



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS KEGAGALAN SHAFT SEALING DAN
IMPLIKASINYA TERHADAP STRATEGI PREVENTIVE
MAINTENANCE BOILER FEED PUMP TURBINE DI PLTU**

DRAFT

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Dewa Hernanda Marcellino
NIM. 2202421059

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS KEGAGALAN SHAFT SEALING DAN
IMPLIKASINYA TERHADAP STRATEGI PREVENTIVE
MAINTENANCE BOILER FEED PUMP TURBINE DI PLTU**

DRAFT

SKRIPSI

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

Dewa Hernanda Marcellino

NIM. 2202421059

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

ANALISIS KEGAGALAN SHAFT SEALING DAN IMPLIKASINYA
TERHADAP STRATEGI PREVENTIVE MAINTENANCE BOILER FEED
PUMP TURBINE DI PLTU

Oleh:

Dewa Hernanda Marcellino

NIM. 2202421059

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Arifia Ekayuliana, S.T. M.T.
NIP. 19760120200312100

Pembimbing 2

Dr. Paulus Sukusno, S.T. M.T.
NIP. 196108011989031001

Kepala Program Studi
Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T.
NIP. 196605191990031002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**ANALISIS KEGAGALAN SHAFT SEALING DAN IMPLIKASINYA
TERHADAP STRATEGI PREVENTIVE MAINTENANCE BOILER FEED
PUMP TURBINE DI PLTU**

Oleh :

Dewa Hernanda Marcellino

NIM. 2202421059

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan (atau skripsi) di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 3 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (Diploma IV) pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin.

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. NIP. 19760120200312100	Ketua		
2	Muhammad Hidayat Tullah, S.T., M.T. NIP. 198905262019031008	Penguji 1		
3	Adi Syuriadi, M.T. NIP. 197611102008011011	Penguji 2		

Depok, 3 Juli 2026
Disahkan oleh:
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Fuad Zamhuri, S.T., M.Si
NIP. 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dewa Hernanda Marcellino
NIM : 2202421059
Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan plagiasi karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 3 Juli 2026



Dewa Hernanda Marcellino
NIM. 2202421059



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ANALISIS KEGAGALAN SHAFT SEALING DAN IMPLIKASINYA TERHADAP STRATEGI PREVENTIVE MAINTENANCE BOILER FEED PUMP TURBINE DI PLTU

Dewa Hernanda Marcellino¹⁾, Arifia Ekayuliana²⁾, Dr. Paulus Sukusno³⁾

1) Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email: dewa.hernanda.marcellino.tm22@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRAK

Boiler Feed Pump Turbine (BFPT) merupakan komponen vital pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berfungsi menyuplai air umpan bertekanan tinggi ke *boiler*. Kegagalan pada sistem *shaft sealing*, khususnya *mechanical seal*, dapat menyebabkan kebocoran fluida, meningkatnya *downtime* tidak terencana, serta menurunnya keandalan operasi pembangkit. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi mode kegagalan pada sistem *shaft sealing* BFPT, menentukan prioritas risiko, menganalisis akar penyebab kegagalan, serta merumuskan strategi *preventive maintenance* yang lebih efektif. Metode yang digunakan meliputi *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) berdasarkan data *work order* dan *expert judgment* melalui wawancara teknisi, dilanjutkan dengan *Risk-based FMEA* (RFMEA) untuk menentukan mode kegagalan prioritas berdasarkan nilai *Risk Score* ($S \times O$) dan *Risk Priority Number* ($RPN = S \times O \times D$). Mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi kemudian dianalisis menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan melalui pendekatan logika Boolean dan *minimal cut set*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebocoran *mechanical seal* merupakan mode kegagalan dengan tingkat risiko tertinggi. Analisis FTA mengidentifikasi sembilan *basic event*, dengan bukti lapangan yang mengonfirmasi bahwa vibrasi berlebih, erosi *pump discharge cover*, *heat exchanger* yang tidak efektif, serta ketidaksesuaian dimensi dan material O-ring merupakan penyebab dominan terjadinya kebocoran. Berdasarkan hasil tersebut, direkomendasikan penerapan strategi *preventive maintenance* berupa inspeksi berkala terhadap O-ring, pemantauan parameter operasi sistem *seal flush*, pemeriksaan vibrasi, serta inspeksi komponen *seal chamber* guna meningkatkan keandalan BFPT dan mencegah terulangnya kegagalan serupa.

