dikumpulkan berupa peralatan atau sistem apa yang mengalami gangguan, bagaimana cara penanganan dan lama waktu penanganan.

3.2 Pengolahan Data

Dari data yang sudah didapatkan, dilakukan pengolahan data dengan cara melakukan penilaian risiko gagal start menggunakan metode FMECA. Pada tahap ini akan dilakukan penilaian terhadap gangguan yang mengakibatkan gagal start pada unit turbin gas. Penilaian sesuai dengan prosedur FMECA yaitu penentuan *severity*, *occurrence*, dan *detection*.

- Nilai *severity* merupakan penilaian seberapa besar kemungkinan terjadinya dampak yang timbul akibat kegagalan yang terjadi. De Souza (2012)

memberikan penilaian dampak berdasarkan pada kerusakan atau penurunan fasilitas pada sistem dengan tingkat biaya yang dikeluarkan dan lama waktu perbaikan. Kriteria *severity*-nya seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kategori penilaian *severity*

Skor	Kriteria	Deskripsi
4	Malapetaka	Kerusakan atau penurunan instalasi yang tidak bisa diperbaiki atau butuh perbaikan dengan waktu yang lama
3	Mayor	Kerusakan atau penurunan instalasi mayor dengan biaya perbaikan
2	Minor	Kerusakan atau penurunan instalasi kecil dengan biaya perbaikan murah
1	Tidak signifikan	Tidak signifikan menimbulkan kerugian pada instalasi

Dari literatur terdapat tiga indikator yang digunakan untuk menilai tingkat keparahan (*severity*) yaitu tingkat kerusakan, waktu perbaikan dan biaya perbaikan. Kemudian dilakukan penyesuaian dengan kondisi yang ada ditempat penelitian. Untuk lama waktu perbaikan dibagi menjadi dua yaitu lama waktu identifikasi dan lama waktu perbaikan dalam hal ini penanganan perbaikan hingga selesai. Dari keterangan pihak *expert*, proses start turbin gas membutuhkan waktu paling lama satu jam. Sehingga apabila melebihi satu jam, pelanggan akan menganggap proses start turbin gas mengalami masalah dan diberikan status “*Start failure*”. Lama waktu gagal start dihitung dari saat pemberian status *Start failure* oleh pelanggan hingga turbin siap untuk masuk kejarangan pada 3000 RPM. Sedangkan rata-rata perbaikan untuk kerusakan internal adalah 2,925 jam atau mendekati 3 jam dari data gagal start tahun 2017 dan 2018. Untuk waktu

penanganan tercepat selama 30 menit sedangkan waktu terlama selama 7 jam 29 menit.

Faktor *severity* berikutnya adalah biaya perbaikan. Biaya perbaikan didasarkan pada harga penggantian peralatan yang rusak, biaya perbaikan dan biaya lembur apabila lama waktu perbaikan melebihi jam kerja. Dari keterangan *expert*, didapatkan untuk biaya terkecil kurang lebih 1 juta rupiah untuk penggantian *switch* dan yang paling mahal adalah penggantian igniter probe yang mencapai sekitar 350 juta. Kemudian penilaian juga dinilai dari aspek K3 dan lingkungan. Penilaian ini diambil dari referensi Pujiono (2013) yang membuat kriteria dampak di bidang industri kertas. Kemudian dilakukan penyesuaian-penyesuaian sesuai dengan di industri pembangkit dan ditambahkan kriteria KPI (*Key Performance Indicator*) dari perusahaan yaitu EAF dan citra perusahaan yang dipengaruhi oleh kepuasan pelanggan eksternal. Sehingga tabel kategori untuk *severity* menjadi seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Kategori *severity*

Rangking	Dampak (<i>Severity</i>)	Deskripsi kualitatif
1	Sangat rendah	Kerusakan membutuhkan waktu identifikasi yang cepat dan lama waktu perbaikan 0-30 menit. Biaya perbaikan 0-10 juta. Kerusakan tidak membahayakan keselamatan manusia dan lingkungan hidup. Kerusakan dapat menurunkan EAF < 0,05 dan tidak berdampak pada citra perusahaan.
2	Rendah	Kerusakan membutuhkan waktu identifikasi yang cepat dan lama waktu perbaikan 31-60 menit. Biaya perbaikan 10-30 juta. Kerusakan dapat menimbulkan luka ringan dan pencemaran mendapat teguran dari KLH. Kerusakan dapat menurunkan EAF 0,06 – 0,1 dan sedikit berdampak pada citra perusahaan.
3	Moderat	Kerusakan membutuhkan waktu identifikasi yang cukup lama dan waktu perbaikan 1 sampai 2 jam. Biaya perbaikan 30-60 juta. Kerusakan dapat menimbulkan luka sedang (rawat inap) dan pencemaran mendapat peringatan dari KLH. Kerusakan dapat menurunkan EAF 0,1 – 0,5 dan mendapat complain dari pihak lain.
4	Tinggi	Kerusakan membutuhkan waktu identifikasi yang lama dan waktu perbaikan 2 sampai 12 jam. Biaya perbaikan

dilanjutkan kehalaman berikutnya

Tabel 3.2 (lanjutan)

Rangking	Dampak (<i>Severity</i>)	Deskripsi kualitatif
		60-100 juta. Kerusakan dapat menimbulkan luka berat dan pencemaran mendapat peringatan keras/denda dari KLH. Kerusakan dapat menurunkan EAF 0,5 – 1 dan mendapat banyak complain dari pihak lain sehingga berpengaruh pada proses bisnis perusahaan.
5	Sangat tinggi	Kerusakan membutuhkan waktu identifikasi yang lama dan waktu perbaikan lebih dari 12 jam. Biaya perbaikan lebih dari 100 juta. Kerusakan dapat menimbulkan korban jiwa dan pencemaran mendapatkan larangan beroperasi dari KLH. Kerusakan dapat menurunkan EAF > 1 dan mendapat banyak complain dari pihak lain sehingga menjadi sorotan media nasional.

- Nilai *occurrence* merupakan penilaian untuk mengetahui seberapa sering kemungkinan suatu kegagalan terjadi. Panchal (2017) dalam penelitiannya di pembangkit termal menyatakan bahwa nilai *occurrence* berdasarkan nilai *Mean Time Between Failure* (MTBF) nya. Sehingga tabel penilaian *occurrence* seperti pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Kategori penilaian *occurrence*

Skor	Kriteria	Deskripsi
9-10	Sangat tinggi	Nilai MTBF >1
7-8	Tinggi	Nilai MTBF 0,5 – 1
4-6	Moderat	Nilai MTBF 0,1 – 0,5
2-3	Rendah	Nilai MTBF 0,01 – 0,1
1	Sangat rendah	Nilai MTBF <0,01

Dari tabel kriteria tersebut, kemudian dilakukan penyesuaian dengan kondisi yang ada ditempat penelitian. Selain dari faktor MTBF, juga masukkan kriteria jumlah komponen yang terlibat dan kualitas komponen. Maksud dari jumlah komponen yang terlibat adalah seberapa banyak komponen penyusun peralatan atau komponen lain yang terdampak akibat kerusakan yang terjadi. Ini untuk menilai pengaruh moda kegagalan terhadap komponen-komponen lainnya atau sistem yang berkaitan dengan peralatan tersebut. Sehingga dapat dipetakan apakah kerusakan yang

terjadi dipengaruhi oleh kerusakan peralatan lain ataukah termasuk moda kegagalan tersendiri. Sedangkan untuk kualitas komponen maksudnya adalah apakah peralatan yang mengalami kegagalan sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh perusahaan sebagai pembeli. Jika spesifikasi komponen melampaui spesifikasi yang dipersyaratkan, maka dikatakan bahwa kualitas diatas standar. Apabila spesifikasi peralatan sesuai dengan yang disyaratkan, maka kualitas komponen sesuai standar. Sedangkan apabila kualitas komponen dibawah toleransi dari standar yang ditetapkan oleh perusahaan maka komponen tersebut dikatakan dibawah standar. Yang ingin dicapai dari penilaian ini adalah bagaimana pengaruh kualitas komponen terhadap tingkat kejadian moda kegagalan selama proses start turbin gas. Seharusnya komponen dengan kualitas diatas standar kemungkinan untuk terjadi moda kegagalan lebih kecil daripada moda kegagalan yang menggunakan komponen dibawah standar. Sehingga tabel kategori untuk *occurrence* menjadi seperti pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Kategori *occurrence*

Rangking	Kejadian (<i>Occurrence</i>)	Deskripsi kualitatif
1	Sangat rendah	Kerusakan terjadi 1 kali diatas 10 tahun terakhir, hanya pada 1 komponen yang rusak dengan kualitas komponen diatas standar
2	Rendah	Kerusakan terjadi 1—5 kali dalam 10 tahun terakhir, melibatkan 2—3 komponen yang rusak dengan kualitas komponen diatas standar
3	Moderat	Kerusakan terjadi 1—5 kali dalam 7 tahun terakhir, melibatkan 3—5 komponen yang rusak dengan kualitas komponen standar
4	Tinggi	Kerusakan terjadi 1—5 kali dalam 5 tahun terakhir, melibatkan sebagian besar komponen penyusun sistem yang rusak dengan kualitas komponen dibawah standar
5	Sangat tinggi	Kerusakan terjadi lebih dari 1 kali dalam 1 tahun terakhir, melibatkan semua komponen penyusun sistem yang rusak dengan kualitas komponen dibawah standar

- Nilai *Detection* bertujuan untuk menilai seberapa besar kemungkinan gangguan pada unit turbin gas yang dapat menyebabkan gagal start dapat

dideteksi dengan maksimal. Panchal (2017) mendefinisikan *detection* sebagai peluang terdeteksinya kegagalan oleh faktor-faktor :

- a. Kemampuan operator dalam mendeteksi kegagalan dalam pengamatannya
- b. Terdeteksi saat dilakukan inspeksi periodic
- c. Terdeteksi karena ada bantuan peralatan dari sistem kontrol, alarm atau alat sensor.

Sehingga tabel kriteria *detection* seperti pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Kategori penilaian *detection*

Skor	Kriteria	Deskripsi
9-10	Sangat tinggi	Peluang tidak terdeteksi 75%-100%
7-8	Tinggi	Peluang tidak terdeteksi 56%-75%
4-6	Moderat	Peluang tidak terdeteksi 26%-55%
2-3	Rendah	Peluang tidak terdeteksi 6%-25%
1	Sangat rendah	Peluang tidak terdeteksi 0-5%

Peluang terdeteksi dapat dikatakan sebagai indikasi. Hal ini karena dari definisi *detection* oleh Panchal (2017) pada poin a dan poin c outputnya adalah indikasi. Dari tabel kriteria tersebut, kemudian dilakukan penyesuaian dengan kondisi yang ada ditempat penelitian dengan menterjemahkan peluang deteksi sebagai indikasi ditambahkan dengan indikator lokasi dan sistem *back-up*. Indikasi gangguan dapat berupa suara alarm dan atau lampu peringatan. Indikasi gangguan ini terpasang di area instalasi dan atau di *control room*. Sehingga untuk moda kegagalan yang memiliki indikasi hanya di area instalasi akan lebih sulit terdeteksi peluang kegagalannya daripada yang terdapat di area instalasi dan control room. Untuk aspek parameter peralatan, beberapa peralatan terpasang indikator parameter peralatan, yang bertujuan untuk mengetahui besaran terukur pada peralatan tersebut. Parameter tersebut dapat dijadikan acuan apakah peralatan dalam kondisi normal atau tidak. Apabila parameter menunjukkan nilai yang kurang dari atau melebihi batasan operasi, maka

peralatan tersebut dalam kondisi abnormal. Namun sayangnya tidak semua peralatan memiliki indikasi parameter dan masuk dalam *checklist* patrol harian. Jika parameter peralatan tersebut masuk dalam *checklist* patrol harian setidaknya dalam sehari dilakukan pengamatan sebanyak Sembilan kali sehingga memperkecil terjadinya moda kegagalan pada peralatan tersebut yang dapat menyebabkan gagal start. Sedangkan untuk peralatan yang tidak memiliki indikator parameter tidak dimasukkan dalam *checklist* patrol harian sehingga lebih jarang dilakukan pengamatan. Hal ini menyebabkan tidak dapat dilakukan deteksi dini terhadap kelainan peralatan. Faktor lokasi peralatan juga berpengaruh terhadap deteksi moda kegagalan. Karena peralatan yang letaknya sulit untuk dijangkau tidak terlihat oleh operator produksi sehingga sulit dilakukan deteksi abnormal pada peralatan tersebut. Aspek yang terakhir adalah sistem *back-up* peralatan, artinya apakah suatu peralatan atau sistem tersebut memiliki pengganti atau *back-up* saat terjadi kegagalan dalam proses operasinya. Apabila sistem *back-up* peralatan bekerja maka dengan mudah dapat diketahui kegagalan dari peralatan tersebut. Begitu juga sebaliknya, apabila peralatan tidak memiliki sistem *back-up* maka kegagalan lebih sulit dideteksi dan juga menimbulkan potensi kerugian yang lebih besar. Sehingga tabel kategori untuk *detection* menjadi seperti pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Kategori *detection*

Rangking	Deteksi (<i>Detection</i>)	Deskripsi kualitatif
1	Sangat rendah	Indikasi gangguan terdapat di control room dan area lokal. Parameter kerja sistem terdapat dalam <i>checklist</i> patrol harian. Indikator dan peralatan pada lokasi yang mudah dijumpai. Terdapat sistem <i>back-up</i> apabila terjadi gangguan
2	Rendah	Indikasi gangguan terdapat di control room dan area lokal. Indikator dan peralatan pada lokasi yang mudah dijumpai. Terdapat sistem <i>back-up</i> apabila terjadi gangguan
3	Moderat	Indikasi gangguan terdapat di control room dan area lokal. Indikator dan peralatan pada lokasi yang mudah dijumpai.

dilanjutkan kehalaman berikutnya

Tabel 3.6 (lanjutan)

Rangking	Deteksi (<i>Detection</i>)	Deskripsi kualitatif
4	Tinggi	Indikasi gangguan terdapat di control room atau area lokal namun indikator dan peralatan pada lokasi yang sulit dijumpai
5	Sangat tinggi	Tidak terdapat indikasi gangguan

Dari hasil penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection*, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan nilai RPN (*Risk Priority Number*) untuk mengetahui moda kegagalan tertinggi yang perlu dilakukan mitigasi risiko.

3.3 Analisa Data

Setelah data diolah pada pengolahan data, data tersebut kemudian dianalisa. Pada proses analisa data ini, peneliti melakukan kajian mitigasi risiko dengan nilai RPN tertinggi. Keputusan mengenai bagaimana memperbaiki suatu operasi didasari oleh *risk priority number* (RPN) di FMECA. Ini merupakan metode yang sangat efektif dan berguna yang sering diadopsi untuk penilaian risiko. Pada FMEA, RPN digunakan untuk membimbing penilaian risiko (Xiao, Huang, Li, He, & Jin, 2011). Tidak ada standar yang mendeskripsikan mana jumlah RPN yang memenuhi untuk ditambahkan ke proses manajemen risiko dan mana yang tidak (Mulcahy, 2010, p. 105).

Apabila nilai RPN tinggi, maka risiko tersebut harus ditindaklanjuti, sehingga tidak terulang lagi. Penanganan risiko dengan strategi respon risiko seperti pencegahan, mengurangi, dan dokumentasi tindakan yang akan diambil. Kemudian dilakukan *critical analysis* sesuai dengan metode FMECA.

Dari respon risiko tertinggi setelah dianalisa menggunakan FMECA akan dicari mitigasi risikonya dengan melakukan *brainstorming* dengan *expert* dibidang terkait.

3.4 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Setelah peneliti melakukan analisa data, tahap berikutnya adalah penyusunan kesimpulan dan saran dari hasil analisa data. Kesimpulan dalam penelitian ini akan menjawab tujuan penelitian. Kemudian berdasarkan penelitian

ini akan diberikan saran kepada perusahaan terkait dan penelitian yang akan dilaksanakan selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL PENELITIAN

4.1 Identifikasi Risiko

Pada penelitian ini, tahap awal untuk pengambilan data adalah dilakukan identifikasi risiko kegagalan pada proses start turbin gas di unit PLTGU PT. X. Hal ini bertujuan untuk mempermudah penilaian risiko gagal start pada turbin gas secara keseluruhan. Identifikasi risiko ini mengacu pada kelainan-kelainan yang pernah atau mungkin terjadi selama proses start turbin gas. Pada bagian ini melibatkan empat responden dari *expert* dibidang operasi untuk menyusun daftar risiko sesuai dengan pengalaman yang dialami oleh *expert* dalam mengoperasikan unit turbin gas PLTGU. Dari hasil diskusi dengan *expert* tersebut didapatkan 75 moda kegagalan seperti pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Moda kegagalan pada proses start turbin gas

Proses	Fungsi	No.	Moda kegagalan
Semua persyaratan <i>auxiliary</i> harus terpenuhi	Untuk persiapan start	1	Status otomatis tidak muncul (<i>annunciator</i>)
Persyaratan bahan bakar terpenuhi	Untuk kesiapan bahan bakar	2	Tekanan bahan bakar tidak terpenuhi
		3	Indikator tekanan tidak terbaca di sistem
IGV posisi <i>close</i>	Persyaratan start dan menghindari udara luar masuk kompresor	4	Pembacaan posisi IGV tidak aktual
		5	Sinyal <i>close</i> tidak terbaca sistem
		6	IGV tidak bisa <i>open-close</i>
Tekanan lube oil normal	Pelumas pada <i>bearing</i>	7	Tekanan minyak berkurang
		8	Tekanan minyak hilang
		9	sinyal pengukuran tekanan minyak tidak terbaca sistem
<i>Jacking oil pump</i> berputar	Untuk mengangkat rotor turbin	10	pompa tidak menghasilkan tekanan
		11	Tekanan pompa berkurang
		12	indikator tekanan tidak terbaca sistem
		13	temperature kerja minyak tinggi (trip 75°C)
Sistem <i>turning</i> berjalan	untuk memutar turbin 3 RPM (kondisi <i>turning</i>)	14	<i>turning</i> motor tidak berputar
		15	sistem <i>turning</i> abnormal

dilanjutkan kehalaman berikutnya

Tabel 4.1 (lanjutan)

Proses	Fungsi	No.	Moda kegagalan
Tekanan udara instrument terpenuhi >5kg/cm ²	mensuplai kebutuhan peralatan pneumatik	16	kompresor udara instrument trip
		17	suplai udara instrument kurang
		18	tekanan aktual tidak terbaca sistem
CPU DDC (<i>sequencer</i> dan <i>governor</i>) normal	sebagai sistem kontrol dan komunikasi peralatan turbin gas	19	CPU DDC mati
		20	Masalah pada beberapa peralatan dan sistem
<i>Bleed valve</i> kondisi terbuka	Persyaratan start dan membuang udara sebelum proses pembakaran	21	<i>Valve</i> terbuka sebagian
		22	kondisi pembukaan <i>valve</i> tidak terbaca sistem
		23	<i>valve</i> tidak bisa <i>open-close</i>
<i>Igniter</i> kondisi normal	Untuk pemantik saat proses pembakaran	24	<i>Igniter</i> tidak bisa memantik
Tidak muncul sinyal 2/3 <i>over speed trip</i> (OST)	Pengaman turbin	25	Muncul sinyal palsu OST
		26	minyak OST terbuang
Klik <i>push button auto start</i>	Memberikan perintah start	27	Tombol sudah di klik, tapi tidak mau start
<i>Pony motor</i> beroperasi	Untuk start awal	28	<i>pony motor</i> abnormal
ACOP beroperasi	Untuk Electric Hydraulic Control	29	ACOP tidak beroperasi
		30	Tekanan ACOP rendah
<i>Starting motor</i> beroperasi	Untuk start awal	31	<i>Starting motor</i> trip
		32	<i>Starting motor</i> tidak mau run
<i>Package vent fan</i> beroperasi	Untuk pengkondisian ruangan enclosure turbin	33	<i>Package vent fan</i> trip
		34	<i>Package vent fan</i> abnormal
<i>Torque converter</i> beroperasi	Untuk start awal	35	<i>Torque converter</i> tidak beroperasi
		36	Tekanan <i>Torque converter</i> rendah
		37	Temperatur fluida <i>Torque converter</i> naik
		38	Beban kerja <i>Torque converter</i> naik
IGV <i>Open 22°</i>	Untuk suplai udara pembakaran	39	pembukaan aktual tidak terbaca sistem
		40	Perintah pembukaan tidak sampai
		41	tidak bisa <i>open-close</i>
<i>Control valve</i> bahan bakar terbuka	Persiapan proses pembakaran	42	<i>valve</i> bahan bakar tidak terbuka, tekanan <i>minyak kontrol</i> <70kg/cm ²
		43	syarat pembukaan dari minyak kontrol tidak sampai
		44	Pembacaan <i>pressure minyak kontrol</i> tidak terbaca sistem
		45	Pembukaan <i>valve</i> bahan bakar tidak terbaca sistem
		46	<i>valve</i> bahan bakar tidak terbuka

dilanjutkan kehalaman berikutnya

Tabel 4.1 (lanjutan)

Proses	Fungsi	No.	Moda kegagalan
		47	<i>Valve</i> kembali menutup
<i>AC turning OFF</i>	Turbin menuju putaran lebih tinggi	48	<i>AC turning</i> tidak OFF
<i>Fuel Vent Valve Close</i>	Menjaga tekanan bahan bakar	49	<i>valve</i> tidak bisa <i>close</i>
<i>Igniter menyala</i>	Untuk pemantik api pembakaran	50	<i>Igniter</i> tidak menyala
Indikator FLAME ON menyala	Indikasi terjadi pembakaran dalam <i>combuster</i>	51	<i>Igniter abnormal</i>
		52	<i>valve</i> bahan bakar tiba-tiba <i>close</i>
		53	Tidak terjadi pembakaran
		54	Pembakaran tidak terdeteksi sistem
Bladepath normal	Memantau persebaran panas pada turbin seimbang sebagai pengaman turbin	55	Terdapat deviasi pada titik-titik bladepath
		56	temperatur gas panas tidak terbaca sistem
		57	Blade path temp. mencapai 700°C
Vibrasi normal	Pengaman turbin	58	Vibrasi tinggi dan turbin trip
		59	Vibrasi aktual tidak terbaca sistem
<i>Starting device stop</i>	Mengamankan peralatan starting dari putaran berlebih	60	<i>Starting device</i> masih beroperasi
IGV ke posisi 0°	Untuk suplai udara pembakaran	61	pembukaan aktual tidak terbaca sistem
		62	Perintah pembukaan tidak sampai
		63	tidak bisa <i>open-close</i>
HP dan LP Bleed <i>valve close</i>	Menghindari udara untuk proses pembakaran terbuang	64	<i>Valve</i> terbuka sebagian
		65	kondisi pembukaan <i>valve</i> tidak terbaca sistem
		66	<i>valve</i> tidak bisa <i>open-close</i>
Vibrasi normal	Pengaman turbin	67	Vibrasi tinggi dan turbin trip
		68	Vibrasi aktual tidak terbaca sistem
Bladepath normal	Memantau persebaran panas pada turbin seimbang sebagai pengaman turbin	69	Terdapat deviasi pada titik-titik bladepath
		70	temperatur gas panas tidak terbaca sistem
		71	Blade path temp. mencapai 700°C
Sistem elektrik normal	Untuk kebutuhan generator	72	Generator tidak bisa <i>sychrone</i>
Tekanan <i>exhaust gas duct</i> normal	Pengaman turbin dari <i>back pressure</i>	73	tekanan aktual tidak terbaca sistem
		74	terjadi <i>back pressure</i>
Temperature lube oil normal	Pelumasan pada bearing dan peralatan lainnya	75	temperatur minyak meningkat

Sesuai dengan gambar urutan *start-stop* turbin gas pada Gambar 2.8, untuk menaikkan RPM dari 3 RPM menuju 300 RPM ada proses pemenuhan persyaratan *ready to start*, proses pony motor, ACOP, starting motor, *Package vent fan*, *Torque converter* beroperasi dan IGV membuka sebesar 22⁰. Untuk menaikkan RPM dari 300 RPM menuju 500 RPM ada proses AC *turning off* dan pembukaan *control valve* bahan bakar. Untuk menaikkan RPM dari 500 RPM menuju 1000 RPM ada proses *fuel vent valve close*, *igniter* menyala, indikator FLAME ON menyala. Untuk menaikkan RPM dari 1000 RPM menuju 2010 RPM ada proses *starting device stop*. Selain itu perlu dilakukan pengamatan terhadap sebaran panas pada *blade path* dan vibrasi rotor agar dalam kondisi normal. Kemudian dari 2010 RPM menuju 3000 RPM ada proses IGV menuju ke posisi 0⁰, HP dan LP *bleed valve close*, proses penyalaan generator eksitasi yang ditandai sistem elektrikal normal dan juga pengamatan pada vibrasi, *blade path*, tekanan *exhaust gas duct* dan temperatur minyak pelumas dalam kondisi normal.