Kata Kunci: FMEA, FTA, Boiler Feed Pump Turbine, Preventive Maintenance.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ANALYSIS OF SHAFT SEALING FAILURE AND ITS IMPLICATIONS FOR THE PREVENTIVE MAINTENANCE STRATEGY BOILER FEED PUMP TURBINE IN A COAL-FIRED STEAM POWER PLANT

ABSTRACT

Boiler Feed Pump Turbine (BFPT) is a critical component in a Steam Power Plant (PLTU) that supplies high-pressure feedwater to the boiler. Failure of the shaft sealing system, particularly the mechanical seal, can result in fluid leakage, increased unplanned downtime, and reduced operational reliability of the power plant. This study aims to identify the failure modes of the BFPT shaft sealing system, determine the priority risks, analyze the root causes of failure, and formulate a more effective preventive maintenance strategy. The research employed the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method based on work order records and expert judgment obtained through interviews with senior mechanical technicians. The analysis was followed by Risk-based Failure Mode and Effects Analysis (RFMEA) to prioritize failure modes using the Risk Score (Severity $\times$ Occurrence) and the Risk Priority Number ($RPN = \text{Severity} \times \text{Occurrence} \times \text{Detection}$). The failure mode with the highest RPN was further analyzed using Fault Tree Analysis (FTA) to identify the root causes through Boolean logic and minimal cut set analysis. The results indicate that mechanical seal leakage is the most critical failure mode. The FTA identified nine basic events, while field evidence confirmed that excessive vibration, pump discharge cover erosion, clogged seal flush filters, ineffective heat exchangers, and improper O-ring dimensions and materials are the dominant factors contributing to mechanical seal leakage. Based on these findings, a preventive maintenance strategy is proposed, including periodic inspection of O-rings, continuous monitoring of seal flush operating parameters, vibration monitoring, and routine inspection of seal chamber components. These recommendations are expected to improve the reliability of the BFPT shaft sealing system and prevent similar failures from recurring.

Keyword : FMEA, FTA, Boiler Feed pump Turbine, Preventive Maintenance.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISIS KEGAGALAN SHAFT SEALING DAN IMPLIKASINYA TERHADAP STRATEGI PREVENTIVE MAINTENANCE BOILER FEED PUMP TURBINE DI PLTU” dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa penelitian dan penulisan laporan ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S. T., M. Si. selaku Ketua jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan arahan dan dukungan dalam pelaksanaan kegiatan akademik.
2. Bapak Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang konstruktif selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Paulus Sukusno, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, motivasi, serta pengarahan ilmiah sehingga skripsi ini dapat terlaksana dengan baik.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral maupun material, serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan pendidikan ini.
6. Teman-teman dan rekan seperjuangan di Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi yang telah memberikan semangat dan dukungan selama proses penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan penelitian ini di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 03 Juli 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Dewa Hernanda Marcellino
NIM. 2202421059



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS ...	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	2
1.3 Pertanyaan Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap	6
2.1.2 Pompa Boiler Feed Pump Turbine (BFPT)	8
2.1.3 Komponen Utama pompa BFPT	9
2.1.4 Komponen pendukung operasional BFPT	10
2.1.5 Mechanical seal	12
2.1.6 Kerusakan O-ring	15
2.1.7 Pemeliharaan (Maintenance)	17
2.1.8 Failure Mode Effect Analysis	17
2.1.9 Risk Failure Mode and Effects Analysis	22
2.1.10 Failure Mode and Effect Analysis	22
2.1.11 Fault Tree Analysis	24
2.2 Kajian Literatur	29



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.3 Kerangka Pemikiran.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Jenis Penelitian	33
3.1.1 Diagram Alir Penelitian	34
3.2 Objek Penelitian.....	35
3.2.1 Spesifikasi BFPT	36
3.3 Metode Pengambilan Sampel	36
3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....	37
3.5 Metode Pengumpulan Data Penelitian	37
3.6 Metode Analisa Data.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil penelitian	40
4.1.1 Data Lapangan dan Temuan Awal	40
4.1.2 Riwayat Gangguan BFPT	41
4.1.3 Hasil analisis FMEA.....	42
4.1.4 Analisa Data RFMEA.....	48
4.2 Pembahasan	51
4.2.1 FTA (Fault Tree Analisis).....	51
4.2.2 Analisis Gerbang Logika	52
4.2.3 Identifikasi Basic Event dan Root Cause.....	53
4.2.4 Analisis Boolean Aljabar dan Minimal Cutset.....	54
4.2.5 Penentuan strategi preventive maintenance	55
4.2.6 Validasi Basic Event Berdasarkan Bukti Kerusakan.....	57
BAB V KESIMPULAN.....	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN.....	68



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	6
Gambar 2.2 Sistem Feedwater.....	7
Gambar 2.3 Boiler Feed Pump Turbine.....	8
Gambar 2.4 Sistem cooling BFPT	10
Gambar 2.5 Booster Boiler Feed Pump Turbine.....	11
Gambar 2.6 Sistem pelumasan.....	11
Gambar 2.7 Mechanical seal pada BFPT.....	12
Gambar 2.8 Jenis-jenis kerusakan O-ring.....	15
Gambar 2.9 Diagram scatter plot RPN vs Risk score.....	23
Gambar 2.10 Simbol-simbol gerbang dan kejadian FTA.....	28
Gambar 3.1 Alir Diagram penelitian.....	34
Gambar 3.2 Boiler Feed Pump Turbine.....	35
Gambar 4.1 Kebocoran BFPT.....	40
Gambar 4.2 Diagram Scatter Plot RPN vs Risk Score.....	49
Gambar 4.3 Diagram FTA.....	51
Gambar 4.4 Pump Dischard Cover.....	58
Gambar 4.5 Mesh Magnetic filter tidak sesuai.....	60
Gambar 4.6 Magnetic filter kotor.....	59
Gambar 4.7 P&ID magnetic filter BFPT.....	60
Gambar 4.8 Kerusakan O-ring.....	61



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Severity.....	18
Tabel 2.2 Occurrence.....	19
Tabel 2.3 Detection.....	20
Tabel 3.1 Spesifikasi Pompa BFPT.....	36
Tabel 4.1 Histori kerusakan BFPT.....	41
Tabel 4.2 FMEA.....	47
Tabel 4.3 Tabel Risiko berdasarkan FMEA.....	48
Tabel 4.4 Tabel perhitungan Risk Score.....	49
Tabel 4.5 Daftar risiko kritikal	50
Tabel 4.6 Minimal Cut Set (MCS).....	55
Tabel 4.7 Strategi preventive maintenance berdasarkan basic event FTA.....	56
Tabel 4.8 Vibrasi pada bearing BFPT.....	57

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Peralatan berputar (*rotating equipment*) merupakan komponen vital dalam sistem pembangkitan listrik karena berperan langsung dalam proses konversi energi dan distribusi fluida kerja. Peralatan seperti pompa, kompresor, turbin, motor, dan kipas dirancang untuk mengubah energi menjadi gerakan rotasi yang mendukung kontinuitas proses. Dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) keandalan peralatan berputar sangat menentukan stabilitas operasi serta efisiensi pembangkitan secara keseluruhan.

Salah satu peralatan berputar yang memiliki peran kritis adalah *Boiler Feed Pump Turbine* (BFPT). Peralatan ini berfungsi mengalirkan air umpan (*Feed water*) dari *Deaerator* menuju *Economizer*, kemudian diteruskan ke *wall tube boiler* untuk dipanaskan hingga menjadi uap. BFPT berperan penting dalam menjaga kontinuitas sirkulasi air-uap, sehingga kegagalan pada sistem ini dapat menyebabkan penurunan produksi, gangguan proses pembangkitan, hingga trip unit. Selain itu, BFPT beroperasi dengan konfigurasi 2×50% kapasitas pembangkit, dampak dari kerusakan BFPT terjadi penurunan beban dari 640 MW menjadi 370 MW. sehingga keandalannya menjadi faktor kunci dalam menjaga ketersediaan sistem pembangkitan. Oleh karena itu, diperlukan strategi perawatan yang tepat dan sistematis untuk memastikan kinerja BFPT tetap optimal.

Pada saat pengoprasian BFPT terkadang terjadi kegagalan seperti yang terjadi pada sistem *shaft sealing* yang berfungsi mencegah kebocoran fluida kerja dari ruang bertekanan tinggi di sekitar poros pompa. Kegagalan pada sistem ini mengakibatkan penurunan performa pompa, hingga gangguan operasional yang signifikan. Dampak lanjutan dari kegagalan tersebut tidak



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

hanya berupa kerugian operasional dan peningkatan biaya perawatan, tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko keselamatan. Berdasarkan fungsinya, perlu adanya upaya pencegahan kegagalan seperti penerapan strategi *preventive maintenance*.

Atas dasar tersebut metode yang digunakan untuk perancangan *preventive maintenance* adalah *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) merupakan metode sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi potensi mode kegagalan beserta dampaknya terhadap sistem. Tingkat prioritas risiko ditentukan menggunakan *Risk Priority Number* (RPN) yang diperoleh dari perkalian nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Selanjutnya, *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan melalui hubungan logika antar kejadian sehingga dapat dirumuskan tindakan pencegahan yang lebih efektif [1].