4.2 Perhitungan Nilai RPN

Dari 75 moda kegagalan kemudian dilakukan penilaian *severity*, *occurrence and detection* (SOD) untuk dihitung nilai RPN nya. Pengambilan data untuk nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* melalui diskusi dan kuisioner. Penentuan nilai SOD dilakukan oleh responden berjumlah 7 orang yang terdiri dari 4 orang *expert* bidang operasi dan 3 orang *expert* bidang pemeliharaan dengan profil seperti yang ada pada Tabel 4.2. Bobot nilai dari masing-masing responden dianggap sama karena asumsi yang digunakan melihat masa kerja masing-masing responden diatas 15 tahun. Tentunya responden tersebut memiliki pengalaman yang mumpuni dalam mengoperasikan dan menangani gangguan pada unit turbin gas. Dari hasil penilaian oleh *expert* tersebut, nilai-nilai pada kategori moda kegagalan yang sama dijumlahkan dan dirata-rata untuk mewakili masing-masing moda kegagalan yang ada. Hasilnya dapat dilihat pada lampiran 3, 4 dan 5.

Tabel 4.2 Profil Responden

Urutan	Jabatan	Lama bekerja
Responden 1	SPV Operasi	26 tahun
Responden 2	SPV Operasi	26 tahun
Responden 3	SPV Operasi	26 tahun
Responden 4	SPV Pemeliharaan Kontrol	16 tahun
Responden 5	SPV Pemeliharaan Listrik	17 Tahun
Responden 6	SPV Pemeliharaan Mesin	27 Tahun
Responden 7	SPV Operasi	20 Tahun

Responden berhak menentukan besaran nilai risiko dari masing-masing moda kegagalan tanpa menimbang saran dari yang lain. Pembagian kuisioner berbarengan tiap respondennya untuk menghindari kesamaan nilai pengisian risiko. Rentang nilai yang diberikan untuk pengisian kuisioner adalah dari 1 sampai 5 tiap faktor bobot risiko. Semakin besar nilai bobot risiko yang diisikan maka semakin besar pula nilai SOD tiap moda kegagalan. Untuk kategori *severity* seperti yang ada pada Tabel 3.2.

Sedangkan untuk karegori *occurrence*, rentang nilai yang diberikan juga antara 1 sampai dengan 5 dengan deskripsi seperti pada Tabel 3.4. Nilai 1 untuk kriteria sangt rendah sedangkan nilai 5 untuk kriteria sangat tinggi.

Berikutnya adalah kategori *detection* yang akan digunakan juga untuk penilaian SOD diberikan nilai rentang antara 1 sampai dengan 5 dengan deskripsi seperti pada Tabel 3.6. Nilai 1 untuk kriteria sangt rendah sedangkan nilai 5 untuk kriteria sangat tinggi.

Nantinya FMECA mendapat *critical risk* berdasar pada tahap yang dilakukan seperti pada FMEA terlebih dahulu. Kemudian dengan penilaian kualitatif didapatkan risiko dengan RPN tertinggi pada moda-moda kegagalan menjadi *critical risk* pada penelitian ini seperti pada Tabel 4.3. Pengisian kuisioner akan menentukan bobot risiko tiap moda kegagalan dan hasil mitigasi risiko nantinya.

Tabel 4.3 Perhitungan nilai RPN

Proses	No.	Moda kegagalan	Criticality			RPN
			S	O	D	
Semua persyaratan <i>auxiliary</i> harus terpenuhi	1	Status otomatis tidak muncul (<i>annunciator</i>)	2,3	2,9	2,9	18,7
Persyaratan bahan bakar terpenuhi	2	Tekanan bahan bakar tidak terpenuhi	2,3	2,7	2,9	17,7
	3	Indikator tekanan tidak terbaca di sistem	2,9	1,6	2,6	11,5
IGV posisi <i>close</i>	4	Pembacaan posisi IGV tidak actual	2,6	2,6	3	19,8
	5	Sinyal <i>close</i> tidak terbaca sistem	2,4	1,7	2,9	11,9
	6	IGV tidak bisa <i>open-close</i>	3	3,6	3	32,1
Tekanan lube oil normal	7	Tekanan minyak berkurang	2	1,4	1,9	5,3
	8	Tekanan minyak hilang	2,4	2,1	3,1	16,4
	9	sinyal pengukuran tekanan minyak tidak terbaca sistem	2,6	2	1,7	8,8
Jacking <i>oil pump</i> berputar	10	pompa tidak menghasilkan tekanan	3,1	1,4	2,6	11,5
	11	Tekanan pompa berkurang	2,7	1,6	2,1	9,1
	12	indikator tekanan tidak terbaca sistem	2,9	1,6	3	13,5
	13	temperature kerja minyak tinggi (trip 75°C)	4,4	1,4	2,6	16,3
Sistem <i>turning</i> berjalan	14	<i>turning</i> motor tidak berputar	3,4	3,4	2,4	28,5
	15	sistem <i>turning</i> abnormal	2,9	2,6	2,9	21
Tekanan udara instrument terpenuhi >5kg/cm ²	16	kompresor udara instrument trip	1,7	1,6	2,9	7,7
	17	suplai udara instrument kurang	1,4	2	2,4	6,9
	18	tekanan aktual tidak terbaca sistem	2,4	1,6	3,7	14,2
CPU DDC (<i>sequencer</i> dan <i>governor</i>) normal	19	CPU DDC mati	2,4	3,4	3,6	29,7
	20	Masalah pada beberapa peralatan dan sistem	2,6	3	2,9	22
Bleed <i>valve</i> kondisi terbuka	21	<i>Valve</i> terbuka sebagian	1,9	1,9	3,3	11,3
	22	kondisi pembukaan <i>valve</i> tidak terbaca sistem	2,3	2,7	3,6	22,2
	23	<i>valve</i> tidak bisa <i>open-close</i>	3,4	2,1	3	22
<i>Igniter</i> kondisi normal	24	<i>Igniter</i> tidak bisa memantik	3,3	3,6	3,4	40,2
Tidak muncul sinyal 2/3 over speed trip	25	Muncul sinyal palsu over speed trip	3	1,6	3,3	15,5
	26	minyak OST terbuang	2,4	1,3	3,4	10,7
Klik push button auto start	27	Tombol sudah di klik, tapi tidak mau start	2	1	1	2
Pony motor beroperasi	28	pony motor abnormal	2,4	1,9	3,4	15,5
ACOP beroperasi	29	ACOP tidak beroperasi	2,7	1,9	2,7	13,7
	30	Tekanan ACOP rendah	3,3	1,7	3,1	17,7
Starting motor beroperasi	31	Starting motor trip	3	1,4	2,9	12,2

dilanjutkan kehalaman berikutnya

Tabel 4.3 (lanjutan)

Proses	No.	Moda kegagalan	Criticality			RPN
			S	O	D	
	32	Starting motor tidak mau run	2,7	2,1	3,4	19,9
<i>Package vent fan</i> beroperasi	33	<i>Package vent fan</i> trip	2,6	2,1	2,1	11,8
	34	<i>Package vent fan</i> abnormal	3,1	3,6	2	22,4
<i>Torque converter</i> beroperasi	35	<i>Torque converter</i> tidak beroperasi	3,4	2,7	4,1	38,6
	36	Tekanan <i>Torque converter</i> rendah	4,3	2,6	4,3	47,2
	37	Temperatur fluida <i>Torque converter</i> naik	3,9	1,6	4,7	28,6
	38	Beban kerja <i>Torque converter</i> naik	3,6	2,4	4,1	35,9
IGV <i>Open 22°</i>	39	pembukaan aktual tidak terbaca sistem	2,1	2,4	3,4	17,8
	40	Perintah pembukaan tidak sampai	2	2,3	3,6	16,3
	41	tidak bisa <i>open-close</i>	3,1	2	2,6	16,2
<i>Control valve</i> bahan bakar terbuka	42	<i>valve</i> bahan bakar tidak terbuka, tekanan <i>minyak kontrol</i> <70kg/cm ²	3,4	3,4	2,9	33,6
	43	syarat pembukaan dari <i>minyak kontrol</i> tidak sampai	3,3	3,6	3,6	41,9
	44	Pembacaan pressure <i>minyak kontrol</i> tidak terbaca sistem	2,6	3,6	3,1	28,9
	45	Pembukaan <i>valve</i> bahan bakar tidak terbaca system	3,1	3,3	3,7	38,4
	46	<i>valve</i> bahan bakar tidak terbuka	4	4,6	4,4	81,0
	47	<i>Valve</i> kembali menutup	3,3	4,6	3,7	55,8
<i>AC turning OFF</i>	48	<i>AC turning</i> tidak OFF	2,9	1,4	2,5	10,2
<i>Fuel Vent Valve Close</i>	49	<i>valve</i> tidak bisa <i>close</i>	1,7	1,4	3,7	9,0
<i>Igniter</i> menyala	50	<i>Igniter</i> tidak menyala	3,7	4,6	4,6	77,6
Indikator FLAME ON menyala	51	<i>Igniter</i> abnormal	3,6	4,1	4,4	65,5
	52	<i>valve</i> bahan bakar tiba-tiba <i>close</i>	3,3	4	3,6	46,9
	53	Tidak terjadi pembakaran	4	4,3	4,1	71,0
	54	Pembakaran tidak terdeteksi sistem	2,9	4,4	4,6	57,8
Bladepath normal	55	Terdapat deviasi pada titik-titik bladepath	3,3	2,7	3,4	30,3
	56	temperatur gas panas tidak terbaca system	2,7	2,6	3,7	25,9
	57	Blade path temp. mencapai 700°C	3	2,4	3,4	25,0
Vibrasi normal	58	Vibrasi tinggi dan turbin trip	3	1,7	4	20,6
	59	Vibrasi aktual tidak terbaca sistem	2,6	2,1	3,9	21,3
<i>Starting device stop</i>	60	<i>Starting device</i> masih beroperasi	2,6	1	3,1	8,1
IGV ke posisi 0°	61	pembukaan aktual tidak terbaca sistem	2,4	2,9	2,9	19,8
	62	Perintah pembukaan tidak sampai	2,6	2,4	3,6	22,3
	63	tidak bisa <i>open-close</i>	2,4	2,1	3,1	16,4
HP dan LP Bleed <i>valve</i>	64	<i>Valve</i> terbuka sebagian	2,1	1,9	3,1	12,5

dilanjutkan kehalaman berikutnya

Tabel 4.3 (lanjutan)

Proses	No.	Moda kegagalan	Criticality			RPN
			S	O	D	
<i>close</i>	65	kondisi pembukaan <i>valve</i> tidak terbaca sistem	2,7	2	3,1	17,1
	66	<i>valve</i> tidak bisa <i>open-close</i>	3,4	2	3,4	23,5
Vibrasi normal	67	Vibrasi tinggi dan turbin trip	2,9	1,3	3,6	13,1
	68	Vibrasi aktual tidak terbaca sistem	2,3	1,6	3,7	13,3
Bladepath normal	69	Terdapat deviasi pada titik-titik bladepath	2,6	3	3	23,1
	70	temperatur gas panas tidak terbaca sistem	3	2	3,6	21,4
	71	Blade path temp. mencapai 700°C	2,9	1,7	4	19,6
Sistem electrical normal	72	Generator tidak bisa synchrone	2,3	2,1	3,7	18,2
Tekanan <i>exhaust gas duct</i> normal	73	tekanan aktual tidak terbaca sistem	2,3	2	3	13,7
	74	terjadi back pressure	2,6	1,3	2,4	8,0
Temperature <i>lube oil</i> normal	75	temperatur minyak meningkat	2,6	1,4	1,7	6,3

Dari hasil perhitungan nilai RPN, didapatkan enam risiko tertinggi pada 3 proses yaitu proses bahan bakar terbuka, *igniter* menyala dan indikator FLAME ON menyala. Pada proses *control valve* bahan bakar terbuka, moda kegagalan dengan nilai RPN yang tinggi pada *valve* bahan bakar tidak terbuka sebesar 81,0 dan *valve* kembali menutup sebesar 55,8. Pada proses *igniter* menyala, moda kegagalan dengan nilai RPN yang tinggi pada *igniter* tidak menyala sebesar 77,6 sedangkan pada proses indikator FLAME ON menyala, kegagalan dengan nilai RPN yang tinggi pada *igniter* abnormal sebesar 65,5, tidak terjadi pembakaran sebesar 71,0 dan pembakaran tidak terdeteksi sistem sebesar 57,8.

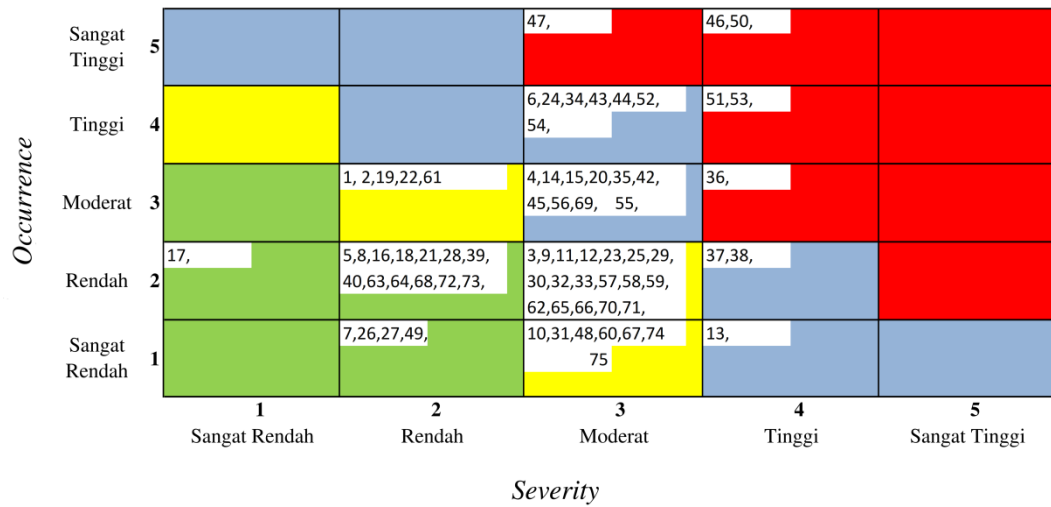
Dari hasil penilaian RPN ini juga didapatkan bahwa dalam satu proses tidak selalu nilai RPN nya berdekatan. Dalam penelitian ini nilai RPN dikatakan berdekatan apabila nilai tertinggi dan terendahnya memiliki selisih tidak lebih dari 10 poin. Ada 15 proses yang nilai RPN nya berdekatan yaitu pada urutan proses 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 14, 15, 18, 25, 27, 29, 30 dan 32. Sedangkan ada 8 proses yang nilai RPN nya berjauhan yaitu pada urutan proses 3, 9, 16, 17, 19, 23, 24 dan 28. Penyebab nilai RPN jauh bisa disebabkan dari nilai *severity* (9, 17, 19, 23 dan 28), *occurrence* (3, 9, 16, 17, 19 dan 24) atau *detection* (9, 17, 19, 23 dan 24) nya. Perbedaan yang jauh ini dikarenakan :

- *Severity* : Ada perbedaan lama waktu dalam analisa dan perbaikan. Seperti pada proses *control valve* bahan bakar terbuka, terdapat nilai RPN yang jauh pada moda kegagalan pembacaan pressure minyak kontrol tidak terbaca sistem (44) dengan *valve* bahan bakar tidak terbuka (46). Perbedaan nilai *severity* yang jauh karena moda kegagalan pembacaan pressure minyak kontrol tidak terbaca sistem (44) membutuhkan waktu perbaikan yang cepat dengan melakukan pengecekan kabel pengiriman sinyal dari pressure transmitter menuju ke *control room*. Jika kondisi kabel sinyal bagus maka perlu dilakukan pengecekan pada transmitter. Untuk mempercepat proses perbaikan dapat dilakukan penggantian transmitter lain yang sudah dikalibrasi. Sedangkan moda kegagalan *valve* bahan bakar tidak terbuka (46) disebabkan oleh tiga faktor yaitu abnormal pada servo *valve*, abnormal pada mekanis *control valve* dan abnormal pada sinyal kontrol. Sehingga membutuhkan analisa dan perbaikan yang lebih lama. Selain itu biaya yang dibutuhkan dalam perbaikan moda kegagalan ini cukup besar apabila diperlukan penggantian servo *valve*.
- *Occurrence* : Ada perbedaan intensitas kerusakan dalam kurun waktu tertentu. Tetapi hal tersebut juga dapat dipengaruhi oleh kualitas komponen karena meskipun peralatan yang dipakai memiliki merk yang sama dan data spesifikasi yang sama, keandalannya belum tentu sama.
- *Detection* : Perbedaan nilai *detection* dipengaruhi oleh faktor ada tidaknya indikator, lokasi dan sistem back-up. Dapat dilihat contohnya pada proses Indikator FLAME ON menyala, pada moda kegagalan *valve* bahan bakar tiba-tiba *close* (52) dengan moda kegagalan pembakaran tidak terdeteksi sistem (54) nilai *detection*-nya terpaut satu angka. Hal ini disebabkan saat moda kegagalan *valve* bahan bakar tiba-tiba *close* (52) terjadi, indikasi gangguan dapat dilihat secara langsung dilapangan berupa *valve* bahan bakar dalam kondisi tertutup dan akan mengirimkan sinyal ke *control room* bahwa kondisi *valve* bahan bakar saat ini posisi tertutup. Juga dapat diketahui beberapa indikasi kerusakan dari servo *valve* seperti strainer servo *valve* yang kotor dari indikator kekotoran dan perbedaan tekanan antara inlet dan outlet *valve* bahan bakar. Sedangkan apabila moda kegagalan pembakaran tidak terdeteksi sistem (54) terjadi, tidak ada indikasi dilapangan untuk memantau terjadinya api di area *combuster*.

Hanya ada 4 buah sensor api yang secara sistem digunakan sebagai proteksi, bukan untuk pengukuran. Sehingga apabila dalam waktu tiga detik sensor tersebut tidak mendeteksi api, maka unit turbin gas akan dimatikan menuju 3 RPM.

4.3 Analisis *Risk matrix*

Kemudian untuk prioritas risiko juga ditentukan melalui peta risiko dengan matriks 5x5. Penilaian risiko mengacu pada tabel kriteria *occurrence* dan *severity*. Menurut Hoseynabadi (2010), *risk matrix* merupakan salah satu metode pendeteksi risiko yang bertujuan untuk menentukan daerah prioritas risiko dengan mempertimbangkan nilai *severity* dan *occurrence*. Dasar perhitungan *risk matrix* tentu berbeda dengan perhitungan nilai RPN pada metode FMEA. Jika perhitungan RPN menggunakan tiga kriteria utama (*severity*, *occurrence*, dan *detection*) untuk mengetahui tingkat risiko, sedangkan *risk matrix* hanya menggunakan dua kriteria utama untuk menentukan prioritas risiko, dua *item* tersebut yaitu nilai *severity* dan *occurrence*. Nilai rata-rata kriteria *severity* dan *occurrence* didasarkan pada data sesuai dengan hasil rekap kuisioner yang sudah dilakukan. Nilai rata-rata *severity* dan *occurrence* pada sistem penilaian *risk matrix* ini dimasukkan dengan pembulatan ke atas terhadap nilai desimal yang lebih besar sama dengan 0.5 (≥ 0.5) dan sebaliknya pembulatan ke bawah terhadap nilai desimal yang lebih kecil dari 0.5 (< 0.5). Hasil pemetaan risiko dengan *risk matrix* hasilnya seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil *risk matrix*

Keterangan :

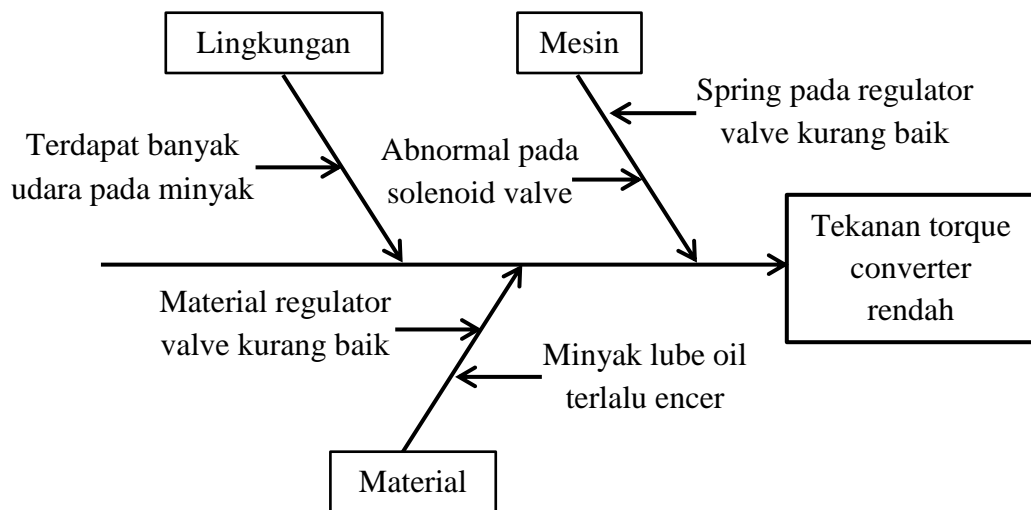
- Low risk* : risiko dapat diterima oleh pihak terkait
- Moderate risk* : risiko dapat diterima namun perlu perhatian khusus dari pihak terkait
- High risk* : risiko tidak diinginkan namun masih dapat dikendalikan oleh pihak terkait untuk dikurangi dampaknya sehingga perlu perhatian khusus
- Extreme risk* : risiko tidak dapat ditoleransi, perlu dilakukan penanganan dengan segera dan tidak dapat dikendalikan

Dari hasil pemetaan risiko didapatkan, moda kegagalan pada posisi *extreme risk* antara lain, tekanan *Torque converter* rendah (36), *valve* bahan bakar tidak terbuka (46), *valve* kembali menutup (47), *igniter* tidak menyala (50), *igniter* abnormal (51) dan tidak terjadi pembakaran (53)

4.4 Analisa Risiko Menggunakan *Fishbone diagram*

Tahap berikutnya adalah melakukan analisa risiko. Pada pemetaan risiko menggunakan *risk matrix*, jika diperinci dari segi peralatan, maka peralatan yang masuk kategori *extreme risk* adalah *Torque converter* (36), *valve* bahan bakar (46,47), *igniter* (50,51) dan indikator FLAME ON (53). Begitupun dari segi

proses, moda kegagalan terjadi pada proses *Torque converter* beroperasi, *control valve* bahan bakar terbuka, indikator FLAME ON menyala dan *igniter* menyala. Untuk mempermudah analisa digunakan *fishbone diagram* untuk mengetahui penyebab dari moda kegagalan tersebut.

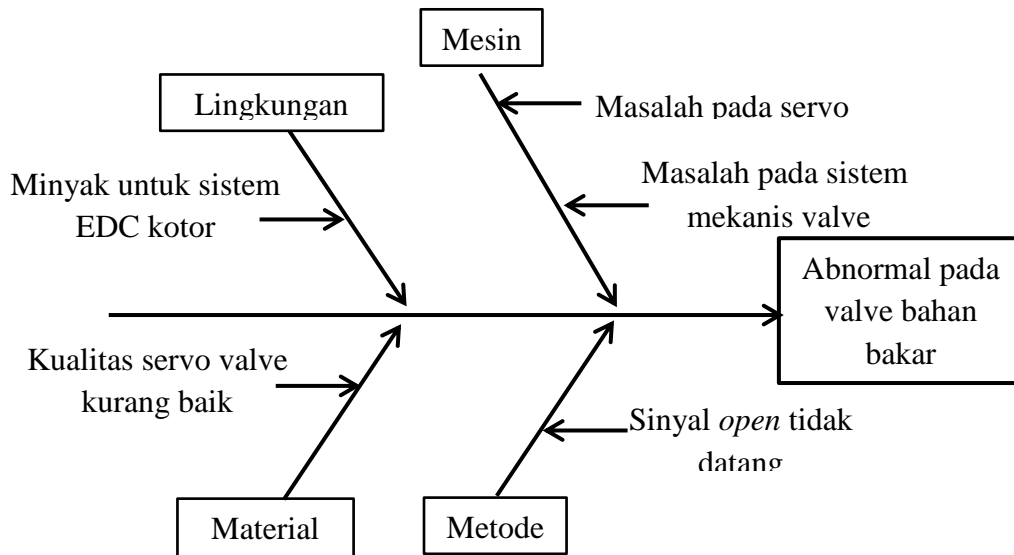


Gambar 4.2 *Fishbone diagram* tekanan *torque converter* rendah

Analisa *fishbone diagram* untuk *torque converter* dapat dilihat pada Gambar 4.2. Moda kegagalan yang memiliki nilai RPN tinggi pada *torque converter* adalah tekanan *torque converter* rendah sebesar 47,2. Tekanan *torque converter* rendah ini masuk dalam kategori *extreme risk*. Dari hasil diskusi dengan pihak *expert*, didapatkan bahwa penyebab tekanan *torque converter* rendah adalah *spring* pada regulator *valve* kurang baik, material regulator *valve* kurang baik, abnormal pada solenoid *valve*, minyak pada lube oil (minyak pelumas) terlalu encer dan terdapat banyak udara pada minyak.

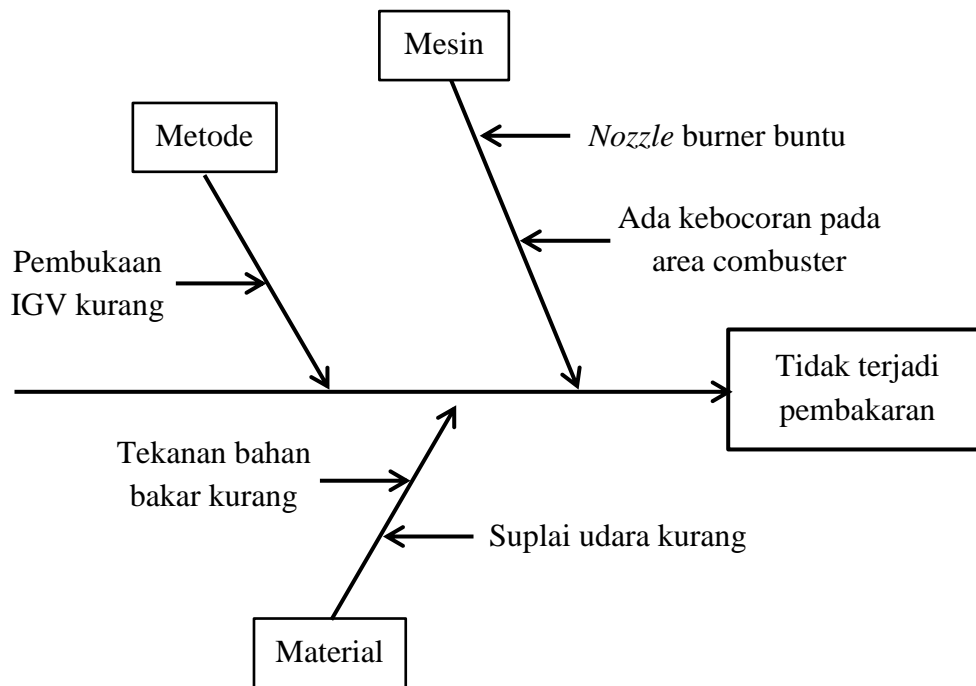
Analisa *fishbone diagram* untuk *control valve* bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 4.3. Moda kegagalan yang memiliki nilai RPN tinggi pada *control valve* bahan bakar adalah *valve* bahan bakar tidak terbuka sebesar 81,0 dan *valve* kembali menutup sebesar 55,8. Kedua moda kegagalan tersebut masuk kategori *extreme risk* dan merupakan moda kegagalan kritis karena masuk di peringkat teratas dalam ranking nilai RPN. Moda kegagalan pada *valve* bahan bakar tidak terbuka dan *valve* kembali menutup dapat dikategorikan sebagai kejadian

abnormal pada *valve* bahan bakar. Sehingga berdasarkan hasil *brainstorming* dengan pihak *expert* dilakukan analisa lebih lanjut menggunakan *fishbone diagram* dengan pernyataan abnormal pada *valve* bahan bakar sebagai permasalahannya.

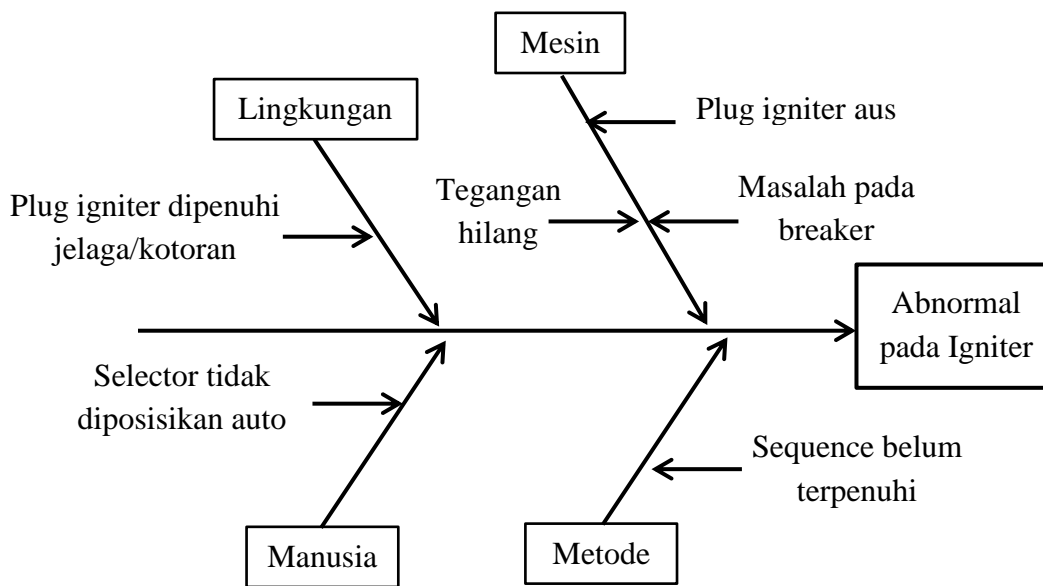


Gambar 4.3 *Fishbone diagram* abnormal pada *valve* bahan bakar

Untuk analisa *fishbone diagram* yang berkaitan dengan proses indikator FLAME ON menyala, dapat dilihat pada Gambar 4.4. Moda kegagalan dengan nilai RPN yang tinggi pada proses indikator FLAME ON menyala adalah *igniter* abnormal sebesar 65,5, tidak terjadi pembakaran sebesar 71,0 dan pembakaran tidak terdeteksi sistem sebesar 57,8. Ketiganya masuk dalam kategori moda kegagalan kritis namun untuk pembakaran tidak terdeteksi sistem masuk dalam kategori high risk, tidak masuk kategori *extreme risk* pada *risk matrix* karena nilai *detection*-nya tidak diperhitungkan dalam *risk matrix*. Sedangkan untuk moda kegagalan *igniter* abnormal dapat dikategorikan pada peralatan *igniter*. Sehingga dari hasil diskusi bersama *expert*, yang diambil sebagai pernyataan permasalahan pada proses indikator FLAME ON menyala adalah tidak terjadi pembakaran.



Gambar 4.4 *Fishbone diagram* tidak terjadi pembakaran



Gambar 4.5 *Fishbone diagram* abnormal pada igniter

Analisa *fishbone diagram* yang berkaitan dengan proses *igniter* menyala dapat dilihat pada Gambar 4.5. Moda kegagalan yang memiliki nilai RPN tinggi pada proses *igniter* menyala adalah *igniter* tidak menyala sebesar 77,6. Moda

kegagalan ini masuk kategori kritis dan *extreme risk*. Sedangkan pada proses indikator FLAME ON menyala dan proses *igniter* kondisi normal juga terdapat moda kegagalan yang berkaitan dengan *igniter*. Sehingga setelah berdiskusi dengan pihak *expert* diputuskan pernyataan abnormal pada *igniter* sebagai pokok masalah dalam *fishbone diagram* pada Gambar 4.5.

4.5 Pembahasan

Dari hasil identifikasi risiko bersama *expert* dibidang operasi, didapatkan 75 item moda kegagalan dalam proses start turbin gas yang berpengaruh langsung terhadap putaran turbin. Goal dari proses start adalah tercapainya kecepatan turbin pada 3000 RPM agar siap dibebani untuk membangkitkan listrik lewat generator. Apabila putaran turbin tidak mencapai 3000 RPM pada jangka waktu yang ditentukan, maka dapat dipastikan bahwa unit tersebut mengalami gagal start. Untuk melakukan analisa menggunakan FMECA, terlebih dahulu dilakukan penilaian dampak (*severity*), tingkat kejadian (*occurrence*) dan deteksi (*detection*) pada masing-masing moda kegagalan yang kemudian berdasarkan hasil perhitungan pembobotan nilai tersebut, didapatkan bahwa pada tahapan proses start turbin gas di PLTGU terdapat moda kegagalan dengan nilai RPN tinggi. Dari nilai tersebut akan dijadikan acuan sebagai *critical risk*. Karena menurut FMECA, penentuan *critical risk* menggunakan metode kualitatif menggunakan dasar nilai RPN tertinggi (Pradana, 2019). Sebelum itu juga dilakukan karakterisasi penentuan nilai bobot untuk SOD (*severity, occurrence and detection*) berdasarkan dari literatur dan hasil diskusi dengan *expert* yang juga memperhitungkan data riwayat gangguan perusahaan sesuai dengan Tabel 3.2, 3.4 dan 3.6.

Dilakukan pengambilan data enam RPN teratas untuk ditetapkan sebagai moda kegagalan kritis. Hal ini ditetapkan setelah dilakukan diskusi dengan pihak *expert* karena keenam moda kegagalan tersebut tergolong dalam moda kegagalan yang sering mengakibatkan gagal start pada turbin gas. Hal ini dapat dibuktikan dari data start failure tahun 2018 pada lampiran 2.

Tabel 4.4 Ranging moda kegagalan dengan 6 nilai RPN tertinggi

Proses	No.	Moda kegagalan	Criticality			RPN	Peringkat
			S	O	D		
<i>Control valve</i> bahan bakar terbuka	46	<i>valve</i> bahan bakar tidak terbuka	4	4,6	4,4	81,0	1
	47	<i>Valve</i> kembali menutup	3,3	4,6	3,7	55,8	6
	50	<i>Igniter</i> tidak menyala	3,7	4,6	4,6	77,6	2
<i>Igniter</i> menyala	51	<i>Igniter</i> abnormal	3,6	4,1	4,4	65,5	4
Indikator FLAME ON menyala	53	Tidak terjadi pembakaran	4	4,3	4,1	71,0	3
	54	Pembakaran tidak terdeteksi sistem	2,9	4,4	4,6	57,8	5

Penyebab gagal start dari gangguan internal lebih banyak disebabkan oleh :

1. Gangguan flame out yang disebabkan karena tidak terjadi pembakaran seperti pada moda kegagalan nomor 53, masalah pada *igniter* seperti pada moda kegagalan nomor 50 dan 51, pembakaran tidak terdeteksi sistem seperti pada moda kegagalan nomor 54.
2. Kendala di *valve* bahan bakar seperti pada moda kegagalan nomor 46 dan 47.

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat ada 3 proses yang memuat enam RPN tertinggi setelah di ranking yaitu :

1. Proses *control valve* bahan bakar terbuka, moda kegagalan dengan nilai RPN yang tinggi pada *valve* bahan bakar tidak terbuka sebesar 81,0 dan *valve* kembali menutup sebesar 55,8.
2. *Igniter* menyala, moda kegagalan dengan nilai RPN yang tinggi pada *igniter* tidak menyala sebesar 77,6.
3. Indikator FLAME ON menyala, kegagalan dengan nilai RPN yang tinggi pada *igniter* abnormal sebesar 65,5, tidak terjadi pembakaran sebesar 71,0 dan pembakaran tidak terdeteksi sistem sebesar 57,8.

Ketiga proses tersebut dikategorikan sebagai proses kritis karena moda-moda kegagalan yang termuat dalam ketiga proses tersebut menjadi RPN tertinggi dari keseluruhan moda kegagalan start pada turbin gas. Dari ketiga poin diatas, dapat dilihat bahwa risiko tertinggi terjadi kegagalan start pada saat tahapan 300 RPM menuju 500 RPM (poin 1) dan tahapan 500 RPM menuju 1000 RPM (poin 2 dan

3). Untuk lebih meyakinkan bahwa keenam risiko tersebut merupakan risiko kritis yang perlu penanganan dengan segera, digunakan *risk matrix* untuk membandingkan kebenaran dalam menentukan prioritas risiko. Meskipun hanya menggunakan bobot nilai *severity* dan *occurrence* saja dalam aplikasi *risk matrix*, namun menurut Hoseynabadi (2010) dan Madarina (2017) *risk matrix* juga dapat mendeteksi risiko kritis yang dapat dijadikan prioritas risiko.

Hasil *risk matrix* menunjukkan bahwa ada enam moda kegagalan dalam proses start turbin gas yang masuk dalam kategori *extreme risk*. Jika dilihat dalam segi proses start turbin gas, proses dari keenam moda kegagalan tersebut yaitu :

1. Proses *Torque converter* beroperasi, moda kegagalan dengan *extreme risk* yaitu *Torque converter* rendah (36)
2. Proses *control valve* bahan bakar terbuka, moda kegagalan dengan *extreme risk* yaitu pada *valve* bahan bakar tidak terbuka (46) dan *valve* kembali menutup (47).
3. Proses *igniter* menyala, moda kegagalan dengan *extreme risk* yaitu pada *igniter* tidak menyala sebesar (50).
4. Proses indikator FLAME ON menyala, kegagalan dengan *extreme risk* yaitu pada *igniter* abnormal sebesar (51), tidak terjadi pembakaran sebesar (53).

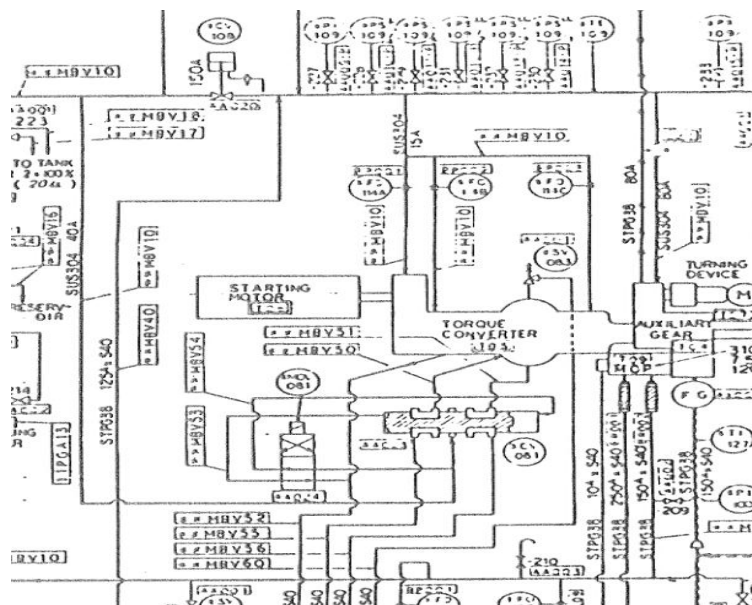
jika kita amati antara penilaian menggunakan nilai RPN tertinggi dengan *risk matrix* untuk menentukan prioritas risiko memiliki kesamaan yaitu risiko tertinggi ada pada proses *control valve* bahan bakar terbuka, proses *igniter* menyala dan proses indikator FLAME ON menyala. Sedangkan perbedaan penilaian menggunakan nilai RPN tertinggi dengan *risk matrix* ada pada proses *Torque converter* beroperasi. Sehingga agar penelitian lebih baik maka analisa akan difokuskan dengan moda kegagalan gabungan dari hasil menggunakan nilai RPN tertinggi dengan *risk matrix* untuk dijadikan sebagai moda kegagalan kritis, yaitu :

1. Tekanan *Torque converter* rendah
2. Abnormal pada *valve* bahan bakar
3. Tidak terjadi pembakaran
4. Abnormal pada *igniter*

Analisa dilakukan menggunakan metode *fishbone diagram* untuk mengetahui penyebab dari moda kegagalan. Menurut Heizer (2002), *fishbone diagram* berguna untuk memperlihatkan faktor-faktor utama yang berpengaruh pada suatu permasalahan sehingga dapat dilihat secara terperinci faktor-faktor tersebut.

1. Tekanan *Torque converter* rendah

Torque converter adalah perangkat pada turbin gas yang berfungsi untuk memindahkan serta memutuskan aliran tenaga dari *starting device* menuju poros rotor turbin. *Torque converter* terdiri dari dua buah kipas untuk proses perpindahan energi putar. *Torque converter* bekerja menggunakan prinsip perubahan energi dari energi putar ke energi tekan dan kembali ke energi putar. *Torque converter* memiliki beberapa peralatan pendukung yaitu *control valve* dan *solenoid valve* seperti pada Gambar 4.6. *Control valve* berfungsi untuk mengatur aliran minyak yang masuk dan keluar *Torque converter*. Sedangkan *solenoid valve* berfungsi untuk pintu masuk minyak yang akan mengisi dalam *Torque converter* melalui *control valve*.



Sumber : Operation & Maintenance Manual

Gambar 4.6 *Torque converter*

Sumber minyak berasal dari minyak pelumas yang sama digunakan untuk pelumasan bearing turbin. Sebelum masuk ke *Torque converter* maupun rotor

bearing turbin, minyak pelumas melalui sebuah regulator *valve* yang berfungsi menurunkan tekanan dari pompa minyak pelumas. Dari analisa menggunakan *fishbone diagram* berdasarkan hasil diskusi dengan *expert* dan studi literatur dari manual book didapatkan bahwa penyebab tekanan *Torque converter* rendah akibat pegas regulator *valve* kurang baik, material regulator *valve* kurang baik, abnormal pada solenoid *valve*, minyak pelumas terlalu encer dan terdapat banyak udara pada minyak. Efek dari tekanan *Torque converter* rendah adalah RPM turbin tidak dapat naik atau tidak stabil saat proses start.

Regulator *valve* menggunakan kontrol *valve* tipe hidrolis yang salah satu komponen utamanya adalah pegas (*spring*). Pegas berfungsi untuk membuat posisi pembukaan kontrol *valve* stabil sesuai dengan perintah. Apabila kondisi pegas kurang baik maka dapat menyebabkan pembukaan regulator *valve* kurang baik. Untuk itu pemilihan regulator *valve* yang baik juga dapat berdampak pada kondisi operasional regulator *valve*. Tekanan *Torque converter* rendah juga dapat disebabkan minyak pelumas yang encer. Selain itu abnormal pada solenoid *valve* juga dapat berpengaruh terhadap tercapainya tekanan pada *torque converter*. Apabila solenoid *valve* macet, tersumbat atau koil bermasalah, maka pembukaan solenoid *valve* juga tidak bisa maksimal, sehingga aliran fluida yang mengalir ke *torque converter* juga rendah.

Penyebab lain adalah adanya kandungan udara yang banyak pada minyak yang masuk pada *Torque converter*. Sesuai dengan fungsi dari *Torque converter* sebagai perpindahan energi putar, maka diharapkan tekanan yang ditimbulkan dalam *Torque converter* terpenuhi sehingga momen putar didalam *Torque converter* tercipta. apabila terdapat banyak udara dalam minyak yang masuk pada *Torque converter* akan menyebabkan *Torque converter* mudah kehilangan momen putar sehingga putaran turbin tidak dapat stabil dan sering terjadi selip. Beberapa kejadian kerusakan pada *torque converter* dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Data kerusakan pada *torque converter*

Tanggal	Gangguan
08-12-2013	Perbaikan line <i>torque converter</i>
21/09/2015	Flange <i>Torque converter</i> Aux GT#1.1 bocor
7/08/2017	Solenoid <i>Valve Torque converter</i> GT#2.3 macet
11/04/2018	Perbaikan <i>torque converter</i> GT#2.1 saat RSH

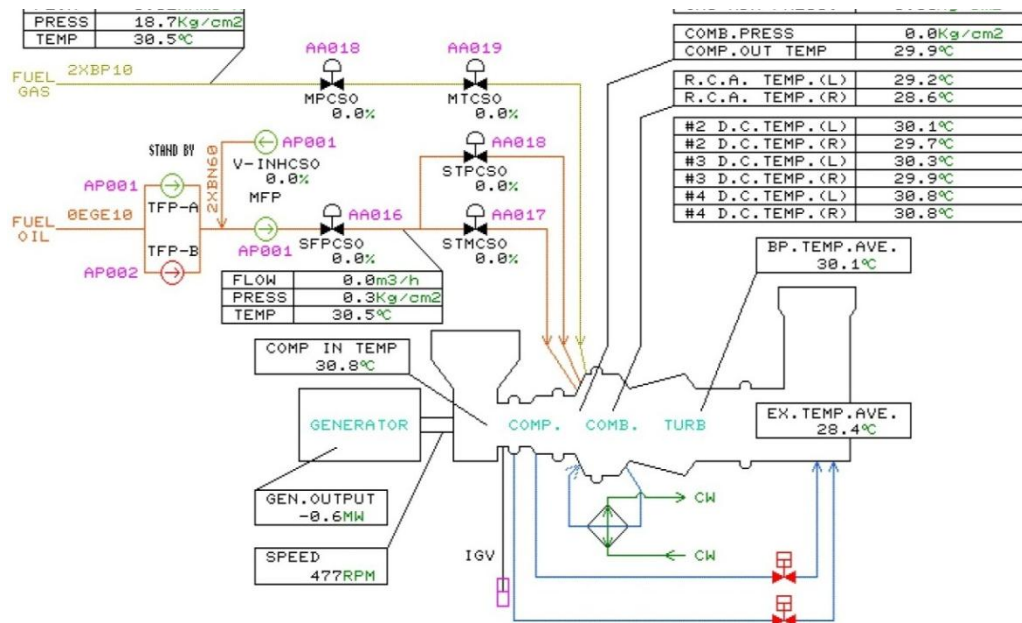
Mitigasi risiko yang dapat dilakukan adalah :

- Pengecekan pegas regulator *valve* dan solenoid *valve* secara berkala
- Adanya *quality control* saat pembelian atau pengadaan regulator *valve*
- Pengecekan berkala pada minyak pelumas terkait kondisi minyak dan ada tidaknya kandungan udara

2. Abnormal pada *valve* bahan bakar

Turbin gas pada unit PLTGU ini didesain dapat menggunakan dua macam jenis bahan bakar yaitu bahan bakar minyak dan gas. Sehingga untuk jalur bahan bakarnya juga berbeda. Untuk bahan bakar minyak menggunakan *control valve* SFPCSO, STPCSO dan STMCSO sedangkan untuk bahan bakar gas menggunakan *control valve* MPCSO dan MTCSO seperti pada Gambar 4.7.