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akar penyebab dari kegagalan yang terjadi pada *shaft sealing system* BFPT dan mengoptimalkan *preventive maintenance* dengan metode FMEA dan FTA. Kemudian merumuskan rekomendasi teknis yang lebih tepat dalam meningkatkan keandalan BFPT sebagai bagian integral dari sistem pembangkitan listrik tenaga uap.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang penulis sampaikan, dalam penelitian ini memiliki beberapa permasalahan yang akan dibahas yaitu:

1. Terjadi kegagalan *shaft sealing system* pada *Boiler Feed Pump Turbine* di PLTU PT. XYZ.
2. Dibutuhkan analisis untuk mengetahui akar penyebab terjadinya kegagalan *shaft sealing system* pada BFPT untuk mencegah kegagalan terjadi lagi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Apa langkah rekomendasi dari kegagalan *shaft sealing system* tersebut terhadap strategi *preventive maintenance Boiler Feed Pump Turbine* di PLTU PT. XYZ.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas, dapat ditentukan pertanyaan penelitian ini yaitu:

1. Apa saja mode kegagalan yang terjadi pada BFPT dan Komponen apa saja yang memiliki risiko tertinggi berdasarkan *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan metode FMEA?
2. Faktor apa saja yang menjadi akar penyebab terjadinya kegagalan *shaft sealing* pada BFPT berdasarkan hasil analisis menggunakan metode FTA?
3. Strategi *preventive maintenance* apa yang paling sesuai dengan komponen yang menjadi penyebab kegagalan pada *shaft sealing system*?

1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini tujuan yang penulis ingin capai yaitu:

1. Menentukan *Risk Priority Number* dari setiap mode kegagalan yang di temukan.
2. Menentukan penyebab kerusakan *shaft sealing system* pada BFPT dengan menganalisis data yang dimiliki.
3. Membuat pengembangan strategi *preventive maintenance* pada BFPT yang lebih komprehensif dan efektif guna mencegah terulangnya kegagalan serupa.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini, manfaat yang diharapkan yaitu:

1. Untuk Mahasiswa Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan kompetensi mahasiswa dalam bidang perawatan peralatan berputar, khususnya dalam menganalisis mekanisme



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

kegagalan *shaft sealing*, mengidentifikasi faktor penyebab kerusakan, serta mengevaluasi efektivitas strategi *preventive maintenance* pada *Boiler Feed Pump Turbine*.

2. Untuk Politeknik Negeri Jakarta Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi akademik dan pembelajaran mengenai analisis kegagalan serta penerapan strategi *preventive maintenance* pada peralatan kritis di Industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap.
3. Untuk perusahaan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teknis berupa rekomendasi perbaikan strategi *preventive maintenance* yang lebih efektif, guna meningkatkan keandalan *Boiler Feed Pump Turbine* serta meminimalkan potensi kegagalan dini dan gangguan operasional.

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan gambaran umum penelitian yang meliputi latar belakang permasalahan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan sebagai kerangka keseluruhan penyusunan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas landasan teori dan kajian pustaka yang relevan dengan penelitian, meliputi konsep dasar peralatan berputar, *Boiler Feed Pump Turbine*, sistem *shaft sealing*, mekanisme kegagalan komponen, Metode FMEA dan FTA, serta konsep *preventive maintenance* yang mendukung analisis penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode dan tahapan penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penelitian. penjelasan mencakup objek penelitian, teknik pengolahan data, metode pengumpulan data, serta pendekatan evaluasi strategi *preventive maintenance*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan pembahasan yang meliputi analisis data yang dimiliki, analisis mekanisme kegagalan *shaft sealing* dengan metode *Failure Mode Effect Analysis* dan *Fault Tree Analysis*, evaluasi menentukan rekomendasi strategi *preventive maintenance*, serta rekomendasi teknis untuk mencegah kerusakan serupa di masa depan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian mengenai analisis kerusakan *shaft sealing system*, serta saran yang diajukan sebagai bahan pertimbangan dalam penerapan strategi *preventive maintenance* yang lebih efektif di lingkungan industri.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis kegagalan system *shaft sealing* pada *Boiler Feed Pump Turbine* (BFPT) menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA), maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis FMEA dan FTA, kegagalan *shaft sealing system* pada BFPT disebabkan oleh kombinasi faktor mekanis, hidrolik, dan termal yang saling berkaitan, dengan tingkat risiko tinggi sehingga memerlukan penanganan prioritas. Analisis FTA mengidentifikasi sembilan *basic event* sebagai akar penyebab kebocoran *mechanical seal*, yaitu pemasangan tidak presisi (E1), vibrasi berlebih (E2), *over clearance shaft-throat bush* (E3), erosi *pump discharge cover* (E4), ukuran filter mesh tidak sesuai standar (E5), filter tersumbat/kotor (E6), *heat exchanger* tidak efektif (E7), serta dimensi (E8) dan material (E9) O-ring yang tidak sesuai standar. Kebocoran *mechanical seal* terbukti merupakan hasil interaksi beberapa mekanisme kegagalan, bukan disebabkan oleh satu faktor tunggal.
2. Berdasarkan akar penyebab tersebut, dirumuskan strategi preventive maintenance yang mencakup peningkatan prosedur pemasangan *mechanical seal*, monitoring vibrasi berkala, inspeksi *clearance shaft* dan *throat bush*, pemeriksaan kondisi *discharge cover*, pengendalian kualitas filter dan performa *heat exchanger*, serta verifikasi dimensi dan material O-ring sebelum pemasangan. Strategi ini diharapkan meningkatkan keandalan BFPT, menekan downtime tidak terencana, dan memperpanjang umur operasi komponen *shaft sealing*.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan dalam penerapan strategi pemeliharaan di lapangan.