Control valve menggunakan sistem EHC (*Electro Hydraulic Control*). Secara dasar sistem ini mengubah inputan yang berupa sinyal elektrik yang direspon oleh *servo valve*, kemudian *servo valve* akan membuat pengaturan terhadap pembukaan *control valve*. Penggerak *control valve* menggunakan sistem hidrolis yang diatur oleh *servo valve*. Peran *control valve* bahan bakar sangat vital karena *valve* ini adalah jalur utama masuknya bahan bakar menuju *nozzle combustor*. Apabila *control valve* tidak dapat terbuka maka turbin gas tidak dapat naik kecepatannya ataupun saat *control valve* tidak dapat membuka sesuai perintah, maka putaran turbin yang diinginkan tidak dapat tercapai.



Sumber : Tampilan monitor *control room* PLTGU

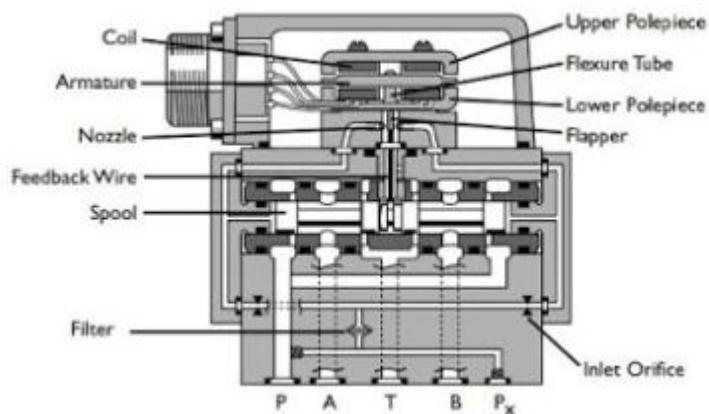
Gambar 4.7 *Valve* bahan bakar turbin gas

Moda kegagalan yang menjadi moda kegagalan kritis dan masuk dalam kategori *extreme risk* adalah moda kegagalan nomor 46 (*valve* bahan bakar tidak terbuka) dan 47 (*valve* kembali menutup). Setelah melakukan diskusi dengan pihak pemeliharaan, penyebab *valve* bahan bakar tidak terbuka adalah permasalahan di servo *valve* dan sinyal perintah yang dikirimkan dari *control room* menuju *control valve* tidak sampai. Sedangkan penyebab *valve* kembali menutup lebih sering diakibatkan terjadi perbedaan tekanan antara inlet dan outlet dari *control valve* MTCSO atau STPCSO. Apabila ada perbedaan tekanan lebih dari atau sama dengan $0,5 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ maka *control valve* akan segera diperintahkan untuk menutup. Penyebab perbedaan tekanan ini disebabkan karena suplai bahan bakar yang tiba-tiba turun atau pembukaan *control valve* yang tidak stabil. Sehingga dapat dikategorikan abnormal pada *control valve*.

Beberapa penyebab abnormal pada *valve* bahan bakar antara lain :

- Masalah pada servo *valve* dan mekanis *valve*. Bagian-bagian dari servo *valve* dapat dilihat pada Gambar 4.8. Beberapa kelainan yang pernah ditemukan oleh *expert* bagian pemeliharaan adalah filter tersumbat,

jarum *nozzle* patah atau bengkok dan koil putus. permasalahan pada servo *valve* akan berdampak langsung terhadap karakteristik *valve* bahan bakar. Selain permasalahan dari servo, dapat juga permasalahan berasal dari sistem mekanis *valve*. Secara umum setiap *valve* pasti terdiri dari seat, stem nut, disc dan body. Apabila terjadi keausan pada salah satu bagian pada *valve* seperti seat atau disc, maka *valve* mengalami kebocoran sehingga ada kelebihan fluida yang dialirkan pada *control valve* tersebut.

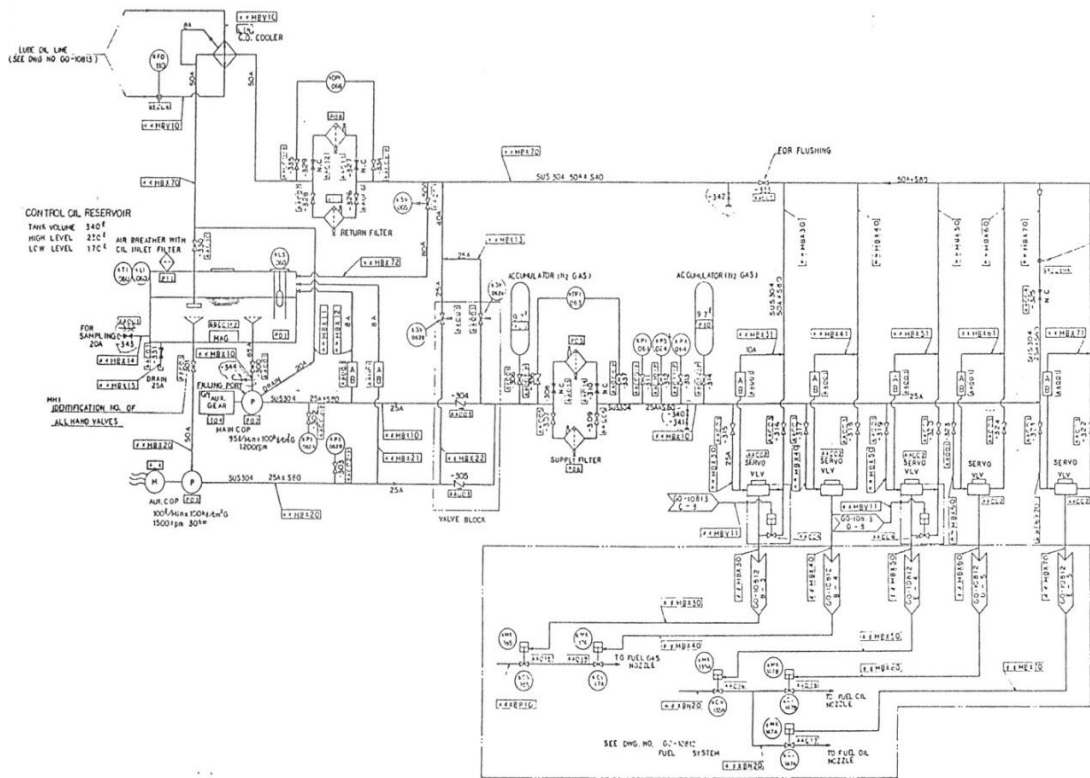


Sumber : <http://www.info-elektro.com>

Gambar 4.8 Bagian-bagian servo *valve*

- Sinyal *open* tidak datang. Hal ini disebabkan jalur komunikasi dari *control room* menuju peralatan ada yang terganggu.
- minyak untuk sistem EDC kotor. Minyak yang digunakan berbeda dengan minyak pelumas. minyak untuk EDC menggunakan sistem minyak kontrol seperti Gambar 4.9. Minyak kontrol disirkulasi menggunakan main *minyak kontrol pump* dan *auxiliary minyak kontrol pump* dengan siklus tertutup. Kotoran dalam minyak dapat disebabkan karena kotoran yang terbawa sepanjang line yang dilalui oleh minyak kontrol. Untuk itu diperlukan pengecekan secara berkala terhadap minyak kontrol agar kotorannya tidak sampai menyumbat filter pada servo *valve*.

- Kualitas servo *valve* kurang baik. Peran servo *valve* sangat vital bagi *control valve*, untuk itu kualitas servo *valve* sangat perlu diperhatikan karena menurut pendapat *expert* kecocokan servo *valve* dengan minyak kontrol yang digunakan akan berdampak pada umur pakai servo *valve*.



Sumber : Operation & Maintenance Manual

Gambar 4.9 P&ID Sistem minyak kontrol

Beberapa gangguan dari *control valve* bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 4.6. Mitigasi risiko yang perlu dilakukan adalah :

- Melakukan pengecekan secara berkala kebersihan dari minyak kontrol.
- Memastikan sinyal dari *control valve* selalu terbaca dan monitoring terhadap kondisi kabel sinyal
- Meningkatkan *quality control* saat melakukan pengadaan atau pembelian servo *valve*
- Melakukan uji buka tutup *control valve* bahan bakar saat unit turbin gas dalam kondisi *standby*. Hal ini untuk mengetahui karakteristik dari *control valve* apakah ada perubahan atau tidak. Jika terdapat perubahan

karakteristik, maka dapat diketahui lebih dini sehingga saat unit proses start kegagalan dari *control valve* bahan bakar dapat dihindari.

Tabel 4.6 Data gangguan pada *control valve* bahan bakar

Tanggal	Gangguan
18-05-2009	Perbaikan/adjust CV BBM.
11-08-2009	Jam 16:30 GT#33 gagal start karena gangguan CV BBG.
28-07-2014	GT#2.1 Forced Outage (Start Failure karena CV Bahan Bakar Hunting)
30-10-2014	Jam 09:39 GT 2.1 trip gangguan CV BBG
24-11-2014	Jam 10:28 PB Start GT 2.2 setelah kalibrasi CV BBG 165 by kontrol
08-01-2015	Jam 18:16 GT#2.2 Trip (penyebabnya CV BBG 174 Abnormal)
06-10-2015	Jam 10:08 GT#3.1 Trip (Gangguan CV servo modul deviasi high, CV BBG).
29-04-2016	GT#2.1 Start Failure (Perbaikan dan kalibrasi CV BBM
24-05-2016	Jam 07:30 (GT#1.3 Start Failure, CV 165 tidak bisa open)
29-07-2016	Jam 17:14 GT 3.1 FO1 karena CV BBG menutup (konfirmasi P2B haekal)

3. Tidak terjadi pembakaran

Proses pembakaran terjadi pada area *combuster*. fungsi pembakaran adalah menghasilkan entalpi kalor sebagai tenaga untuk memutar turbin. Proses pembakaran tidak lepas dari unsur segitiga api yang terdiri dari udara, bahan bakar dan panas. Udara disediakan oleh kompresor yang nanti akan melewati IGV, suplai bahan bakar diatur oleh *control valve* bahan bakar dan panas awal untuk memantik dihasilkan oleh *igniter*. Apabila dalam proses start gagal terjadi pembakaran, maka unit turbin gas akan kembali ke posisi *turning* yaitu putaran 3 RPM.

Tanda terjadinya pembakaran dalam *sequence* urutan start turbin gas ditandai dengan menyalnya indikator FLAME ON. Dari hasil brainstorming dengan pihak *expert* dan studi literatur, gagal pembakaran disebabkan karena *igniter* abnormal, *valve* bahan bakar tiba-tiba menutup dan tidak terjadi pembakaran. Untuk *igniter* abnormal dibahas lebih lanjut pada moda kegagalan *igniter* abnormal dan untuk *valve* bahan bakar tiba-tiba menutup

dibahas lebih lanjut pada moda abnormal pada *valve* bahan bakar. Sedangkan tidak terjadinya pembakaran atau gagal pembakaran disebabkan oleh :

- *nozzle* burner buntu dan ada kebocoran pada area *combuster*. Setelah bahan bakar melalui *control valve*, bahan bakar disemprotkan melalui *nozzle-nozzle* yang berada di area *combuster*. terdapat 18 item *nozzle* dalam satu *combuster* yang terpasang secara melingkar. Ada potensi salah satu atau beberapa *nozzle* dalam kondisi buntu karena tersumbat kotoran terutama saat menggunakan bahan bakar minyak. Apabila ada *nozzle* yang buntu maka pengkabutan bahan bakar didalam *combuster* kurang sempurna sehingga dapat berpotensi tidak terjadi pembakaran dalam area *combuster*. Selain itu kebocoran pada *combuster* juga dapat mengakibatkan suplai udara untuk pembakaran dan bahan bakar keluar area *combuster*. hal ini menyebabkan tekanan yang diperlukan *combuster* untuk melakukan proses pembakaran tidak tercapai sehingga dapat menimbulkan gagal pembakaran. Selain itu sangat berisiko terhadap peralatan dan lingkungan apabila ada kebocoran pada area *combuster* karena dapat menimbulkan kebakaran yang serius.
- Pembukaan IGV dan suplai udara yang kurang. Kedua hal ini sangat berkaitan karena pintu utama masuknya udara menuju *combuster* adalah IGV. Pembukaan IGV yang sesuai akan memberikan tekanan udara pada *combuster* sesuai dengan kebutuhan pembakaran. Pembukaan IGV yang kurang akan mengurangi suplai udara yang masuk sehingga dapat berpotensi menimbulkan gagal pembakaran. Pembukaan IGV yang tidak sesuai dapat mengakibatkan surging pada kompresor sehingga berpotensi menimbulkan getaran yang besar dan kerusakan serius pada sudu kompresor.
- Tekanan bahan bakar kurang. sama halnya dengan tekanan udara seperti yang dibahas sebelumnya, tekanan bahan bakar yang kurang menyebabkan kebutuhan dalam pembakaran tidak sesuai sehingga dapat berpotensi terjadi gagal pembakaran. Beberapa faktor yang mempengaruhi tekanan bahan bakar yang masuk dalam *combuster* berkurang antara lain, pembukaan *control valve* yang kecil, tekanan dari

pompa bahan bakar (khusus bahan bakar minyak) kecil akibat banyaknya kotoran, penurunan performa pompa, viskositas minyak tinggi dan kondisi bahan bakar tinggal sedikit.

Apabila ketiga penyebab tersebut tidak terjadi sedangkan indikator FLAME ON tidak menyala, dapat dilihat indikator tekanan *combuster* dan temperature blade path apakah naik atau tidak. Jika indikator tekanan *combuster* dan temperature blade path tidak naik, maka secara aktual pada area *combuster* tidak terjadi pembakaran. Sedangkan jika indikator tekanan *combuster* dan temperature blade path naik namun indikator FLAME ON tidak menyala, maka yang bermasalah adalah sensor pembakaran. Sensor tersebut tidak mampu mengirimkan sinyal pembakaran pada sistem kontrol. Jika hal tersebut terjadi, apabila dalam waktu tiga detik sinyal pembakaran tidak terkirim ke sistem, maka dinyatakan gagal start oleh sistem dan putaran turbin kembali ke 3 RPM. Moda kegagalan ini sesuai dengan moda kegagalan nomor 54 yang masuk dalam risiko kritis menurut perhitungan RPN namun tidak masuk dalam kategori *extreme risk* dalam *risk matrix*. Beberapa permasalahan yang pernah dialami ketika sensor pembakaran tidak dapat mengirimkan sinyal kepada sistem disebabkan oleh kerusakan pada sensor pembakaran, kerusakan pada transformator sensor pembakaran dan masalah pada kabel pengirim sinyal. Beberapa gangguan dari gagal pembakaran dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data gangguan gagal pembakaran

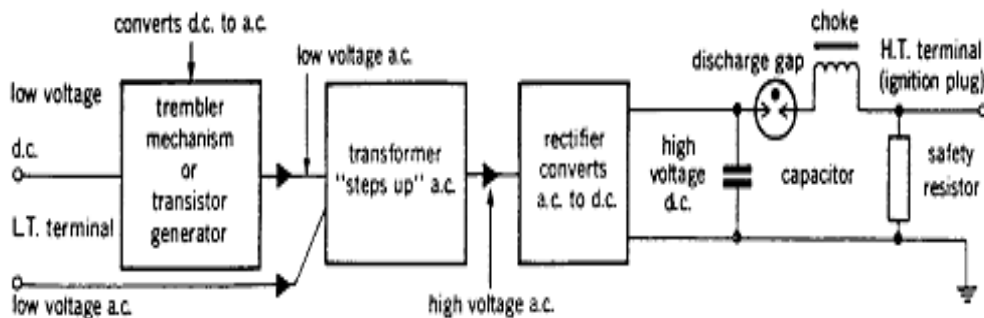
Tanggal	Gangguan
15-05-2007	GT 11 Gagal Start / Flame Out Trip
01-04-2007	GT 11 Gagal start , Flame out Trip
30-04-2007	GT 13 gagal start / flame out
16-04-2018	Jam 08:10 Flame out/ gagal pembakaran.
23-06-2010	Jam 12:03 GT 21 Start Failure Flame Out Trip
05-07-2010	jam 05:14 GT #2.1 gagal start karena tidak ada pembakaran
04-08-2010	jam 05:57 GT #2.1 gagal start flame out trip
23-04-2012	Jam 16:40 GT#21 Gagal start gagal pembakaran
13-06-2018	Jam 16:20 GT#2.1 status Start Failure (Flame out trip)
04-09-2018	Jam 09:12 GT#2.1 Startup Failure karena Flame Out Trip, Konfirmasi P2B

Untuk menghindari kegagalan start akibat tidak terjadi pembakaran, mitigasi risiko yang dapat dilakukan adalah :

- Pengecekan secara periodik pada *nozzle*, IGV dan area *combuster* terutama saat unit dalam kondisi *standby*
- Melakukan sirkulasi bahan bakar (khusus minyak) menggunakan pompa minyak untuk mengetahui kondisi performa pompa, mengurangi kotoran minyak dan pengendapan pada tanki minyak.

4. Abnormal pada *igniter*

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa *igniter* berfungsi sebagai pemantik untuk proses pembakaran. Sistem *igniter* terdiri dari beberapa peralatan seperti transformator, kapasitor dan plug *igniter* seperti pada Gambar 4.10 berikut.



Sumber : Operation & Maintenance Manual
Gambar 4.10 Sistem *Igniter*

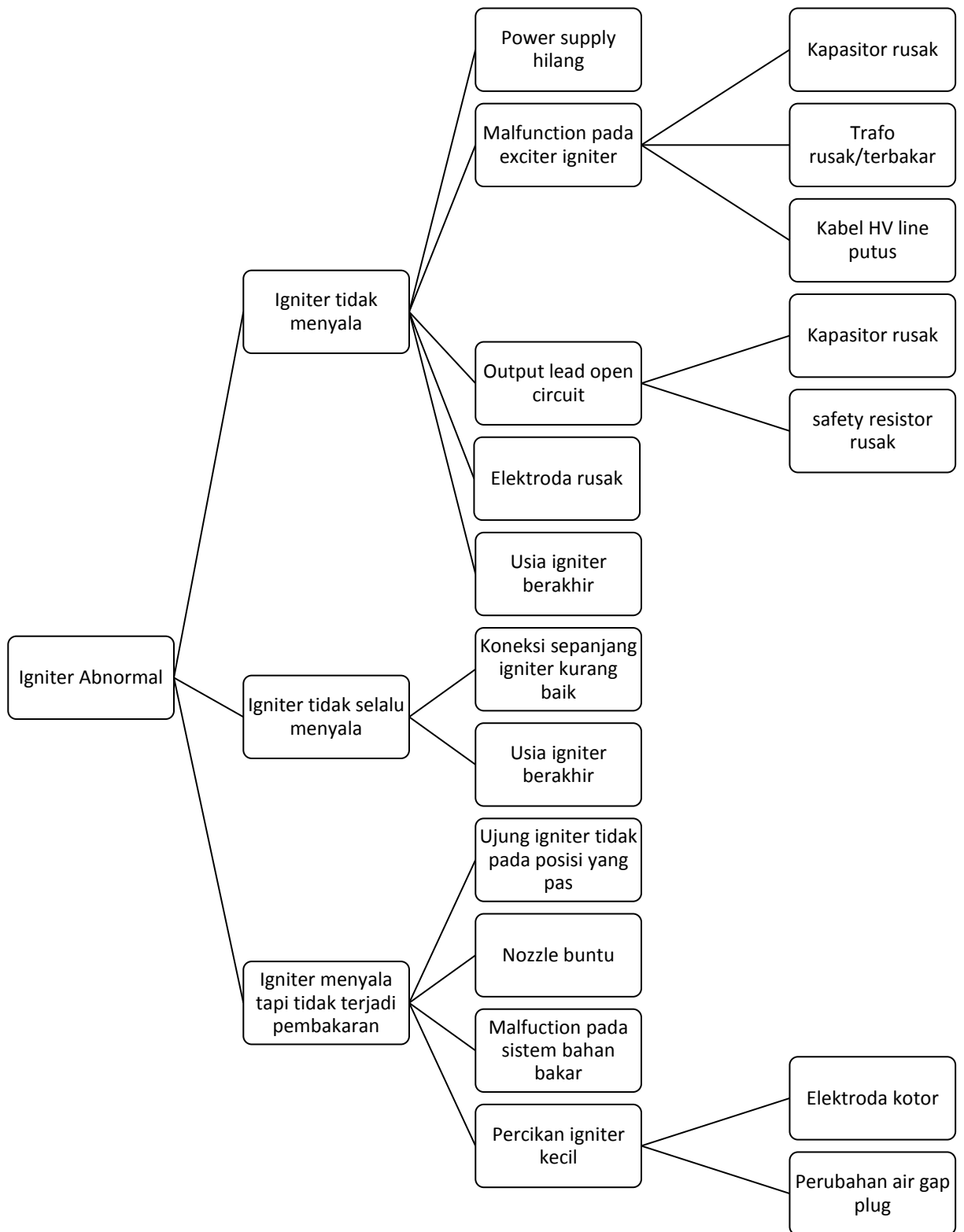
Dari hasil studi literatur dan diskusi dengan pihak *expert* bidang pemeliharaan, abnormal pada *igniter* disebabkan karena masalah pada breaker, *sequence* untuk penyalaan *igniter* belum terpenuhi, selector pada breaker *igniter* tidak dalam kondisi auto sehingga saat perintah penyalaan *igniter* datang alat ini tidak dapat memantik, keausan pada plug *igniter* akibat usia pemakaian, *igniter* kehilangan sumber tegangan dan kotoran pada plug *igniter*. Lebih lanjut dalam literatur juga ada beberapa indikasi kegagalan *igniter* yaitu *igniter* tidak menyala, *igniter* kadang menyala kadang tidak dan

igniter menyala tapi kecil yang tergambar dalam bagan pada Gambar 4.11 berikut. Mitigasi risiko yang dapat dilakukan adalah :

- Selalu memastikan selector pada breaker *igniter* dalam kondisi auto
- melakukan pengukuran arus dan tegangan pada breaker dan transformator *igniter*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kesiapan dan kondisi *igniter*. Pengukuran ini dapat mengetahui lebih dini kondisi *igniter* apabila power supply hilang, kerusakan pada kapasitor, trafo dan kabel konektor, kondisi elektroda plug *igniter* apakah dalam kondisi kotor atau mengalami keausan akibat usia pemakaian. Beberapa gangguan dari abnormal pada *igniter* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data kerusakan pada *igniter*

Tanggal	Gangguan
05-10-2008	<i>Igniter</i> GT#1.3 Trouble
05-10-2008	<i>Igniter</i> Trouble Arus terlalu rendah
12-11-2010	Jam 16:43 GT#2.1 52G ON (BBM) Perbaiki <i>igniter</i> / ganti <i>igniter</i> 2 pcs
04-06-2010	jam 07:30 GT #2.3 gagal start (<i>igniter</i> tidak nyala)
24-02-2011	jam 06:17 GT #2.2 gagal start (BBM / amp <i>igniter</i> 2.3A)
16/06/2015	<i>Igniter</i> GT#2.3 abnormal
22/11/2015	<i>Igniter</i> #GT 3.1 arus rendah
13/03/2017	<i>Igniter</i> GT#2.1 abnormal
29/11/2018	<i>Igniter</i> GT #2.1 Abnormal
26/10/2018	Mohon pelepasan <i>igniter</i> GT # 1.1



Gambar 4.11 Bagan kegagalan *igniter*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut ini penarikan kesimpulan yang didapatkan dari hasil pembahasan,

1. Didapatkan 75 moda kegagalan yang berpotensi menimbulkan gagal start.
2. Dari hasil perhitungan nilai RPN dan analisa menggunakan *risk matrix*, didapatkan empat moda kegagalan kritis yaitu :
 - Tekanan *torque converter* rendah
 - Abnormal pada *valve* bahan bakar
 - Tidak terjadi pembakaran
 - Abnormal pada *igniter*
3. Setelah dilakukan analisa terhadap empat moda kegagalan kritis menggunakan *fishbone diagram*, didapatkan beberapa mitigasi risiko sebagai langkah *preventive maintenance* sebagai berikut :
 - a) Tekanan *torque converter* rendah
 - Pengecekan pegas regulator *valve* dan *solenoid valve* secara berkala
 - Adanya *quality control* saat pembelian atau pengadaan regulator *valve*
 - Pengecekan berkala pada minyak pelumas terkait kondisi minyak dan ada tidaknya kandungan udara
 - b) Abnormal pada *valve* bahan bakar
 - Melakukan pengecekan secara berkala kebersihan dari minyak kontrol
 - Memastikan sinyal dari *control valve* selalu terbaca dan monitoring terhadap kondisi kabel sinyal
 - Meningkatkan *quality control* saat melakukan pengadaan atau pembelian *servo valve*
 - Melakukan uji buka tutup *control valve* bahan bakar saat unit turbin gas dalam kondisi *standby*

- c) Tidak terjadi pembakaran
 - Pengecekan secara periodik pada *nozzle*, IGV dan area *combuster* terutama saat unit dalam kondisi *standby*
 - Melakukan sirkulasi bahan bakar (khusus minyak) menggunakan pompa minyak
- d) Abnormal pada *igniter*
 - Selalu memastikan selector pada breaker *igniter* dalam kondisi auto
 - melakukan pengukuran arus dan tegangan pada breaker dan transformator *igniter*.

5.2 Saran

Berikut ini ialah saran-saran yang dapat dilakukan dikemudian hari untuk menyempurnakan penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Dilakukan penelitian pada masing-masing moda kegagalan dengan lebih rinci agar didapatkan jenis mitigasi risiko yang lebih spesifik sehingga risiko terjadinya gagal start pada turbin gas dapat lebih diturunkan lagi.
2. Perlu dilakukan adanya kajian dan evaluasi lebih lanjut dengan pihak terkait untuk penerapan usulan mitigasi risiko yang telah dibuat
3. Dilakukan penelitian mengenai kualitas kinerja sumber daya manusia (SDM) dan vendor guna memitigasi risiko yang ditimbulkan oleh sumber daya manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, D. (2018). *Biaya pemeliharaan pembangkitan listrik capai Rp. 2 triliun*. Retrieved March 29, 2019, from <https://www.suaramerdeka.com/news/baca/133595/biaya-pemeliharaan-pembangkitan-listrik-capai-rp-2-triliun>.
- Afriyadi, A. D. (2019). *Baru 8% Proyek 35.000 MW yang Beroperasi*. Retrieved March 20, 2019, from <https://finance.detik.com/energi/d-4380000/baru-8-proyek-35000-mw-yang-beroperasi>.
- Ambekar, S. B., Edlabadkar, A., & Shrouty, V. (2013). *A Review: Implementation of Failure Mode and Effect Analysis*. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2(8).
- American Society of Safety Engineers. (2011). *American National Standard Risk Management Principles and Guidelines*. Illinois: American National Standards Institute, Inc.
- Anthony, M. T. & McKay, J. (1992). *From experience: Balancing the product development process: Achieving product and cycle-time excellence in high-technology industries*. *Journal of Product Innovation Management* Vol. 9, Issue 2, June 1992, p: 140-147
- Aravinth, P., Kumar, T. M., Dakshinamoorthy, A., & Kumar, N. A. (2012, July). *A Criticality Study by Design Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Procedure in Lincoln V350 Pro Welding Machine*. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 611-617.
- Assauri, S. (2008). *Manajemen Produksi dan Operasi. Edisi revisi 2008*. Jakarta: Fakultas Ekonomi, Universitas Indonesia.
- Baranoff, E., Brockett, P. L., & Kahane, Y. (2012). *Enterprise and Individual Risk Management*.
- Boyce, Maherwan P. (2012). *Gas Turbine Engineering Handbook*. Fourth Edition. UK. Elsevier.
- Budis, (2016). *Mengenal Prinsip Kerja Moog Servo Valve*. Retrieved July 2, 2019, from <https://www.info-elektro.com/2016/03/mengenal-prinsip-kerja-moog-servo-valve.html>.
- Carlson, C. S. (2014). *Understanding and Applying the Fundamentals of FMEAs. 2014 Annual Reliability and Maintainability Symposium*. Tucson, Arizona: IEEE.
- De Souza, G.F.M. & Carazas, F.C.G. (2012). *Thermal Power Plant Performance Analysis*. London: Springer.

- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering Maintenance A Modern Approach*. USA: CRC Press.
- Ebeling, C.E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability for Engineering*. First edition. New York: McGraw Hill.
- Ekstrom, Thomas E. (1995). *Reliability/Availability Guarantees of Gas Turbine and Combined Cycle Generating Units*. IEEE Transactions on Industry Applications Vol. 31, No. 4 p: 691-707
- H.Arabian-Hoseynabadi, H.Oraee & P.J.Tavner. (2010). *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for wind turbines*. Elsevier. International Journal of Electrical Power & Energy Systems Vol. 32, Issue 7, p: 817-824
- Heizer, J. (2002). *Principles of Operation Management*. New Jersey: Prentice Hall
- Higgins, L. R.&Mobley R. K. (2002). *Maintenance Engineering Handbook Sixth Edition*. USA: McGraw-Hill.
- Hopkin, P. (2012). *Fundamentals of Risk Management: Understanding, Evaluating and Implementing Effective Risk Management*. London, Philadelphia, New Delhi: Kogan Page.
- Komarasakti, Dekrita (2008). *Analisis Biaya Pemeliharaan Mesin Terhadap Kualitas Produksi pada PT. X*. Jurnal Computech & Bisnis ISSN 1978-962 Vol. 2, No. 1 p: 52-59
- La Ode, Muh. A W. (2006). *Perbandingan Biaya Pembangunan Pembangkit Listrik di Indonesia*.
- Madarina, Najma. (2017). *Analisa Risiko Pada Proyek Pembangunan Gelora Joko Samudro Tahap Kedua di Kabupaten Gresik dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*. Laporan Tesis. MMT ITS.
- Manahan, Tampubolon P. (2004). *Manajemen Operasional*. Edisi Pertama. Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Mulcahy, R. (2010). *Risk Management Tricks of the Trade for Project Managers PMI-RMP Exam Prep Guide*. RMC Publications.
- Operation & Maintenance Manual*. Gresik: MHI Ltd.
- Oxford University Press. (n.d.). *Oxford Dictionaries*. Retrieved January 9, 2016, from oxforddictionaries.com
- Panchal, D. & Kumar, D. (2017). *Risk Analysis of Compressor House Unit in Thermal Power Plant Using Integrated Fuzzy FMEA and GRA Approach*. Int. J. Industrial and Systems Engineering, Vol. 25, No. 2 p: 228-250
- PT. PLN (Persero). (2017). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN 2018-2027*.
- Pradana, S.S. (2019). *analisa risiko penurunan kualitas batubara pada PLTU batubara menggunakan FMECA*. Laporan Tesis. MMT ITS.

- Pujiono, B.N., Tama, I.P., & Efranto, R.Y. (2013). *ANALISIS POTENSI BAHAYA SERTA REKOMENDASI PERBAIKAN DENGAN METODE HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) MELALUI PERANGKINGAN OHS RISK ASSESSMENT AND CONTROL (Studi Kasus: Area PM-1 PT. Ekamas Fortuna)*. Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri, Vol.1 No.2 p:253-264.
- Rachmawati, A. D., dkk. (2012). *Analisis Statistik Kepuasan Pelanggan Terhadap Service Quality Unit Pembangkit PT. Pembangunan Jawa – Bali*. Jurnal Sains dan Seni ITS Vol. 1 Issue 1 (2011) p: 329-334
- Rausand, M. (2004). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications*, Departement Productique et Automatique Nantes Cedex 3, France.
- Setiawan, F. D. 2008. *Perawatan Mekanikal Mesin Produksi*. Yogyakarta: Maximus.
- Stamatis, D.H. (2003). *Failure mode Effect Analysis : FMEA From Theory to Execution*. Second Edition. ASQ Quality Press: Wisconsin.
- Suef. Mokh. (2016). *Quality in Product and Process Design*. Materi Ajar Manajemen Industri. MMT ITS
- Sugiharto, R. (2009). *Perancangan Heat Recovery Steam Generator (HRSG) dengan Sistem Tekanan Uap Dua Tingkat Kapasitas Daya Pembangkitan 77 MW*. Medan. Universitas Sumatera Utara.
- Taufik, A. (2014). *EVALUASI KINERJA PEMELIHARAAN PLTA DENGAN PENDEKATAN MAINTENANCE SCORECARD DAN OBJECTIVE MATRIX (OMAX) (Studi Kasus Unit Pembangkit Listrik Tenaga Air Maninjau)*. Jurnal Optimasi Sistem Industri, Vol. 13 No. 1 p: 562-575
- Xiao, N., Huang, H.-Z., Li, Y., He, L., & Jin, T. (2011). *Multiple Failure Modes Analysis and Weighted Risk Priority Number Evaluation in FMEA*. Engineering Failure Analysis, 1162-1170.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1. Data Start Failure tahun 2017

Plant	Activity	Mulai		Akhir		Keterangan	Sumber	Lama Waktu			
		Tanggal	Jam	Tanggal	Jam			Hari	Jam	Menit	
Blok 1	Plant GT #1.2	334-(SF) Startup Failure	27-07-2017	09:50	27-07-2017	09:51	Jam 09:50 GT 1.2 SF gangguan pasokan gas kei trip compresor B (konfirmasi P2B inggih)	Eksternal		22 jam	28 menit
	Plant GT #1.2	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	27-07-2017	09:51	28-07-2017	08:18	Jam 09:51 GT 1.2 RS (standby) konfirmasi P2B inggih				
	Plant GT #1.2	334-(SF) Startup Failure	29-07-2017	11:16	29-07-2017	12:12	Jam 11:16 GT 1.2 SF (gangguan HP Bleed Valve) konfirmasi P2B eko	Internal			56 menit
	Plant GT #1.2	210-Operasi Normal	29-07-2017	12:12	02-08-2017	23:47	Jam 12:12 GT 1.2 52G on (BBG), jam 13:16 HP BOV open (perbaikan bleed valve selesai) konfirmasi P2B eko				
blok 2	Plant GT #2.1	334-(SF) Startup Failure	25-02-2017	08:30	25-02-2017	08:31	keterbatasan gas KEI (pekerjaan gas KEI sehingga pasokan dibatasi dari 80 mmscf turun menjadi 52 mmscf) OMC	Eksternal	19 hari	16 jam	31 menit
	Plant GT #2.1	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	25-02-2017	08:31	17-03-2017	01:01	Jam 08:31 Status SF release by P2B/Bpk Inggih (catatan untuk complain ke produsen gas).				
	Plant GT #2.2	334-(SF) Startup Failure	25-02-2017	08:30	25-02-2017	08:31	keterbatasan gas KEI (pekerjaan gas KEI sehingga pasokan dibatasi dari 80 mmscf turun menjadi 52 mmscf) OMC	Eksternal	20 hari	5 jam	59 menit
	Plant GT #2.2	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	25-02-2017	08:31	17-03-2017	14:29	Jam 08:31 Status SF release by P2B/Bpk Inggih (catatan untuk complain ke produsen gas .				
	Plant GT #2.2	334-(SF) Startup Failure	11-08-2017	07:06	11-08-2017	07:07	Jam 07:06 GT#2.2 SF terkait gangguan pasokan gas KEI (Bp Inggih)	Eksternal	3 hari	3 jam	28 menit
	Plant GT #2.2	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	11-08-2017	07:07	14-08-2017	10:34	Jam 07:07 GT#2.2 RS (standby) P2B/bp Inggih				
	Plant GT #2.2	334-(SF) Startup Failure	15-08-2017	12:45	15-08-2017	12:46	Jam 12:45 GT #2.2 SF karena gangguan pasokan gas KEI	eksternal	7 hari	3 jam	9 menit
	Plant GT #2.2	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	15-08-2017	12:46	22-08-2017	15:54	Jam 12:46 GT #2.2 Standby normal (release SF)				
	Plant GT #2.2	334-(SF) Startup Failure	09-10-2017	08:30	09-10-2017	08:31	Jam 08:30 GT#2.2 status SF Krn press header ORF rendah & perbaikan di PHE)	Eksternal	7 hari	6 jam	57 menit
	Plant GT #2.2	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	09-10-2017	08:31	16-10-2017	15:27	Jam 08:31 GT#2.2 standby normal (release SF)				
	Plant GT #2.2	334-(SF) Startup Failure	21-10-2017	16:13	21-10-2017	22:16	Jam 16:13 GT#2.2 SF (Vibrasi High)	internal		6 jam	3 menit
	Plant GT #2.2	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	21-10-2017	22:16	22-10-2017	16:00	Jam 22.16 GT#2.2 Standby Normal, Release SF				
	Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	09-08-2017	07:00	09-08-2017	07:01	Jam 07:00 GT #2.3 SF karena gangguan pasokan gas KEI	Eksternal	3 hari	7 jam	53 menit
	Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	09-08-2017	07:01	12-08-2017	14:53	Jam 07:01 GT #2.3 Standby normal, release SF				
	Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	23-08-2017	09:15	23-08-2017	09:16	Jam 09:15 GT#2.3 Tidak Bisa Sinkron Ke Jaringan (sudah 3000 rpm), Akibat di Penyaluran Terjadi Gangguan Selenoid di PMT 7A2 dan 7AB2 tidak bisa masuk (External OMC).	Eksternal		23 jam	45 menit

	Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	23-08-2017	09:16	24-08-2017	08:30	Jam 09:16 GT#2.3 status SF release (konfirmasi P2B => Bpk. Eko P).				
	Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	24-08-2017	08:30	24-08-2017	08:31	Jam 08:30 Kendala Pasokan Gas KEI (kompressor KEI trip => alarm fire) , flow = 0 mmscfd	Eksternal	1 hari		25 menit
	Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	24-08-2017	08:31	25-08-2017	08:55	Jam 08:31 Status SF release (konfirmasi P2B => Eko P).				
	Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	09-10-2017	08:30	09-10-2017	08:31	Jam 08:30 GT#2.3 status SF Krn press header ORF rendah & perbaikan di PHE)	Eksternal	7 hari	3 jam	6 menit
	Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	09-10-2017	08:31	16-10-2017	11:36	Jam 08:31 GT#2.3 standby normal (release SF)				
	Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	17-10-2017	12:46	17-10-2017	13:28	Jam 12:46 GT 2.3 SF (Ada kendala pada PMT 7AB2 di GITET),Konfirmasi P2B,Bp.Eko.P	Eksternal		1 jam	50 menit
	Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	17-10-2017	13:28	17-10-2017	14:36	Jam 13:28 GT #2.3 Stand By, Perbaikan PMT 7AB2 selesai, konfirmasi P2B, Bp.Eko.P				
blok 3	Plant GT #3.1	334-(SF) Startup Failure	22-10-2017	16:19	22-10-2017	21:00	Jam 16:19 GT#3.1 SF (Kebocoran HRSG)	Internal		4 jam	41 menit
	Plant GT #3.2	334-(SF) Startup Failure	01-01-2017	09:21	01-01-2017	11:36	Jam 09:21 GT 3.2 SF karena flame out trip / gagal penyalaan (konfirmasi P2B martin)	Internal		2 jam	15 menit
	Plant GT #3.2	210-Operasi Normal	01-01-2017	11:36	02-01-2017	08:09	Jam 11:36 GT 3.2 syncroun open cycle (perbaikan flame out selesai) konfirmasi P2B santo				
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	07-02-2017	13:47	07-02-2017	14:35	Jam 13:47 GT#3.3 SF (Pony motor trouble / tidak bisa start).	Internal			48 menit
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	25-02-2017	08:30	25-02-2017	08:31	keterbatasan gas KEI (pekerjaan gas KEI sehingga pasokan dibatasi dari 80 mmscf turun menjadi 52 mmscf) OMC	eksternal	6 hari	23 jam	29 menit
	Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	25-02-2017	08:31	04-03-2017	08:01	Jam 08:31 Status SF release by P2B/Bpk Inggih (catatan untuk complain ke produsen gas .				
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	08-03-2017	06:30	08-03-2017	06:31	Jam 06:30 gangguan pasokan gas PHE (OMC)	eksternal	3 hari	8 jam	41 menit
	Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	08-03-2017	06:31	11-03-2017	15:11	Jam 06:31 Status SF release (catatan untuk complain ke produsen gas).				
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	25-04-2017	13:17	25-04-2017	13:18	jam 13.17 Start failure (OMC pasokan gas) p2b inggih	eksternal	16 hari	18 jam	53 menit
	Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	25-04-2017	13:18	12-05-2017	08:10	Jam 13:18 GT 3.3 Standby Normal				
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	27-07-2017	09:50	27-07-2017	09:51	Jam 09:50 GT 3.3 SF gangguan pasokan gas ke. trip compresor B (konfirmasi P2B inggih)	eksternal	1 hari	2 jam	42 menit
	Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	27-07-2017	09:51	28-07-2017	12:32	Jam 09:51 GT 3.3 RS (standby) konfirmasi P2B inggih				
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	08-08-2017	08:13	08-08-2017	08:14	Jam 08:13 GT#3.3 SF dikarenakan pasokan gas KEI trouble	eksternal	2 hari	22 jam	53 menit
	Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	08-08-2017	08:14	11-08-2017	07:06	Jam 08:14 GT#3.3 Standby Normal, Release status SF				
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	11-08-2017	07:06	11-08-2017	07:07	Jam 07:06 GT#3.3 SF terkait gangguan pasokan gas KEI, P2B/ bp Inggih	eksternal	1 hari	7 jam	34 menit

Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	11-08-2017	07:07	12-08-2017	14:40	Jam 07:07 GT#3.3 RS (standby) (Bp Inggih)						
Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	12-08-2017	14:40	12-08-2017	14:41	Jam 14:40 SF terkait Gangguan GAS KEI (Bp imam)	eksternal	1 hari	0 jam	26 menit		
Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	12-08-2017	14:41	13-08-2017	15:06	Jam 14:41 RS (standby) (Bp imam)						
Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	15-08-2017	12:45	15-08-2017	12:46	Jam 12:45 GT #3.3 SF karena gangguan pasokan gas KEI	eksternal	3 hari	20 jam	22 menit		
Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	15-08-2017	12:46	19-08-2017	09:07	Jam 12:46 Standby normal (release SF)						
Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	24-08-2017	08:30	24-08-2017	08:31	Jam 08:30 Kendala Pasokan Gas KEI (kompressor KEI trip => alarm fire) , flow = 0 mmscfd	eksternal	3 hari	7 jam	8 menit		
Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	24-08-2017	08:31	27-08-2017	15:38	Jam 08:31 Status SF release (konfirmasi P2B => Bpk. Eko P).						
Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	09-10-2017	08:30	09-10-2017	08:31	Jam 08:30 GT#3.3 status SF (Krn press header ORF rendah & perbaikan di PHE)	eksternal	5 hari	22 jam	34 menit		
Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	09-10-2017	08:31	15-10-2017	07:04	Jam 08:31 GT#3.3 standby normal (reslease SF)						
Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	20-10-2017	08:10	20-10-2017	08:29	Jam 08:10 GT#3.3 status SF karena kendala pada card module diameter 4 di GITET Plant saat akan sinkron ke jaringan (P2b/Bagus)	eksternal		15 jam	32 menit		
Plant GT #3.3	210-Operasi Normal	20-10-2017	08:29	20-10-2017	23:42	Jam 08:29 GT#3.3 52G ON (BBG) normal operasi, release status SF, jam 09:22 HP BOV SG#3.3 Open (P2b/bagus)						
Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	29-11-2017	08:43	29-11-2017	11:33	Jam 08:43 GT#3.3 Start Faillure (gagal pembakaran) konfirmasi P2B/bp Imam	Internal		2 jam	50 menit		
Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	06-12-2017	08:00	06-12-2017	08:01	Jam 08:00 GT#3.3 Status SF (OMC) Karena Pressure ORF Rendah.	eksternal	1 hari	5 jam	33 menit		
Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	06-12-2017	08:01	07-12-2017	13:33	Jam 08:01 GT#3.3 Release status SF, kondisi RS Normal.						