1. *Basic event* E2 (vibrasi berlebih), E4 (erosi *pump discharge cover*), E6 (filter kotor), E7 (*heat exchanger* tidak efektif), E8 (dimensi O-ring), dan E9 (material O-ring) telah divalidasi melalui data inspeksi dan operasional, sehingga *preventive maintenance* perlu diarahkan pada inspeksi berbasis kondisi (*condition-based maintenance*) mencakup pemantauan vibrasi *bearing*, kondisi *seal chamber*, kebersihan *magnetic filter*, performa *heat exchanger*, serta pemeriksaan dimensi dan material O-ring sebelum pemasangan agar potensi kegagalan terdeteksi lebih awal.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar evaluasi program *preventive maintenance* BFPT, khususnya dalam menentukan prioritas inspeksi komponen berisiko tinggi berdasarkan FMEA dan akar penyebab hasil FTA, sehingga pemeliharaan berjalan lebih efektif, efisien, dan berorientasi pada keandalan sistem.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution* (2nd ed.). ASQ Quality Press.
- [2] Mulyadi, D., Rusirawan, D., & I, N. (2023). *Desain Pembangkit Listrik Turbin Uap Berbahan Bakar Batu Bara yang Efektif dan Ramah Lingkungan*. Jurnal Tekno Insentif, 17(1), 58–68.
- [3] Ghaisani, D. N., Ulfiana, A., & Abadi, C. S. (2020). Analisis *natural frequency* poros Boiler Feed Pump Turbine dengan *finite element analysis*. Jurnal Mekanik Terapan, 1(1).
- [4] Wilcock, D. F., & Booser, E. R. (1957). *Bearing design and application*. McGraw-Hill.
- [5] American Petroleum Institute. (2014). *API standard 682: Pumps—shaft sealing systems for centrifugal and rotary pumps*(4th ed.). API.
- [6] Braaksma, A. J. J., Klingenberg, W., & Veldman, J. (2013). *Failure mode and effect analysis in asset maintenance: A multiple case study in the process industry*. International Journal of Production Research, 51(4), 1055–1071.
- [7] Automotive Industry Action Group [AIAG]. (2008). *Potential failure mode and effects analysis (FMEA)* (4th ed.). AIAG.
- [8] British Standards Institution. (2018). BS EN IEC 60812 : 2018 - Failure modes and effects analysis. *BSI Standards Publication*.
- [9] Lemmens, S. M. P., Lopes van Balen, V. A., Röselaers, Y. C. M., et al. (2022). *The risk matrix approach: A helpful tool weighing probability and impact when deciding on preventive and diagnostic interventions*. BMC Health Services Research, 22, 218.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [10] Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haasl, D. F. (1981). *Fault tree handbook* (NUREG-0492). U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- [11] Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution* (2nd ed.). ASQ Quality Press.
- [12] Pumps & Systems Magazine "Wear Ring Clearance for Centrifugal Pumps".
- [13] AESSEAL *API Piping Plan Booklet* (referensi industri, disusun bersama insinyur senior H.P. Bloch)
- [14] Parker Hannifin Corporation. *Parker O-Ring Handbook* (ORD 5700 / *O-Ring Guide*)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Daftar Riwayat Hidup