Lampiran 2. Data Start Failure tahun 2018

Plant	Activity	Mulai		Akhir		Keterangan	Sumber	Lama Waktu			
		Tanggal	Jam	Tanggal	Jam			Hari	Jam	Menit	
blok 1	Plant GT #1.3	334-(SF)	Startup Failure	16-04-2018	08:00	16-04-2018	10:17	Jam 08:10 Flame out/ gagal pembakaran.	internal	2 jam	17 menit
	Plant GT #1.3	334-(SF)	Startup Failure	26-12-2018	16:30	26-12-2018	16:47	Jam 16:30 GT#1.3 status SF, perintah Start jam 16:00 , akibat press Gas rendah, menunggu PLTU 3 & 4 turun beban , koordinasi dengan Pertagas utk menaikkan press ke Header (by Bp Amril P2B)	eksternal		17 menit
blok 2	Plant GT #2.1	334-(SF)	Startup Failure	27-01-2018	08:30	27-01-2018	08:31	Jam 08:30 GT#2.1 status Start Failure krn pasokan gas minim	eksternal	22 jam	42 menit
	Plant GT #2.1	110-Reserve Shutdown (standby)	Normal	27-01-2018	08:31	28-01-2018	07:12	Jam 08:31 GT#2.1 status RSH ->release status SF.			
	Plant GT #2.1	334-(SF)	Startup Failure	28-01-2018	07:12	28-01-2018	07:13	Jam 07:12 GT#2.1 status SF (Kei partial shut down PM 4000 jam)	eksternal	1 hari	0 jam 49 menit
	Plant GT #2.1	110-Reserve Shutdown (standby)	Normal	28-01-2018	07:13	29-01-2018	08:01	Jam 07:13 GT#2.1 release status SF. (RSH normal)			
	Plant GT #2.1	334-(SF)	Startup Failure	30-01-2018	07:35	30-01-2018	08:46	Jam 07:35 GT #2.1 SF (Electric fault) konfirmasi P2B/bp Eko	internal	1 jam	11 menit
	Plant GT #2.1	210-Operasi	Normal	30-01-2018	08:46	30-01-2018	20:19	Jam 08:46 GT#2.1 Normal Operasi , jam 09:43 #SG 2.1 HP BOV open (konfirmasi P2B => Bpk. Inggih).			
	Plant GT #2.1	334-(SF)	Startup Failure	01-02-2018	08:20	01-02-2018	08:21	GT #2.1 Tidak bisa start karena pasokan gas KEI Trouble.	eksternal	23 jam	3 menit
	Plant GT #2.1	110-Reserve Shutdown (standby)	Normal	01-02-2018	08:21	02-02-2018	07:23	Jam 08.21 Pasokan Gas KEI Normal			
	Plant GT #2.1	334-(SF)	Startup Failure	11-04-2018	07:38	11-04-2018	09:43	Jam 07:38 GT#2.1 Start Failure (Flame out trip / CV BBM abnormal).	internal	2 jam	5 menit
	Plant GT #2.1	231-(FD1)	Forced Derating Immediate	11-04-2018	09:43	11-04-2018	23:30	Jam 09:43 GT#2.1 52G On by BBM (Satatus SF realease => Konfirmasi P2B / Bpk.Imam) , jam 11:53 HP BOV SG#2.1 Open.			
	Plant GT #2.1	334-(SF)	Startup Failure	13-06-2018	16:20	13-06-2018	19:50	Jam 16:20 GT#2.1 status Start Failure (Flame out trip)	internal	3 jam	30 menit
	Plant GT #2.1	334-(SF)	Startup Failure	10-08-2018	08:20	10-08-2018	09:04	Jam 08:20 GT#2.1 Status SF karena Flame Out Trip (Start BBM), Konfirmasi P2B/Bpk. Achirul	internal		44 menit
	Plant GT #2.1	334-(SF)	Startup Failure	04-09-2018	09:12	04-09-2018	10:01	Jam 09:12 GT#2.1 Startup Failure karena Flame Out Trip, Konfirmasi P2B/Bpk. Imam	internal		49 menit
	Plant GT #2.1	334-(SF)	Startup Failure	13-09-2018	08:20	13-09-2018	10:44	Jam 08:20 GT#2.1 Status SF kendala Flame out, konfirmasi P2B bp Robi	internal	2 jam	22 menit

Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	23-01-2018 09:03	23-01-2018 09:04	Jam 09:03 GT#2.3 SF, terkait pasokan gas dari KEI pressure rendah	eksternal	1 hari	22 jam	59 menit
Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	23-01-2018 09:04	25-01-2018 08:02	Jam 09:04 GT#2.3 release SF (konfirmasi P2B/bp Inggih)				
Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	27-01-2018 08:30	27-01-2018 08:31	Jam 08:30 GT#2.3 status Start Failure krn pasokan gas minim	eksternal		22 jam	42 menit
Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	27-01-2018 08:31	28-01-2018 07:12	Jam 08:31 GT#2.3 status RSH -> release status SF.				
Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	28-01-2018 07:12	28-01-2018 07:13	Jam 07:12 GT#2.3 status SF (Kei partial shut down PM 4000 jam)	eksternal	2 hari		58 menit
Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	28-01-2018 07:13	30-01-2018 08:10	Jam 07:13 GT#2.3 release status SF. (RSH normal)				
Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	30-01-2018 08:10	30-01-2018 09:29	Jam 08:10 GT #2.3 SF (Electric fault) konfirmasi P2B => Bpk. Inggih.	internal		1 jam	19 menit
Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	21-02-2018 08:43	21-02-2018 09:28	Jam 08:43 GT#2.3 SF (gagal start problem exciter)	internal			45 menit
Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	12-04-2018 07:47	12-04-2018 08:17	Jam 07:47-08:17 GT#2.3 Start Failure karena CV BBM Deviasi High (Konfirmasi P2B/Bpk. Robi)	internal			30 menit
Plant GT #2.3	331-(FO1) Forced Outage Immediate	14-04-2018 08:00	14-04-2018 08:01	Jam 08:00 GT #2.3 FO1 karena start bbg tidak bisa terkait mampu gas	eksternal		23 jam	40 menit
Plant GT #2.3	130-Standby dg Forced Derating	14-04-2018 08:01	15-04-2018 07:40	Jam 08:01 release FO1				
Plant GT #2.3	331-(FO1) Forced Outage Immediate	15-04-2018 07:40	15-04-2018 07:41	Jam 07:40 GT #2.3 FO1 karena Terkait Gas KEI 0 dan Tidak Bisa menambah Unit sesuai ROH	eksternal	1 hari	2 jam	11 menit
Plant GT #2.3	130-Standby dg Forced Derating	15-04-2018 07:41	16-04-2018 09:51	Jam 07:41 release FO1				
Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	02-06-2018 08:30	02-06-2018 08:31	Jam 08:30 GT#2.3 status SF (OMC) - Pasokan Gas KEI, pressure rendah	eksternal	1 hari	7 jam	20 menit
Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	02-06-2018 08:31	03-06-2018 15:50	Jam 08:31 GT#2.3 release status SF (SB) - Pasokan gas				
Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	03-06-2018 15:50	03-06-2018 15:51	Jam 15:50 GT#2.3 SF, supply gas pressure rendah	eksternal	1 hari	1 jam	10 menit
Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	03-06-2018 15:51	04-06-2018 17:00	Jam 15:51 GT#2.3 release SF (konfirmasi P2B/bp Inggih)				
Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	04-06-2018 17:00	04-06-2018 17:01	Jam 17:00 GT#2.3 Status SF (external gas pressure rendah)	eksternal	8 hari	23 jam	53 menit

	Plant GT #2.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	04-06-2018	17:01	13-06-2018	16:53	Jam 17:01 GT#2.3 RS (konfirmasi P2B/bp Inggih)						
	Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	29-06-2018	08:00	29-06-2018	08:01	Jam 08:00 GT#2.3 status SF -> Press ORF rendah	eksternal	1 hari				
	Plant GT #2.3	130-Standby dg Forced Derating	29-06-2018	08:01	30-06-2018	08:00	Jam 08:01 GT#2.3 release status SF -> Press ORF rendah						
	Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	30-06-2018	08:00	30-06-2018	08:01	Jam 08:00 GT#2.3 status SF -> Press ORF rendah	eksternal	10 hari	3 jam	23 menit		
	Plant GT #2.3	130-Standby dg Forced Derating	30-06-2018	08:01	10-07-2018	11:23	Jam 08:01 GT#2.3 release status SF -> PM Inspection KEI & Press ORF rendah						
	Plant GT #2.3	334-(SF) Startup Failure	31-08-2018	08:05	31-08-2018	08:34	Jam 08:05 GT#2.3 status SF (gagal pembakaran waktu start BBM) konfirmasi P2B bp Achirul	internal			29 menit		
Blok 3	Plant GT #3.1	334-(SF) Startup Failure	11-03-2018	12:41	11-03-2018	20:22	Jam 12:41 GT #3.1 Start Failure OMC kendala saat synchrone, konfirmasi P2B, Bp. Bagus.	eksternal		7 jam	41 menit		
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	02-06-2018	08:30	02-06-2018	08:31	Jam 08:30 GT#3.3 status SF (OMC) - Pasokan Gas KEI, pressure rendah	eksternal	1 hari	7 jam	20 menit		
	Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	02-06-2018	08:31	03-06-2018	15:50	Jam 08:31 GT#3.3 release status SF (OMC) Pasokan gas , RSH Normal						
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	03-06-2018	15:50	03-06-2018	15:51	Jam 15:50 GT#3.3 SF terkait supply gas pressure rendah	eksternal	1 hari	1 jam	10 menit		
	Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	03-06-2018	15:51	04-06-2018	17:00	Jam 15:51 GT#3.3 RS (konfirmasi P2B/bp Inggih)						
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	04-06-2018	17:00	04-06-2018	17:01	Jam 17:00 GT#3.3 SF (terkait supply pressure gas rendah)	eksternal	10 hari	22 jam	40 menit		
	Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	04-06-2018	17:01	15-06-2018	15:40	Jam 17:01 GT#3.3 RS (konfirmasi P2B/bp Inggih)						
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	29-06-2018	08:00	29-06-2018	08:01	Jam 08:00 GT#3.3 SF -> Press gas rendah	eksternal	1 hari				
	Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	29-06-2018	08:01	30-06-2018	08:00	Jam 08:01 GT#3.3 release status SF -> Press gas rendah						
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	30-06-2018	08:00	30-06-2018	08:01	Jam 08:00 GT#3.3 status SF -> Press gas ORF rendah	eksternal	1 hari	1 jam	26 menit		
	Plant GT #3.3	110-Reserve Shutdown (standby) Normal	30-06-2018	08:01	01-07-2018	09:26	Jam 08:01 GT#3.3 Release status SF -> PM inspection KEI & press Orf Rendah						
	Plant GT #3.3	334-(SF) Startup Failure	22-12-2018	06:31	22-12-2018	14:00	Jam 06:31 GT #3.3 Start Failure (SF), Konfirmasi : P2B / Haekal.	internal		7 jam	29 menit		

Plant GT #3.3 210-Operasi Normal

22-12-2018 14:00 22-12-2018 21:17

Jam 14:00 GT#3.3 52G ON dan jam 15:30 HP BOV SG#3.3 open (Status dari SF ke Operasi normal).

Lampiran 3. Hasil penilaian *severity*

	Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	S									
						1	2	3	4	5	6	7	Rata2		
Ready to start	Semua persyaratan auxiliary harus terpenuhi	Untuk persiapan start	Status otomatis tidak muncul (annunciator)	Breaker bermasalah kabel sinyal / kontrol bermasalah power motor 380 V bermasalah Fuse control breaker putus tegangan control breaker kecil atau hilang posisi selektor tidak pada posisi auto	Turbin gas tidak bisa di start	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2.3
			Tekanan bahan bakar tidak terpenuhi	block valve belum open Filter kotor atau tersumbat terdapat kebocoran gas di sepanjang line	Turbin gas tidak bisa di start	4	3	1	3	1	2	2	2	2	2.3
			Indikator tekanan tidak terbaca di sistem	pressure transmitter problem	Turbin gas tidak bisa di start	4	3	3	3	2	2	2	3	2	2.9
			Pembacaan posisi IGV tidak aktual	masalah pada transmitter posisi	Turbin gas tidak bisa di start	3	2	3	3	2	3	2	2	2	2.6
			Sinyal close tidak terbaca sistem	masalah pada kabel sinyal/control	Turbin gas tidak bisa di start	2	2	2	4	2	2	2	3	2	2.4
			IGV tidak bisa open-close	masalah pada tuas mekanik servo valve abnormal positioner abnormal	Turbin gas tidak bisa di start	3	3	2	4	3	3	3	3	3	3.0
			Tekanan minyak berkurang	AOP bermasalah lube oil filter kotor/tersumbat kebocoran pada line lube oil	Gas turbine trip ke 0 RPM	3	2	1	3	2	1	2	2	2	2.0
			Tekanan minyak hilang	lube oil PCV abnormal lube oil cooler tersumbat	Gas turbine trip ke 0 RPM	4	3	1	3	2	2	2	2	2	2.4
			sinyal pengukuran tekanan minyak tidak terbaca sistem	masalah pada pressure transmitter	Kerusakan pada turbin gas	2	2	2	4	3	2	3	3	2	2.6
	Jacking oil pump berputar	Untuk mengangkat rotor turbin	pompa tidak menghasilkan tekanan	setting pressure dari safety valve tidak sesuai kumparan dari safety valve melekat/lengket orifice dari safety valve buntu/tersumbat strainer kotor	Kerusakan pada turbin gas	4	3	3	4	2	3	3	3	3	3.1
			Tekanan pompa berkurang	suction kondisi tertutup atau terbuka sebagian kebocoran sepanjang line jacking oil	Kerusakan pada turbin gas	3	3	3	3	2	3	2	2	2	2.7
			indikator tekanan tidak terbaca sistem	pressure transmitter abnormal	Kerusakan pada turbin gas	2	2	5	3	2	3	3	3	3	2.9
			temperature kerja minyak tinggi (trip 75°C)	tekanan berlebih jumlah minyak yang sedikit pada oil tank efisiensi pompa menurun panas berlebih pada bearing turbin sistem pendinginan jelek	Gas turbine trip ke 0 RPM	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4.4
	Sistem turning berjalan	untuk memutar turbin 3 RPM (kondisi turning)	turning motor tidak berputar	Clutch rusak clutch tidak engage pressure lube oil dibawah 0,8 kg/cm turning gear rusak	Turbin gas tidak bisa di start	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3.4
			sistem turning abnormal	belt penghubung antara DC dengan AC turning putus. Sehingga tidak terbackup pemasangan clutch kurang baik	Turbin gas tidak bisa di start	3	2	2	4	4	2	3	3	2	2.9

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	S	1	2	3	4	5	6	7	Rata2								
Tekanan udara instrument terpenuhi >5kg/cm2	mensuplai kebutuhan peralatan pneumatik	kompresor udara instrument trip	temperatur tinggi (170C)	Turbin gas tidak bisa di start	1	1	2	3	2	1	2	1.7									
minyak pelumas tekanan kurang (dibawah 1 kg/cm2)																					
relay overload bekerja																					
sequent start (star delta) tidak terpenuhi																					
		suplai udara instrument kurang	manual valve belum terbuka sepenuhnya		2	1	2	1	1	2	1	1.4									
		tekanan aktual tidak terbaca sistem	terdapat kebocoran line udara instrument		3	3	2	3	2	1	3	2.4									
CPU DDC (sequencer dan governor) normal	sebagai sistem kontrol dan komunikasi peralatan turbin gas	CPU DDC mati	Power CPU hilang	Turbin gas tidak bisa di start	2	2	2	3	3	2	3	2.4									
		Masalah pada beberapa peralatan dan sistem	kabel sinyal transfer bermasalah											5	3	2	3	2	1	2	2.6
			Permasalahan pada CPU																		
Bleed valve kondisi terbuka	Persyaratan start dan membuang udara sebelum proses pembakaran	Valve terbuka sebagian	masalah pada bagian valve	Turbin gas tidak bisa di start	1	1	3	2	1	3	2	1.9									
		kondisi pembukaan valve tidak terbaca sistem	masalah pada limit switch											1	2	3	3	3	2	2	2.3
		valve tidak bisa open-close	masalah pada tekanan udara kontrol											3	3	3	4	4	3	4	3.4
		masalah pada solenoid valve																			
Igniter kondisi normal	Untuk pemantik saat proses pembakaran	Igniter tidak bisa memantik	selector posisi off	Turbin gas tidak bisa di start	2	2	5	4	4	3	3	3.3									
			fuse control breaker putus																		
			tegangan control breaker kecil/hilang																		
tidak muncul sinyal 2/3 over speed trip	Pengaman turbin	Muncul sinyal palsu over speed trip	masalah pada pressure switch	Turbin gas tidak bisa di start	3	2	3	4	3	2	4	3.0									
		minyak OST terbuang	OST solenoid valve masalah											2	3	2	3	3	2	2	2.4
Klik pushbutton auto start	Memberikan perintah start	Tombol sudah di klik, tapi tidak mau start	Sequence belum terpenuhi	Turbin gas tidak bisa di start	2	2	2	2	2	2	2	2.0									
			Perintah tidak sampai																		
RPM 3-300	Pony motor beroperasi	pony motor abnormal	sumber tegangan kecil	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	3	2	2	2	3	2	2.4									
			putaran motor berat											masalah pada breaker							
ACOP beroperasi	Untuk Electric Hydraulic Converter	ACOP tidak beroperasi	kontaktor tidak bekerja	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	2	3	3	2	3	3	2.7									
		Tekanan ACOP rendah	RPM pompa rendah dibawah beban	Turbin gas tertahan di 3 RPM	2	2	3	5	4	3	4	3.3									
			ACOP bermasalah																		
			filter kotor/tersumbat																		
			masalah pada relief valve																		
			masalah pada solenoid valve																		
Starting motor beroperasi	Untuk start awal	Starting motor trip	motor overload	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	3	4	3	4	2	2	3.0									
			thermal relay kerja																		
			protection relay bekerja																		
		Starting motor tidak mau run	Relay tidak kontak	Turbin gas tertahan di 3 RPM	2	2	4	3	2	3	3	2.7									
			sequence belum terpenuhi																		
Package vent fan beroperasi		Package vent fan trip	motor overload	Ruang turbin gas kondisi panas	2	2	2	4	3	2	3	2.6									

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	S	1	2	3	4	5	6	7	Rata2
	Untuk pengkondisian ruangan enclosure turbin	Package vent fan abnormal	thermal relay kerja masalah pada breaker tegangan control breaker kecil/hilang Fuse putus	Fan tidak mau running		2	3	3	4	3	3	4	3.1
Torque Converter beroperasi		Torque Converter tidak beroperasi	oil jet tertutup control valve abnormal solenoid valve abnormal	Turbin gas tertahan di 3 RPM		4	3	3	4	4	3	3	3.4
		Tekanan Torque Converter rendah	terdapat udara pada sirkulasi fluida spring pada regulator valve kurang baik	Turbin gas tertahan di 3 RPM		5	4	4	5	5	3	4	4.3
	Untuk start awal	Temperatur fluida torque converter naik	kandungan udara atau air dalam fluida tinggi efisiensi torque converter menurun dan pemakaian lama	Torque converter trip		5	5	3	4	3	3	4	3.9
		Beban kerja torque converter naik	malfungsi pada control valve malfungsi pada solenoid valve kebocoran pada sambungan line solenoid valve	Kerusakan pada torque converter		3	3	5	4	3	4	3	3.6
IGV Open 22°	Untuk suplai udara pembakaran	pembukaan aktual tidak terbaca sistem	masalah pada transmitter posisi	Turbin gas tertahan di 3 RPM		1	1	3	3	2	3	2	2.1
		Perintah pembukaan tidak sampai	masalah pada kabel sinyal/control	Turbin gas tertahan di 3 RPM		3	2	2	2	1	2	2	2.0
		tidak bisa open-close	masalah pada tuas mekanik servo valve abnormal positioner abnormal	Turbin gas tertahan di 3 RPM		3	3	2	4	3	3	4	3.1
RPM 300-500	Control valve bahan bakar terbuka	Persiapan proses pembakaran	ACOP abnormal							4			
		valve bahan bakar tidak terbuka, tekanan control oil <70kg/cm2	filter control oil kotor relief valve abnormal kebocoran line	Turbin gas trip menuju 3 RPM		3	3	2	4		4	4	3.4
		syarat pembukaan dari control oil tidak sampai	pressure switch abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM		3	4	2	3	3	4	4	3.3
		Pembacaan pressure control oil tidak terbaca sistem	pressure transmitter abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM		1	3	2	3	3	3	3	2.6
		Pembukaan valve bahan bakar tidak terbaca sistem	position transmitter abnormal			1	4	4	2	4	4	3	3.1
		valve bahan bakar tidak terbuka	servo control valve kotor servo control valve macet disc control valve lengket sinyal open tidak datang	Turbin gas trip menuju 3 RPM		4	4	4	4	4	4	4	4.0
		Valve kembali menutup	diff pressure flow control valve diatas 0,5 kg/cm	Turbin gas trip menuju 3 RPM		1	3	4	4	3	4	4	3.3
AC turning OFF	Turbin menuju putaran lebih tinggi	AC turning tidak OFF	sinyal off tidak datang relay nyantol	Kerusakan pada sistem turning		3	3	2	4	2	3	3	2.9
RPM 500-1000	Fuel Vent Valve Close	Menjaga tekanan bahan bakar	valve tidak bisa close	Bahan bakar terbuang dan tekanan berkurang		2	1	1	3	1	2	2	1.7

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	S	1	2	3	4	5	6	7	Rata2	
				berkurang										
	Igniter menyala	Untuk pemantik api pembakaran	Igniter tidak menyala	masalah pada kabel sinyal	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	4	4	3	4	4	4	3.7	
				tegangan tidak ada										
				malfuction pada exciter										
				aliran pada output lead terbuka										
				masalah pada breaker										
				usia plug igniter yang tua										
	Indikator FLAME ON menyala	Indikasi terjadi pembakaran dalam combustor	Igniter abnormal	igniter tidak menyala	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	3	4	4	3	4	4	3.6	
				igniter menyala tapi tidak terjadi pembakaran										
			Tidak terjadi pembakaran	valve bahan bakar tiba-tiba close	Turbin gas trip menuju 3 RPM	1	3	3	4	4	4	4	4	3.3
				Tekanan bahan bakar kurang										
			Pembakaran tidak terdeteksi sistem	nozlle burner buntu	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	4	3	5	3	4	5	4.0	
				ada kelainan di combustor										
			pembukaan IGV kurang	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	3	3	2	3	3	3	2.9		
			masalah pada sensor FLAME											
			trafo sensor FLAME abnormal											
			masalah pada kabel sinyal/control											
RPM 1000-2010	Bladepath normal	Memantau persebaran panas pada turbin seimbang sebagai pengaman turbin	Terdapat deviasi pada titik-titik bladepath	masalah pada aliran bahan bakar	Kecepatan turbin turun	4	4	2	4	2	3	4	3.3	
				masalah pada combustor										
				ada bagian turbin yang abnormal										
			temperatur gas panas tidak terbaca sistem	masalah pada sensor termokopel	Kerusakan pada turbin	2	2	2	4	4	2	3	2.7	
			Blade path temp. mencapai 700°C	sistem pembakaran abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	3	3	4	2	2	3	3.0	
	Vibrasi normal	Pengaman turbin	Vibrasi tinggi dan turbin trip	rotor unbalance	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	2	2	5	3	2	4	3.0	
				centering kurang baik										
				masalah pada bearing										
				terjadi surging pada kompresor										
				ada kerusakan pada rotor atau blade										
	Starting device stop	Mengamankan peralatan starting dari putaran berlebih	Vibrasi aktual tidak terbaca sistem	masalah pada vibration pick-up	Kerusakan pada bearing turbin	2	2	3	3	3	2	3	2.6	
			Starting device masih beroperasi	sequence belum terpenuhi	signal tidak datang	Kerusakan pada starting device	3	3	3	3	2	2	2	2.6
RPM 2010-3000	IGV ke posisi 0°	Untuk suplai udara pembakaran	pembukaan aktual tidak terbaca sistem	masalah pada transmitter posisi	Turbin gas tertahan di 3 RPM	2	2	2	3	3	2	3	2.4	
			Perintah pembukaan tidak sampai	masalah pada kabel sinyal/control	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	3	2	3	2	3	2	2.6	
			tidak bisa open-close	masalah pada tuas mekanik	Turbin gas tertahan di 3 RPM	1	2	3	4	3	1	3	2.4	
				servo valve abnormal										
				positioner abnormal										
	HP dan LP Bleed valve close	Menghindari udara untuk proses pembakaran terbuang	Valve terbuka sebagian	masalah pada bagian valve	Turbin gas tidak bisa di start	1	1	3	3	2	2	3	2.1	
			kondisi pembukaan valve tidak terbaca sistem	masalah pada limit switch										
			valve tidak bisa open-close	masalah pada tekanan udara kontrol										
				masalah pada solenoid valve		4	3	3	4	3	3	4	3.4	
	Vibrasi normal	Pengaman turbin		rotor unbalance	Turbin gas trip menuju 3 RPM					2				