1. Nama Lengkap : Dewa Hernanda Marcellino
2. NIM : 2202421059
3. Tempat, Tanggal Lahir : Depok, 11 Maret 2004
4. Jenis Kelamin : Laki-Laki
5. Alamat : Pondok Tirta Mandala blok H3 No.2 RT 00, RW 004, Sukamaju, Cilodong, Depok, Jawa Barat, 16475
6. Email : dewa.hernanda.marcellino.tm22@mhsw.pnj.ac.id
7. Pendidikan
SD : SD Pemuda Bangsa
SMP : SMPN 4 Depok
SMA : SMAN 4 Depok
8. Program Studi : Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
9. Bidang Peminatan : -
10. Tempat/Topik OJT : PT. XYZ

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2. Histori Kerusakan

Tanggal	Keterangan	Asset	Divisi
10-Sep-20	penambahan valve fanting BFPT B sisi barat	NP90LAC12AP002	MECHU1
10-Nov-20	cleaning magnetic filter bfpt B sisi barat	NP90LAC12AP002	MECHU1
24-Nov-20	Penggantian Hand wheel outlet cooling machseal BFPT	NP90LAC12AP002	MECHU1
21-Des-20	Top up oli BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
10-Feb-21	pembongkaran mechseal BFPT	NP90LAC12AP002	MECHU1
11-Feb-21	penggantian turning gear BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
01-Mar-21	cleaning magnetic filter bfpt B	NP90LAC12AP002	MECHU1
04-Mar-21	penormalan magnetic filter BFPM	NP90LAC12AP002	MECHU1
27-Jul-21	bongkar bearing bfpt	NP90LAC12AP002	MECHU1
28-Jul-21	bongkar mechanical seal	NP90LAC12AP002	MECHU1
25-Okt-21	pengencangan baut magnetic filter	NP90LAC12AP002	MECHU1
10-Jan-22	penggantian mechanical seal bfpt	NP90LAC12AP002	MECHU1
14-Jun-22	open coupling, lepas bearing,sudah lepas trashpad, pemasangan mech seal, rotor posisi, adjust clearance trust pad, cleaning filter, Alignment Booster	NP90LAC12AP002	MECHU1
15-Jun-22	penggantian valve venting	NP90LAC12AP002	MECHU1
10-Nov-22	cleaning magnetic filter pada mech seal bfpt A dan B	NP90LAC12AP002	MECHU1
01-Mei-24	cleaning filter lube oil BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
09-Mei-24	perbaikan kebocoran mech seal BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
09-Sep-24	top up oil BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
15-Apr-25	TOP UP OLI PADA LUBE OIL TANK BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
11-Jun-25	Penambahan oli lube oil BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
04-Jul-25	pebambahan oli lube oil bfpt B	NP90LAC12AP002	MECHU1
22-Ags-25	Top up oli BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
28-Ags-25	Penggantian filter cooling mechseal BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
01-Sep-25	Top up oli BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
12-Sep-25	TEMPERATURE SIDE SEAL WATER SISI DE DAN NDE BFPT B HIGH	NP90LAC12AP002	MECHU1
18-Sep-25	TOP UP OLI PADA LUBE OIL TANK BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1
01-Okt-25	top up lube oil BFTP B	NP90LAC12AP002	MECHU1
20-Okt-25	TOP UP OLI PADA LUBE OIL TANK BFPT B	NP90LAC12AP002	MECHU1