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	S	1	2	3	4	5	6	7	Rata2
			Vibrasi tinggi dan turbin trip	centering kurang baik masalah pada bearing terjadi surging pada kompresor ada kerusakan pada rotor atau blade		3	2	2	5		2	4	2.9
			Vibrasi aktual tidak terbaca sistem	masalah pada vibration pick-up	Kerusakan pada bearing turbin	3	3	1	3	1	2	3	2.3
Bladepath normal	Memantau persebaran panas pada turbin seimbang sebagai pengaman turbin	Terdapat deviasi pada titik-titik bladepath	masalah pada aliran bahan bakar masalah pada combustor ada bagian turbin yang abnormal	Kecepatan turbin turun		2	2	2	4	3	2	3	2.6
		temperatur gas panas tidak terbaca sistem	masalah pada sensor termokopel	Kerusakan pada turbin	4	2	2	4	3	2	4		3.0
		Blade path temp. mencapai 700°C	sistem pembakaran abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	3	3	4	2	2	3		2.9
Sistem electrical normal	Untuk kebutuhan generator	Generator tidak bisa synchrone	Masalah pada AVR masalah pada sistem eksitasi masalah pada generator circuit breaker	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	3	1	3	2	1	3		2.3
Exhaust gas duct pressure normal trip (>600 mmH2O)	Pengaman turbin dari back pressure	tekanan aktual tidak terbaca sistem terjadi back pressure	Masalah pada pressure switch masalah pada exhaust duct Bypass stack damper problem	Kerusakan pada turbin Kerusakan pada turbin dan trip	3	3	2	2	2	2	2		2.3 2.6
temperature lube oil normal trip >75C	Pelumasan pada bearing dan peralatan lainnya	temperatur minyak meningkat	tekanan berlebih jumlah minyak yang sedikit pada oil tank efisiensi pompa lube oil menurun panas berlebih pada bearing turbin sistem pendinginan jelek	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	2	3	2	3	3	2		2.6

Lampiran 4. Hasil penilaian *occurrence*

	Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	O									
						1	2	3	4	5	6	7	Rata2		
Ready to start	Semua persyaratan auxiliary harus terpenuhi	Untuk persiapan start	Status otomatis tidak muncul (annunciator)	Breaker bermasalah kabel sinyal / kontrol bermasalah power motor 380 V bermasalah Fuse control breaker putus tegangan control breaker kecil atau hilang posisi selektor tidak pada posisi auto	Turbin gas tidak bisa di start	4	3	3	2	2	4	2			2.9
			Tekanan bahan bakar tidak terpenuhi	block valve belum open Filter kotor atau tersumbat terdapat kebocoran gas di sepanjang line	Turbin gas tidak bisa di start	5	4	2	3	2	1	2			2.7
			Indikator tekanan tidak terbaca di sistem	pressure transmitter problem	Turbin gas tidak bisa di start	2	2	1	2	1	1	2			1.6
			Pembacaan posisi IGV tidak aktual	masalah pada transmitter posisi	Turbin gas tidak bisa di start	3	2	2	3	3	2	3			2.6
			Sinyal close tidak terbaca sistem	masalah pada kabel sinyal/control	Turbin gas tidak bisa di start	3	3	1	1	2	1	1			1.7
			IGV tidak bisa open-close	masalah pada tuas mekanik servo valve abnormal positioner abnormal	Turbin gas tidak bisa di start	3	3	4	3	4	5	3			3.6
			Tekanan minyak berkurang	AOP bermasalah lube oil filter kotor/tersumbat kebocoran pada line lube oil	Gas turbine trip ke 0 RPM	2	1	2	1	1	1	2			1.4
			Tekanan minyak hilang	lube oil PCV abnormal lube oil cooler tersumbat		1	1	4	3	1	4	1			2.1
			sinyal pengukuran tekanan minyak tidak terbaca sistem	masalah pada pressure transmitter	Kerusakan pada turbin gas	1	3	3	1	1	4	1			2.0
	Jacking oil pump berputar	Untuk mengangkat rotor turbin	pompa tidak menghasilkan tekanan	setting pressure dari safety valve tidak sesuai kumparan dari safety valve melekat/lengket orifice dari safety valve buntu/tersumbat strainer kotor	Kerusakan pada turbin gas	1	1	2	1	2	1	2			1.4
			Tekanan pompa berkurang	suction kondisi tertutup atau terbuka sebagian kebocoran sepanjang line jacking oil		1	2	1	2	2	1	2			1.6
			indikator tekanan tidak terbaca sistem	pressure transmitter abnormal		2	2	2	2	1	1	1			1.6
			temperature kerja minyak tinggi (trip 75°C)	tekanan berlebih jumlah minyak yang sedikit pada oil tank efisiensi pompa menurun panas berlebih pada bearing turbin sistem pendinginan jelek	Gas turbine trip ke 0 RPM	3	2	1	1	1	1	1			1.4
	Sistem turning berjalan	untuk memutar turbin 3 RPM (kondisi turning)	turning motor tidak berputar	Clutch rusak clutch tidak engage pressure lube oil dibawah 0,8 kg/cm turning gear rusak	Turbin gas tidak bisa di start	4	4	3	4	3	3	3			3.4
			sistem turning abnormal	belt penghubung antara DC dengan AC turning putus. Sehingga tidak terbackup pemasangan clutch kurang baik		4	3	2	2	2	3	2			2.6

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	0	1	2	3	4	5	6	7	Rata2
Tekanan udara instrument terpenuhi >5kg/cm2	mensuplai kebutuhan peralatan pneumatik	kompresor udara instrument trip	temperatur tinggi (170C)	Turbin gas tidak bisa di start		2	2	2	2	1	1	1	1.6
minyak pelumas tekanan kurang (dibawah 1 kg/cm2)			2										
relay overload bekerja		2											
sequent start (star delta) tidak terpenuhi		2											
	suplai udara instrument kurang	tekanan aktual tidak terbaca sistem	manual valve belum terbuka sepenuhnya							2	2	2	2.0
			1										
			pressure switch abnormal							2	1	3	1.6
CPU DDC (sequencer dan governor) normal	sebagai sistem kontrol dan komunikasi peralatan turbin gas	CPU DDC mati	Power CPU hilang	Turbin gas tidak bisa di start		4	3	3	3	4	4	3	3.4
		Masalah pada beberapa peralatan dan sistem	kabel sinyal transfer bermasalah							4			
			Permasalahan pada CPU							1			3.0
Bleed valve kondisi terbuka	Persyaratan start dan membuang udara sebelum proses pembakaran	Valve terbuka sebagian	masalah pada bagian valve	Turbin gas tidak bisa di start		4	2	2	2	1	1	1	1.9
		kondisi pembukaan valve tidak terbaca sistem	masalah pada limit switch							4			
		valve tidak bisa open-close	masalah pada tekanan udara kontrol							1			
			masalah pada solenoid valve							3	3	2.1	
Igniter kondisi normal	Untuk pemantik saat proses pembakaran	Igniter tidak bisa memantik	selector posisi off	Turbin gas tidak bisa di start		5	3	4	3	4	5	1	3.6
			fuse control breaker putus							4			
			tegangan control breaker kecil/hilang										
tidak muncul sinyal 2/3 over speed trip	Pengaman turbin	Muncul sinyal palsu over speed trip	masalah pada pressure switch	Turbin gas tidak bisa di start		2	2	2	1	2	1	1	1.6
		minyak OST terbuang	OST solenoid valve masalah							1			
Klik pushbutton auto start	Memberikan perintah start	Tombol sudah di klik, tapi tidak mau start	Sequence belum terpenuhi	Turbin gas tidak bisa di start		1	1	1	1	1	1	1	1.0
			Perintah tidak sampai							1			
RPM 3-300	Pony motor beroperasi	pony motor abnormal	sumber tegangan kecil	Turbin gas tertahan di 3 RPM		4	3	1	1	2	1	1	1.9
			masalah pada breaker							1			
ACOP beroperasi	Untuk Electric Hydraulic Converter	ACOP tidak beroperasi	kontaktor tidak bekerja	Turbin gas tertahan di 3 RPM		3	3	2	1	1	1	2	1.9
			RPM pompa rendah dibawah beban							1			
			ACOP bermasalah	Turbin gas tertahan di 3 RPM		3	2	2	1		2	1	1.7
			filter kotor/tersumbat										
			masalah pada relief valve										
			masalah pada solenoid valve										
Starting motor beroperasi	Untuk start awal	Starting motor trip	motor overload	Turbin gas tertahan di 3 RPM		2	2	1	1	2	1	1	1.4
			thermal relay kerja							2			
			protection relay bekerja							1	1	1	2.1
		Starting motor tidak mau run	Relay tidak kontak	4									
			sequence belum terpenuhi										
Package vent fan beroperasi		Package vent fan trip	motor overload	Ruang turbin gas kondisi panas		2	2	4	1	1	4	1	2.1

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	0	1	2	3	4	5	6	7	Rata2
	Untuk pengkondisian ruangan enclosure turbin	Package vent fan abnormal	thermal relay kerja masalah pada breaker tegangan control breaker kecil/hilang Fuse putus	Fan tidak mau running	2	3	3	5	3	4	5		3.6
Torque Converter beroperasi		Torque Converter tidak beroperasi	oil jet tertutup control valve abnormal solenoid valve abnormal	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	2	4	1	4	4	1		2.7
		Tekanan Torque Converter rendah	terdapat udara pada sirkulasi fluida spring pada regulator valve kurang baik	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	3	2	2	3	4	1		2.6
	Untuk start awal	Temperatur fluida torque converter naik	kandungan udara atau air dalam fluida tinggi efisiensi torque converter menurun dan pemakaian lama	Torque converter trip	2	2	1	2	1	1	2		1.6
		Beban kerja torque converter naik	malfungsi pada control valve malfungsi pada solenoid valve kebocoran pada sambungan line solenoid valve	Kerusakan pada torque converter	1	2	3	2	3	4	2		2.4
IGV Open 22°	Untuk suplai udara pembakaran	pembukaan aktual tidak terbaca sistem	masalah pada transmitter posisi	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	3	2	3	3	2	1		2.4
		Perintah pembukaan tidak sampai	masalah pada kabel sinyal/control	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	2	2	3	2	1	3		2.3
		tidak bisa open-close	masalah pada tuas mekanik servo valve abnormal positioner abnormal	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	2	1	3	1	1	3		2.0
RPM 300-500	Control valve bahan bakar terbuka	Persiapan proses pembakaran	ACOP abnormal						3				
		valve bahan bakar tidak terbuka, tekanan control oil <70kg/cm2	filter control oil kotor relief valve abnormal kebocoran line	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	4	3	4		2	4		3.4
		syarat pembukaan dari control oil tidak sampai	pressure switch abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	4	4	4	4	3	2		3.6
		Pembacaan pressure control oil tidak terbaca sistem	pressure transmitter abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM	5	5	3	2	5	3	2		3.6
		Pembukaan valve bahan bakar tidak terbaca sistem	position transmitter abnormal		5	4	3	3	5	2	1		3.3
		valve bahan bakar tidak terbuka	servo control valve kotor servo control valve macet disc control valve lengket sinyal open tidak datang	Turbin gas trip menuju 3 RPM	5	5	5	4	4	5	4		4.6
		Valve kembali menutup	diff pressure flow control valve diatas 0,5 kg/cm	Turbin gas trip menuju 3 RPM	5	5	5	4	5	5	3		4.6
AC turning OFF	Turbin menuju putaran lebih tinggi	AC turning tidak OFF	sinyal off tidak datang relay nyantol	Kerusakan pada sistem turning	1	1	1	2	2	1	2		1.4
RPM 500-1000	Fuel Vent Valve Close	Menjaga tekanan bahan bakar	valve tidak bisa close	Bahan bakar terbuang dan tekanan berkurang	1	2	2	2	1	1	1		1.4

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	O	1	2	3	4	5	6	7	Rata2
				berkurang									
	Igniter menyala	Untuk pemantik api pembakaran	Igniter tidak menyala	masalah pada kabel sinyal	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	4	5	5	5	5	4	4.6
				tegangan tidak ada									
				malfuction pada exciter									
				aliran pada output lead terbuka									
				masalah pada breaker									
				usia plug igniter yang tua									
	Indikator FLAME ON menyala	Indikasi terjadi pembakaran dalam combustor	Igniter abnormal	igniter tidak menyala	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	5	4	3	5	5	3	4.1
				igniter menyala tapi tidak terjadi pembakaran									
			Tidak terjadi pembakaran	valve bahan bakar tiba-tiba close	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	5	4	4	5	4	2	4.0
				Tekanan bahan bakar kurang	Turbin gas trip menuju 3 RPM	5	5	5	4	5	4	2	4.3
			nozlle burner buntu										
			Pembakaran tidak terdeteksi sistem	ada kelainan di combustor	Turbin gas trip menuju 3 RPM	5	4	5	4	5	4	4	4.4
		pembukaan IGV kurang											
			masalah pada sensor FLAME	Turbin gas trip menuju 3 RPM	5	4	5	4	5	4	4	4.4	
			trafo sensor FLAME abnormal										
			masalah pada kabel sinyal/control	Turbin gas trip menuju 3 RPM	5	4	5	4	5	4	4	4.4	
			masalah pada aliran bahan bakar										
RPM 1000-2010	Bladepath normal	Memantau persebaran panas pada turbin seimbang sebagai pengaman turbin	Terdapat deviasi pada titik-titik bladepath	Kecepatan turbin turun	3	2	3	3	2	2	4	2.7	
				masalah pada combustor	Kerusakan pada turbin	2	2	3	3	2	3	3	2.6
				ada bagian turbin yang abnormal									
			temperatur gas panas tidak terbaca sistem	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	3	2	2	3	3	1	2.4	
			Blade path temp. mencapai 700°C	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	3	2	2	3	3	1	2.4	
	Vibrasi normal	Pengaman turbin	rotor unbalance	Turbin gas trip menuju 3 RPM	2	1	2	2	1	2	2	1.7	
		Vibrasi tinggi dan turbin trip	centering kurang baik										
			masalah pada bearing										
			terjadi surging pada kompresor	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	2	2	2	2	2	2	2.1	
			ada kerusakan pada rotor atau blade										
			Vibrasi aktual tidak terbaca sistem	Kerusakan pada bearing turbin	3	2	2	2	2	2	2	2.1	
	Starting device stop	Mengamankan peralatan starting dari putaran berlebih	Starting device masih beroperasi	sequence belum terpenuhi	Kerusakan pada starting device	1	1	1	1	1	1	1	1.0
				sinyal tidak datang									
RPM 2010-3000	IGV ke posisi 0°	Untuk suplai udara pembakaran	pembukaan aktual tidak terbaca sistem	masalah pada transmitter posisi	Turbin gas tertahan di 3 RPM	5	3	2	3	2	2	3	2.9
			Perintah pembukaan tidak sampai	masalah pada kabel sinyal/control	Turbin gas tertahan di 3 RPM	5	2	3	2	2	2	1	2.4
			tidak bisa open-close	masalah pada tuas mekanik	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	3	1	3	1	1	3	2.1
				servo valve abnormal									
			positioner abnormal	Turbin gas tidak bisa di start	3	2	3	1	1	2	1	1.9	
	HP dan LP Bleed valve close	Menghindari udara untuk proses pembakaran terbuang	Valve terbuka sebagian										masalah pada bagian valve
			kondisi pembukaan valve tidak terbaca sistem										masalah pada limit switch
			valve tidak bisa open-close	masalah pada tekanan udara kontrol	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	3	2	2	1	1	2	2.0
				masalah pada solenoid valve									
	Vibrasi normal	Pengaman turbin	rotor unbalance	Turbin gas trip menuju 3 RPM						1			

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	0	1	2	3	4	5	6	7	Rata2
			Vibrasi tinggi dan turbin trip	centering kurang baik masalah pada bearing terjadi surging pada kompresor ada kerusakan pada rotor atau blade		2	1	1	1		1	2	1.3
			Vibrasi aktual tidak terbaca sistem	masalah pada vibration pick-up	Kerusakan pada bearing turbin	3	2	1	1	1	2	1	1.6
Bladepath normal	Memantau persebaran panas pada turbin seimbang sebagai pengaman turbin	Terdapat deviasi pada titik-titik bladepath	masalah pada aliran bahan bakar masalah pada combuster ada bagian turbin yang abnormal	Kecepatan turbin turun	3	3	3	3	3	2	3	4	3.0
			temperatur gas panas tidak terbaca sistem	masalah pada sensor termokopel	Kerusakan pada turbin	2	2	1	3	2	1	3	2.0
			Blade path temp. mencapai 700°C	sistem pembakaran abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	3	2	1	1	1	1	1.7
Sistem electrical normal	Untuk kebutuhan generator	Generator tidak bisa synchrone	Masalah pada AVR masalah pada sistem eksitasi masalah pada generator circuit breaker	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	2	1	3	2	1	3	2.1	
Exhaust gas duct pressure normal trip (>600 mmH2O)	Pengaman turbin dari back pressure	tekanan aktual tidak terbaca sistem	Masalah pada pressure switch	Kerusakan pada turbin	2	2	2	2	2	2	2	2	2.0
		terjadi back pressure	masalah pada exhaust duct Bypass stack damper problem	Kerusakan pada turbin dan trip	1	1	1	2	1	2	1	1	1.3
temperature lube oil normal trip >75C	Pelumasan pada bearing dan peralatan lainnya	temperatur minyak meningkat	tekanan berlebih jumlah minyak yang sedikit pada oil tank efisiensi pompa lube oil menurun panas berlebih pada bearing turbin sistem pendinginan jelek	Turbin gas trip menuju 3 RPM	2	2	1	1	2	1	1	1	1.4

Lampiran 5. Hasil penilaian *detection*

	Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	D	1	2	3	4	5	6	7	Rata2
Ready to start	Semua persyaratan auxiliary harus terpenuhi	Untuk persiapan start	Status otomatis tidak muncul (annunciator)	Breaker bermasalah kabel sinyal / kontrol bermasalah power motor 380 V bermasalah Fuse control breaker putus tegangan control breaker kecil atau hilang posisi selektor tidak pada posisi auto	Turbin gas tidak bisa di start	3	4	3	2	2	3	3		2.9
	Persyaratan bahan bakar terpenuhi	Untuk kesiapan bahan bakar	Tekanan bahan bakar tidak terpenuhi	block valve belum open Filter kotor atau tersumbat terdapat kebocoran gas di sepanjang line	Turbin gas tidak bisa di start	2	4	3	4	2	3	2		2.9
			Indikator tekanan tidak terbaca di sistem	pressure transmitter problem	Turbin gas tidak bisa di start	4	3	4	3	1	2	1		2.6
	IGV posisi close	Persyaratan start dan menghindari udara luar masuk kompresor	Pembacaan posisi IGV tidak aktual	masalah pada transmitter posisi	Turbin gas tidak bisa di start	3	4	3	3	2	3	3		3.0
			Sinyal close tidak terbaca sistem	masalah pada kabel sinyal/control	Turbin gas tidak bisa di start	4	4	3	2	2	2	3		2.9
			IGV tidak bisa open-close	masalah pada tuas mekanik servo valve abnormal positioner abnormal	Turbin gas tidak bisa di start	3	4	3	4	3	2	2		3.0
	Tekanan lube oil > 1,0 kg/cm2	Pelumas pada bearing	Tekanan minyak berkurang	AOP bermasalah lube oil filter kotor/tersumbat kebocoran pada line lube oil	Gas turbine trip ke 0 RPM	3	1	2	2	2	2	1		1.9
			Tekanan minyak hilang	lube oil PCV abnormal lube oil cooler tersumbat		3	2	3	3	2	4	5		3.1
			sinyal pengukuran tekanan minyak tidak terbaca sistem	masalah pada pressure transmitter	Kerusakan pada turbin gas	3	1	2	1	1	2	2		1.7
	Jacking oil pump berputar	Untuk mengangkat rotor turbin	pompa tidak menghasilkan tekanan	setting pressure dari safety valve tidak sesuai kumparan dari safety valve melekat/lengket orifice dari safety valve buntu/tersumbat strainer kotor	Kerusakan pada turbin gas	4	2	4	3	2	2	1		2.6
			Tekanan pompa berkurang	suction kondisi tertutup atau terbuka sebagian kebocoran sepanjang line jacking oil		4	1	3	2	3	1	1		2.1
			indikator tekanan tidak terbaca sistem	pressure transmitter abnormal		5	2	4	3	2	3	2		3.0
			temperature kerja minyak tinggi (trip 75°C)	tekanan berlebih jumlah minyak yang sedikit pada oil tank efisiensi pompa menurun panas berlebih pada bearing turbin sistem pendinginan jelek	Gas turbine trip ke 0 RPM	3	4	3	4	1	2	1		2.6
	Sistem turning berjalan	untuk memutar turbin 3 RPM (kondisi turning)	turning motor tidak berputar	Clutch rusak clutch tidak engage pressure lube oil dibawah 0,8 kg/cm turning gear rusak	Turbin gas tidak bisa di start	1	4	3	3	2	2	2		2.4
			sistem turning abnormal	belt penghubung antara DC dengan AC turning putus. Sehingga tidak terbackup pemasangan clutch kurang baik		1	4	2	3	3	3	4		2.9

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	D																
					1	2	3	4	5	6	7	Rata2									
Tekanan udara instrument terpenuhi >5kg/cm2	mensuplai kebutuhan peralatan pneumatik	kompresor udara instrument trip	temperatur tinggi (170C)	Turbin gas tidak bisa di start	4	4	3	4	3	1	1	2.9									
			minyak pelumas tekanan kurang (dibawah 1 kg/cm2)																		
		relay overload bekerja																			
		sequent start (star delta) tidak terpenuhi																			
		suplai udara instrument kurang	manual valve belum terbuka sepenuhnya		4	3	4	1	2	2	1	2.4									
		tekanan aktual tidak terbaca sistem	pressure switch abnormal		5	3	5	3	4	3	3	3.7									
CPU DDC (sequencer dan governor) normal	sebagai sistem kontrol dan komunikasi peralatan turbin gas	CPU DDC mati	Power CPU hilang	Turbin gas tidak bisa di start	2	5	3	4	3	4	4	3.6									
		Masalah pada beberapa peralatan dan sistem	kabel sinyal transfer bermasalah						3						3	4	2.9				
			Permasalahan pada CPU		2	4	2	2	3	3	4										
Bleed valve kondisi terbuka	Persyaratan start dan membuang udara sebelum proses pembakaran	Valve terbuka sebagian	masalah pada bagian valve	Turbin gas tidak bisa di start	3	4	3	4	3	3	3	3.3									
		kondisi pembukaan valve tidak terbaca sistem	masalah pada limit switch						4						4	3	4	4	3	3	3.6
		valve tidak bisa open-close	masalah pada tekanan udara kontrol masalah pada solenoid valve						3						4	3	2	3	3	3	3.0
Igniter kondisi normal	Untuk pemantik saat proses pembakaran	Igniter tidak bisa memantik	selector posisi off	Turbin gas tidak bisa di start	3	4	3	4	3	4	3	3.4									
			fuse control breaker putus																		
			tegangan control breaker kecil/hilang																		
tidak muncul sinyal 2/3 over speed trip	Pengaman turbin	Muncul sinyal palsu over speed trip	masalah pada pressure switch	Turbin gas tidak bisa di start	4	4	4	4	2	3	2	3.3									
		minyak OST terbuang	OST solenoid valve masalah						4						4	3	4	3	3	3	3.4
Klik pushbutton auto start	Memberikan perintah start	Tombol sudah di klik, tapi tidak mau start	Sequence belum terpenuhi	Turbin gas tidak bisa di start	1	1	1	1	1	1	1	1.0									
			Perintah tidak sampai																		
RPM 3-300	Pony motor beroperasi	Untuk start awal	pony motor abnormal	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	4	3	4	3	4	3	3.4									
			masalah pada breaker																		
ACOP beroperasi	Untuk Electric Hydraulic Converter	ACOP tidak beroperasi	kontaktor tidak bekerja	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	4	3	2	2	2	3	2.7									
			RPM pompa rendah dibawah beban	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	4	2	4	4	3	2	3.1									
			ACOP bermasalah																		
			filter kotor/tersumbat																		
			masalah pada relief valve masalah pada solenoid valve																		
Starting motor beroperasi	Untuk start awal	Starting motor trip	motor overload	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	4	2	2	3	3	3	2.9									
			thermal relay kerja																		
			protection relay bekerja																		
		Starting motor tidak mau run	Relay tidak kontak	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	4	3	4	3	3	4	3.4									
			sequence belum terpenuhi																		
Package vent fan beroperasi		Package vent fan trip	motor overload	Ruang turbin gas kondisi panas	2	3	2	3	2	2	1	2.1									