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3. Validitas data wawancara

Identitas Responden

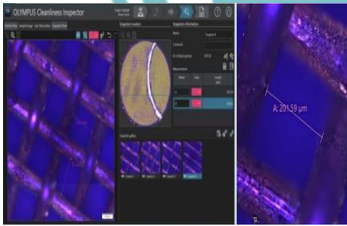
Nama : Budi S.W
Jabatan : Supervisor

Item/fungsi	kode	Failure Mode	Failure Effect	Failure Cause	Current Control	S	O	D	RPN	Draft recommended action	
Bearing	F1	Crack pada lajinar babbit bearing	Peningkatan vibrasi shaft, kenaikan temperature bearing, penurunan kemampuan menahan beban rotor	Kelalahan material (fatigue), beban dinamis berlebih, misalignment shaft, kualitas bonding yang kurang baik saat manufaktur	Inspeksi visual saat overhaul, pemeriksaan kondisi babbit menggunakan NDT, analisis oli pelumas untuk mendeteksi logam	7	1	5	35	Melakukan analisis akar penyebab sumber vibrasi, melakukan NDT saat outage untuk mendeteksi crack dini, menganalisa procedure pemrosesan dan kualitas material bearing	
	F2	Meleleh atau Melepas babbit pada poros rotor untuk mengurangi gesekan antara poros dengan casing	Kerusakan bearing semakin cepat, kenaikan temperature bearing, kegagalan pelumasan, BFFT trip	Kualitas lube oil kurang akibat kontaminasi, umur peralatan, rotor bengkok, misalignment, rotor unbalance, fondasi longgar	Online vibration monitoring, trending data vibrasi, inspeksi bearing saat overhaul, alignment check, balancing rotor setelah overhaul, monitoring temperature bearing, check kualitas lube oil	8	2	3	64	Melakukan analisis spektrum vibrasi, melakukan shaft alignment dan rotor balancing, memastikan kualitas lube oil sesuai standar, melakukan corrective maintenance berdasarkan hasil analisis vibrasi	
	F3	Temperature bearing tinggi	Penurunan viskositas pelumasan, peningkatan tekanan bearing, potensi seizure (bearing macet), BFFT trip	Kegagalan system pelumasan, kontaminasi oli, pendinginan oli tidak maksimal, misalignment shaft, clearance tidak sesuai, vibrasi	Monitoring temperature bearing secara online dan langsung, monitoring tekanan dan temperature oli pelumas, analisis oli berkala, monitoring vibrasi	8	2	3	64	Memastikan aliran dan tekanan oli sesuai design, memeriksa performa oil cooler, memeriksa alignment shaft dan clearance bearing saat overhaul, mengganti dan kalibrasi alarm trip temperature sesuai standar	
Mechanical seal	F4	Perapat poros dengan casing pompa agar mencegah kebocoran fluida dalam pompa pada saat beroperasi	Kebocoran fluida pada mechasal	Kehilangan proses fluida, potensi kerusakan bearing akibat kontaminasi, peningkatan resiko trip BFFT jika kebocoran semakin parah	Kerusakan seal face, kerusakan o-ring, misalignment shaft, kegagalan system seal water/seal flushing	Inspeksi visual kebocoran saat operasi, monitoring temperature bearing, pemeriksaan tekanan seal water	9	2	4	72	Pemantauan seal face yang aus, memastikan system seal water/flushing bekerja normal, inspeksi o-ring dan komponen seal pada saat outage
	F5	Temperature mechasal tinggi	Kerusakan pada seal face lebih cepat, kerusakan komponen casing, kegagalan mechasal sampai BFFT trip	Magnetic filter kotor, pendinginan seal tidak efektif, vibrasi tinggi	Monitoring temperature mechasal, inspeksi visual kebocoran, monitoring vibrasi pompa	8	2	3	64	Cleaning magnetic filter, melakukan inspeksi o-ring pada saat outage, mengganti komponen seal yang menunjukkan tanda overheating	
Valve venting	F6	Mengalir an maupun menghisap kan aliran fluida secara manual	Kebocoran pada valve venting	Fluida tetap mengalir melalui valve meskipun posisi valve tertutup, kehilangan tekanan fluida	Over torsi saat penuncaman valve secara manual, erosi akibat aliran fluida berkecepatan tinggi	Inspeksi visual saat shutdown, leak test valve, preventive maintenance berkala	3	1	6	18	Melakukan inspeksi dan lapping seal/disc valve, mengganti komponen seal yang aus, memastikan filtrasi untuk mencegah masuknya partikel asing, melakukan leak test setelah overhaul
System lube oil	F7	Water kontaminasi pada system pelumasan bearing	Penurunan kualitas pelumasan, penurunan viskositas oli, tercemarnya emulsi, peningkatan tekanan bearing dan komponen sistem pelumasan, peningkatan temperatur dan vibrasi peralatan, serta potensi kerusakan bearing yang dapat menyebabkan trip BFFT	Kebocoran lube oil cooler, kebocoran seal, kontaminasi akibat perubahan temperatur, masuknya air saat penarikan oli atau perawatan, kerusakan pemakai, atau kegagalan heat exchanger tube pada oil cooler	Oil analysis berkala (water content test), inspeksi kondisi oil cooler, monitoring temperatur dan tekanan oli, inspeksi visual kondisi oli pada reservoir, monitoring vibrasi dan temperature bearing	6	2	5	60	Melakukan inspeksi dan pressure test oil cooler secara berkala, memperbaiki atau mengganti tube heat exchanger yang bocor, melakukan dewatering atau oil purification, meningkatkan frekuensi oil analysis, memperbaiki sealing system yang bocor, serta melakukan penggantian oli apabila kandungan air telah melebihi batas standar	