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	D	1	2	3	4	5	6	7	Rata2		
	Untuk pengkondisian ruangan enclosure turbin	Package vent fan abnormal	thermal relay kerja masalah pada breaker tegangan control breaker kecil/hilang Fuse putus	Fan tidak mau running		2	3	2	3	2	1	1	2.0		
Torque Converter beroperasi	Untuk start awal	Torque Converter tidak beroperasi	oil jet tertutup control valve abnormal solenoid valve abnormal	Turbin gas tertahan di 3 RPM		5	4	4	4	4	4	4	4.1		
		Tekanan Torque Converter rendah	terdapat udara pada sirkulasi fluida spring pada regulator valve kurang baik	Turbin gas tertahan di 3 RPM		4	5	4	3	5	4	5	4.3		
		Temperatur fluida torque converter naik	kandungan udara atau air dalam fluida tinggi efisiensi torque converter menurun dan pemakaian lama	Torque converter trip		5	5	5	5	4	4	5	4.7		
		Beban kerja torque converter naik	malfungsi pada control valve malfungsi pada solenoid valve kebocoran pada sambungan line solenoid valve	Kerusakan pada torque converter		5	4	4	4	4	4	4	4.1		
IGV Open 22°		Untuk suplai udara pembakaran	pembukaan aktual tidak terbaca sistem	masalah pada transmitter posisi	Turbin gas tertahan di 3 RPM		4	4	4	4	3	2	3	3.4	
			Perintah pembukaan tidak sampai	masalah pada kabel sinyal/control	Turbin gas tertahan di 3 RPM		3	4	3	4	3	4	4	3.6	
		tidak bisa open-close	masalah pada tuas mekanik servo valve abnormal positioner abnormal	Turbin gas tertahan di 3 RPM		3	4	2	2	2	3	2	2.6		
RPM 300-500	Control valve bahan bakar terbuka	Persiapan proses pembakaran	ACOP abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM						3			2.9		
		valve bahan bakar tidak terbuka, tekanan control oil <70kg/cm2	filter control oil kotor relief valve abnormal kebocoran line			2	4	3	4		3	1			
		syarat pembukaan dari control oil tidak sampai	pressure switch abnormal		Turbin gas trip menuju 3 RPM		3	3	4	4	4	4		3	3.6
		Pembacaan pressure control oil tidak terbaca sistem	pressure transmitter abnormal		Turbin gas trip menuju 3 RPM		4	4	4	4	2	2		2	3.1
		Pembukaan valve bahan bakar tidak terbaca sistem	position transmitter abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM		4	4	4	4	4	3	3	3.7		
		valve bahan bakar tidak terbuka	servo control valve kotor servo control valve macet disc control valve lengket sinyal open tidak datang			3	5	4	5	5	5	4	4.4		
		Valve kembali menutup	diff pressure flow control valve diatas 0,5 kg/cm		Turbin gas trip menuju 3 RPM		3	4	4	4	4	4	3	3.7	
	AC turning OFF	Turbin menuju putaran lebih tinggi	AC turning tidak OFF		Kerusakan pada sistem turning		2	3	2	2		3	3	2.5	
RPM 500-1000	Fuel Vent Valve Close	Menjaga tekanan bahan bakar	valve tidak bisa close	Bahan bakar terbuang dan tekanan berkurang		4	4	3	4		3	4	3.7		

	Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	D								Rata2			
						1	2	3	4	5	6	7					
	Igniter menyala	Untuk pemantik api pembakaran	Igniter tidak menyala	masalah pada kabel sinyal	Turbin gas trip menuju 3 RPM												
				tegangan tidak ada													
				malfuction pada exciter													
				aliran pada output lead terbuka													
				masalah pada breaker		5	5	5	5	4	4	4		4.6			
				usia plug igniter yang tua													
	Indikator FLAME ON menyala	Indikasi terjadi pembakaran dalam combustor	Igniter abnormal	igniter tidak menyala	Turbin gas trip menuju 3 RPM	5	4	5	5	5	4	3		4.4			
				igniter menyala tapi tidak terjadi pembakaran													
			Tidak terjadi pembakaran	valve bahan bakar tiba-tiba close	Valve bahan bakar abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM	3	4	4	4	4	3	3		3.6		
				manifold pressure diatas 20 kg/cm													
			Pembakaran tidak terdeteksi sistem	Pembakaran tidak terdeteksi sistem	Tekanan bahan bakar kurang	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	4	4	4	5	4	4		4.1		
					nozlle burner buntu												
				ada kelainan di combustor													
				pembukaan IGV kurang													
				masalah pada sensor FLAME													
				trafo sensor FLAME abnormal													
				masalah pada kabel sinyal/control													
RPM 1000-2010	Bladepath normal	Memantau persebaran panas pada turbin seimbang sebagai pengaman turbin	Terdapat deviasi pada titik-titik bladepath	masalah pada aliran bahan bakar	Kecepatan turbin turun	4	3	3	4	4	3	3		3.4			
				masalah pada combustor													
			ada bagian turbin yang abnormal														
			temperatur gas panas tidak terbaca sistem	masalah pada sensor termokopel	Kerusakan pada turbin	4	4	3	4	3	4	4		3.7			
			Blade path temp. mencapai 700°C	sistem pembakaran abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	4	4	2	3	3	4		3.4			
	Vibrasi normal	Pengaman turbin	Vibrasi tinggi dan turbin trip	rotor unbalance	Turbin gas trip menuju 3 RPM					4							
				centering kurang baik													
				masalah pada bearing			4	4	4	4		4	4		4.0		
				terjadi surging pada kompresor													
			ada kerusakan pada rotor atau blade														
	Starting device stop	Mengamankan peralatan starting dari putaran berlebih	Vibrasi aktual tidak terbaca sistem	masalah pada vibration pick-up	Kerusakan pada bearing turbin	4	4	3	4	4	4	4		3.9			
			Starting device masih beroperasi		sequence belum terpenuhi	Kerusakan pada starting device	3	4	4	2	3	3	3		3.1		
				sinyal tidak datang													
RPM 2010-3000	IGV ke posisi 0°	Untuk suplai udara pembakaran	pembukaan aktual tidak terbaca sistem	masalah pada transmitter posisi	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	4	2	2	2	4	3		2.9			
			Perintah pembukaan tidak sampai	masalah pada kabel sinyal/control	Turbin gas tertahan di 3 RPM	4	4	4	4	3	3	3		3.6			
			tidak bisa open-close	masalah pada tuas mekanik	Turbin gas tertahan di 3 RPM	3	5	3	2	3	4	2		3.1			
				servo valve abnormal													
			positioner abnormal														
	HP dan LP Bleed valve close	Menghindari udara untuk proses pembakaran terbuang	Valve terbuka sebagian	masalah pada bagian valve	Turbin gas tidak bisa di start	3	4	2	4	3	3	3		3.1			
			kondisi pembukaan valve tidak terbaca sistem	masalah pada limit switch		3	4	3	2	3	4	3		3.1			
			valve tidak bisa open-close	masalah pada tekanan udara kontrol		3	4	2	4	3	4	4		3.4			
				masalah pada solenoid valve													
	Vibrasi normal	Pengaman turbin		rotor unbalance	Turbin gas trip menuju 3 RPM					4							

Proses	Fungsi	Moda kegagalan	Penyebab	Dampak	D	1	2	3	4	5	6	7	Rata2
			Vibrasi tinggi dan turbin trip	centering kurang baik masalah pada bearing terjadi surging pada kompresor ada kerusakan pada rotor atau blade		4	4	3	3		3	4	3.6
			Vibrasi aktual tidak terbaca sistem	masalah pada vibration pick-up	Kerusakan pada bearing turbin	4	4	4	4	3	3	4	3.7
Bladepath normal	Memantau persebaran panas pada turbin seimbang sebagai pengaman turbin	Terdapat deviasi pada titik-titik bladepath	masalah pada aliran bahan bakar masalah pada combustor ada bagian turbin yang abnormal	Kecepatan turbin turun	2	4	2	2	3	4	4	4	3.0
		temperatur gas panas tidak terbaca sistem	masalah pada sensor termokopel	Kerusakan pada turbin	3	4	3	4	3	4	4		3.6
		Blade path temp. mencapai 700°C	sistem pembakaran abnormal	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	4	4	4	4	4	4		4.0
Sistem electrical normal	Untuk kebutuhan generator	Generator tidak bisa synchrone	Masalah pada AVR masalah pada sistem eksitasi masalah pada generator circuit breaker	Turbin gas trip menuju 3 RPM	4	4	3	3	4	4	4		3.7
Exhaust gas duct pressure normal trip (>600 mmH2O)	Pengaman turbin dari back pressure	tekanan aktual tidak terbaca sistem	Masalah pada pressure switch	Kerusakan pada turbin	3	3	3	3	3	3	3		3.0
		terjadi back pressure	masalah pada exhaust duct Bypass stack damper problem	Kerusakan pada turbin dan trip	2	2	2	2	3	3	3		2.4
temperature lube oil normal trip >75C	Pelumasan pada bearing dan peralatan lainnya	temperatur minyak meningkat	tekanan berlebih jumlah minyak yang sedikit pada oil tank efisiensi pompa lube oil menurun panas berlebih pada bearing turbin sistem pendinginan jelek	Turbin gas trip menuju 3 RPM	1	3	1	1	2	2	2		1.7

ANALISA RISIKO PADA PROSES START TURBIN GAS DI UNIT PLTGU

Kuisisioner ini bertujuan untuk menilai dampak, kejadian dan deteksi risiko pada proses start turbin gas.

RESPONDEN

1. Nama

2. Jabatan

3. Lama bekerja

Penilaian Dampak

Petunjuk Pengisian :

Pada pertanyaan dibawah ini berilah penilaian 1-5 sesuai dengan kriteria sebagai berikut.

1 (Sangat Rendah) : Kerusakan membutuhkan waktu identifikasi yang cepat dan lama waktu perbaikan 0-30 menit. Biaya perbaikan 0-10 juta. Kerusakan tidak membahayakan keselamatan manusia dan lingkungan hidup. Kerusakan dapat menurunkan EAF $< 0,05$ dan tidak berdampak pada citra perusahaan.

2 (Rendah) : Kerusakan membutuhkan waktu identifikasi yang cepat dan lama waktu perbaikan 31-60 menit. Biaya perbaikan 10-30 juta. Kerusakan dapat menimbulkan luka ringan dan pencemaran mendapat teguran dari KLH. Kerusakan dapat menurunkan EAF $0,06 - 0,1$ dan sedikit berdampak pada citra perusahaan.

3 (moderat) : Kerusakan membutuhkan waktu identifikasi yang cukup lama dan waktu perbaikan 1 sampai 2 jam. Biaya perbaikan 30-60 juta. Kerusakan dapat menimbulkan luka sedang (rawat inap) dan pencemaran mendapat peringatan dari KLH. Kerusakan dapat menurunkan EAF $0,1 - 0,5$ dan mendapat complain dari pihak lain.

4. (Tinggi) : Kerusakan membutuhkan waktu identifikasi yang lama dan waktu perbaikan 2 sampai 12 jam. Biaya perbaikan 60-100 juta. Kerusakan dapat menimbulkan luka berat dan pencemaran mendapat peringatan keras/denda dari KLH. Kerusakan dapat menurunkan EAF $0,5 - 1$ dan mendapat banyak complain dari pihak lain sehingga berpengaruh pada proses bisnis perusahaan.

5. (Sangat Tinggi) : Kerusakan membutuhkan waktu identifikasi yang lama dan waktu perbaikan lebih dari 12 jam. Biaya perbaikan lebih dari 100 juta. Kerusakan dapat menimbulkan korban jiwa dan pencemaran mendapatkan larangan beroperasi dari KLH. Kerusakan dapat menurunkan EAF > 1 dan mendapat banyak complain dari pihak lain sehingga menjadi sorotan media nasional.

Penilaian Kejadian

Petunjuk Pengisian :

Pada pertanyaan dibawah ini berilah penilaian 1-5 sesuai dengan kriteria sebagai berikut.

1 (Sangat Rendah) : Kerusakan terjadi 1 kali diatas 10 tahun terakhir, hanya pada 1 komponen yang rusak dengan kualitas komponen diatas standar.

2 (Rendah) : Kerusakan terjadi 1—5 kali dalam 10 tahun terakhir, melibatkan 2—3 komponen yang rusak dengan kualitas komponen diatas standar.

3 (moderat) : Kerusakan terjadi 1—5 kali dalam 7 tahun terakhir, melibatkan 3—5 komponen yang rusak dengan kualitas komponen standar.

4. (Tinggi) : Kerusakan terjadi 1—5 kali dalam 5 tahun terakhir, melibatkan sebagian besar komponen penyusun sistem yang rusak dengan kualitas komponen dibawah standar.

5. (Sangat Tinggi) : Kerusakan terjadi lebih dari 1 kali dalam 1 tahun terakhir, melibatkan semua komponen penyusun sistem yang rusak dengan kualitas komponen dibawah standar.

Penilaian Deteksi

Petunjuk Pengisian :

Pada pertanyaan dibawah ini berilah penilaian 1-5 sesuai dengan kriteria sebagai berikut.

1 (Sangat Rendah) : Indikasi gangguan terdapat di control room dan area lokal. Parameter kerja sistem terdapat dalam checklist patrol harian. Indikator dan peralatan pada lokasi yang mudah dijumpai. Terdapat sistem back-up apabila terjadi gangguan.

2 (Rendah) : Indikasi gangguan terdapat di control room dan area lokal. Indikator dan peralatan pada lokasi yang mudah dijumpai. Terdapat sistem back-up apabila terjadi gangguan.

3 (moderat) : Indikasi gangguan terdapat di control room dan area lokal. Indikator dan peralatan pada lokasi yang mudah dijumpai.

4. (Tinggi) : Indikasi gangguan terdapat di control room atau area lokal namun indikator dan peralatan pada lokasi yang sulit dijumpai.

5. (Sangat Tinggi) : Tidak terdapat indikasi gangguan.

4. **1. Pada proses semua persyaratan auxiliary harus terpenuhi, status otomatis tidak muncul (annunciator)**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

5. **2. Pada proses persyaratan bahan bakar terpenuhi, tekanan bahan bakar tidak terpenuhi**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

6. **3. Pada proses persyaratan bahan bakar terpenuhi, indikator tekanan tidak terbaca di sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

7. **4. Pada proses IGV close, pembacaan posisi IGV tidak aktual**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

8. **5. Pada proses IGV close, sinyal close tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

9. **6. Pada proses IGV close, IGV tidak bisa open-close**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

10. **7. Pada proses tekanan lube oil > 1,0 kg/cm², tekanan minyak berkurang**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

11. **8. Pada proses tekanan lube oil > 1,0 kg/cm², tekanan minyak hilang**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

12. **9. Pada proses tekanan lube oil > 1,0 kg/cm², sinyal pengukuran tekanan minyak tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

13. **10. Pada proses jacking oil pump berputar, pompa tidak menghasilkan tekanan**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

14. **11. Pada proses jacking oil pump berputar, tekanan pompa berkurang**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

15. **12. Pada proses jacking oil pump berputar, indikator tekanan tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

16. **13. Pada proses jacking oil pump berputar, temperatur kerja minyak tinggi**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

17. **14. Pada proses sistem turning berjalan, turning motor tidak berputar**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

18. **15. Pada proses sistem turning berjalan, sistem turning abnormal**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

19. **16. Pada proses tekanan udara instrument terpenuhi, kompresor udara instrument trip**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

20. **17. Pada proses tekanan udara instrument terpenuhi, suplai udara instrument kurang**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

21. **18. Pada proses tekanan udara instrument terpenuhi, tekanan aktual tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

22. **19. Pada proses CPU DDC normal, CPU DDC mati**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

23. **20. Pada proses CPU DDC normal, masalah pada beberapa peralatan dan sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

24. **21. Pada proses Bleed valve kondisi terbuka, Valve terbuka sebagian**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

25. **22. Pada proses Bleed valve kondisi terbuka, kondisi pembukaan valve tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

26. **23. Pada proses Bleed valve kondisi terbuka, valve tidak bisa open-close**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

27. **24. Pada proses Igniter kondisi normal, Igniter tidak bisa memantik**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

28. **25. Pada proses tidak muncul sinyal 2/3 over speed trip, Muncul sinyal palsu over speed trip**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

29. **26. Pada proses tidak muncul sinyal 2/3 over speed trip, minyak OST terbangun**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

30. **26. Pada proses klik pushbutton auto start, tombol sudah diklik tapi tidak mau start**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

31. **27. Pada proses Pony motor beroperasi, pony motor abnormal**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

32. **28. Pada proses ACOP beroperasi, ACOP tidak beroperasi**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

33. **29. Pada proses ACOP beroperasi, Tekanan ACOP rendah**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

34. **30. Pada proses Starting motor beroperasi, Starting motor trip**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

35. **31. Pada proses Starting motor beroperasi, Starting motor tidak mau run**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

36. **32. Pada proses Package vent fan beroperasi, Package vent fan trip**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

37. **33. Pada proses Package vent fan beroperasi, Package vent fan abnormal**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

38. **34. Pada proses Torque Converter beroperasi, Torque Converter tidak beroperasi**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

39. **35. Pada proses Torque Converter beroperasi, Tekanan Torque Converter rendah**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

40. **36. Pada proses Torque Converter beroperasi, Temperatur fluida torque converter naik**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

41. **37. Pada proses Torque Converter beroperasi, Beban kerja torque converter naik**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

42. **38. Pada proses IGV Open 22°, pembukaan aktual tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

43. **39. Pada proses IGV Open 22°, Perintah pembukaan tidak sampai**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

44. **40. Pada proses IGV Open 22°, tidak bisa open-close**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

45. **41. Pada proses Control valve bahan bakar terbuka, valve bahan bakar tidak terbuka, tekanan control oil <70kg/cm²**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

46. **42. Pada proses Control valve bahan bakar terbuka, syarat pembukaan dari control oil tidak sampai**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

47. **43. Pada proses Control valve bahan bakar terbuka, Pembacaan pressure control oil tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

48. **44. Pada proses Control valve bahan bakar terbuka, Pembukaan valve bahan bakar tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

49. **45. Pada proses Control valve bahan bakar terbuka, valve bahan bakar tidak terbuka**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

50. **46. Pada proses Control valve bahan bakar terbuka, Valve kembali menutup**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

51. **47. Pada proses AC turning OFF, AC turning tidak OFF**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

52. **48. Pada proses Fuel Vent Valve Close, valve tidak bisa close**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

53. **49. Pada proses Igniter menyala, Igniter tidak menyala**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

54. **50. Pada proses Indikator FLAME ON menyala, Igniter abnormal**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

55. **51. Pada proses Indikator FLAME ON menyala, valve bahan bakar tiba-tiba close**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

56. **52. Pada proses Indikator FLAME ON menyala, Tidak terjadi pembakaran**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

57. **54. Pada proses Indikator FLAME ON menyala, Pembakaran tidak terdeteksi sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

58. **55. Pada proses Blade path normal, Terdapat deviasi pada titik-titik blade path**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

59. **56. Pada proses Bladepath normal, temperatur gas panas tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

60. **57. Pada proses Bladepath normal, Blade path temp. mencapai 700°C**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

61. **60. Pada proses Vibrasi normal, Vibrasi tinggi dan turbin trip**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

62. **61. Pada proses Vibrasi normal, Vibrasi aktual tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

63. **62. Pada proses Starting device stop, Starting device masih beroperasi**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

64. **63. Pada proses IGV ke posisi 0°, pembukaan aktual tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

65. **64. Pada proses IGV ke posisi 0°, Perintah pembukaan tidak sampai**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

66. **64. Pada proses IGV ke posisi 0°, tidak bisa open-close**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

67. **65. Pada proses HP dan LP Bleed valve close, Valve terbuka sebagian**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

68. **66. Pada proses HP dan LP Bleed valve close, kondisi pembukaan valve tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

69. **67. Pada proses HP dan LP Bleed valve close, valve tidak bisa open-close**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

70. **68. Pada proses Vibrasi normal, Vibrasi tinggi dan turbin trip**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

71. **68. Pada proses Vibrasi normal, Vibrasi aktual tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

72. **69. Pada proses Blade path normal, Terdapat deviasi pada titik-titik blade path**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

73. **70. Pada proses Blade path normal, temperatur gas panas tidak terbaca sistem**

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

. 71. Pada proses Blade path normal, Blade path temp. mencapai 700°C

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

75. 72. Pada proses Sistem electrical normal, Generator tidak siap synchrone

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

76. 73. Pada proses Exhaust gas duct pressure normal, tekanan aktual tidak terbaca sistem

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

77. 74. Pada proses Exhaust gas duct pressure normal, terjadi back pressure

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

78. 75. Pada proses temperature lube oil normal, temperatur minyak meningkat

Tandai satu oval saja.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

BIOGRAFI PENULIS



Muhammad Syaifuddin Zuhdi, Dilahirkan di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur tepatnya di Dusun Legundi Putat Desa Ngerong RT.06/RW.14 Kecamatan Gempol pada tanggal 15 Desember 1990. Penulis adalah anak kedua dari tiga bersaudara pasangan dari H. Moh. Tholib dan Hj. Yuliati Ningsih. Peneliti menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar di SDN Bulusari 2 dan SDN Karangrejo 3 di Kecamatan Gempol Kabupaten Pasuruan pada tahun 2003. Pada tahun itu juga peneliti melanjutkan Pendidikan di SMP Negeri 1 Beji Kecamatan Beji dan tamat pada tahun 2006 kemudian menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Sidoarjo pada tahun 2009. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Fakultas Teknik Industri pada program studi Teknik Fisika dan menyelesaikan kuliah strata satu (S1)-nya pada tahun 2013. Pada tahun 2015 peneliti melanjutkan pendidikan strata dua (S2) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi pada program studi Manajemen Industri dan menyelesaikannya pada tahun 2019. Penulis selalu ditemani istri setianya yang bernama Awliyana Rislaputri sejak 28 Juni 2018 hingga sekarang.