	F8	Memberikan pelumasan pada bearing	Lube oil low pressure	Suntai oli ke bearing tidak mencukupi, penurunan level oli film, peningkatan gesekan antar komponen, kenaikan temperature bearing, peningkatan vibrasi, percepatan kerusakan bearing, hingga potensi trip BFFT	Kerusakan lube oil pump, kebocoran pada sistem pelumasan, filter oli tersumbat, level oli rendah di reservoir, pressure regulating valve malfunction, viskositas oli tidak sesuai, atau adanya udara (air entrainment) dalam sistem oli	Monitoring tekanan lube oil secara online, alarm dan trip low oil pressure, inspeksi level oli harian, inspeksi filter oli, monitoring temperatur dan vibrasi bearing, preventive maintenance lube oil pump	5	3	3	45	Melakukan inspeksi dan overhaul lube oil pump secara berkala, membersihkan atau mengganti filter oli yang tersumbat, memeriksa kebocoran sistem pelumasan, menjaga level dan kualitas oli sesuai standar, menguji fungsi pressure regulating valve
Magnetic filter	F9	Filtrasi lube oil kotor atau terhambat	Aliran oli pelumas terhambat, pressure drop pada filter meningkat, saple oli ke bearing berkurang, tekanan lube oil menurun, peningkatan temperatur dan tekanan bearing, potensi trip BFFT	Akumulasi kotoran dan pasir dalam oli, degradasi oli, kontaminasi dari komponen yang susut, interval penggantian filter yang terlalu lama, kualitas filtrasi yang tidak memadai	Monitoring differential pressure filter, inspeksi berkala kondisi filter, oil analysis, inspeksi visual saat maintenance, monitoring tekanan lube oil	3	4	4	48	Melakukan penggantian filter sesuai jadwal, preventive maintenance, mengganti filter ketika differential pressure mencapai batas alarm, meningkatkan frekuensi oil analysis, melakukan flushing sistem jika ditemukan kontaminasi tinggi, dan mengidentifikasi sumber kontaminasi dalam sistem	
	F10	Menyaring metal yang meluncur system cooling water	Efektifitas filtrasi menurun, potensi peningkatan aliran oli, peningkatan differential pressure, indikasi kerusakan komponen internal yang menghasilkan partikel logam, risiko kontaminasi berakibat ke sistem pelumasan	Kerusakan journal bearing, thrust bearing, gear, shaft, atau komponen berputar lainnya, kontaminasi dari proses maintenance, korosi internal, degradasi komponen sistem pelumasan	Inspeksi magnetic filter secara berkala, oil analysis (wear debris analysis), pemeriksaan kondisi filter saat shutdown, monitoring tekanan dan temperatur lube oil, monitoring vibrasi peralatan	3	3	4	36	Membersihkan magnetic filter secara berkala, melakukan investigasi sumber partikel logam melalui oil analysis, inspeksi komponen yang disusut atau rusak, melakukan flushing sistem apabila terdapat kontaminasi tinggi, serta meningkatkan frekuensi condition monitoring hingga akar penyebab ditemukan	
Turning gear	F11	pin solenoid pada start BFFT atau start BFFT berhenti	Partikel kontaminan lolos ke sistem pelumasan, efektifitas filtrasi menurun, peningkatan tekanan komponen, risiko kerusakan bearing, valve, dan pompa oli, serta penurunan hambatan sistem lube oil	Differential pressure terlalu tinggi, umur pakai strainer terlampaui, material strainer mengalami fatigue atau korosi, kesalahan pemasangan, betoran saat maintenance, atau kualitas material strainer yang kurang baik	Inspeksi visual strainer saat maintenance, monitoring differential pressure strainer, oil analysis, inspeksi kondisi strainer saat shutdown, monitoring kondisi bearing dan pompa	5	1	4	20	Menganti strainer yang rusak, melakukan inspeksi rutin terhadap kondisi mesh strainer, monitor differential pressure untuk mendeteksi overpressure, memastikan kualitas material strainer jika kerusakan berulang, serta melakukan flushing sistem untuk membersihkan kontaminan yang tidak lolos ke sistem	
	F12	pin solenoid pada start BFFT atau start BFFT berhenti	Solenoid gagal menggerakkan mekanisme turning gear, turning gear tidak dapat engage-disengage dengan sumbu rotor BFFT tidak dapat dinetralkan saat kondisi shutdown, meningkatkan risiko rotor bowing (hogging) dan kesulitan saat start-up	Kelalahan material (fatigue), beban mekanis berlebih, misalignment mekanisme linkage, betoran saat engage-disengage, korosi, pelumasan yang tidak memadai pada mekanisme, atau cacat material	Inspeksi visual saat maintenance, functional test turning gear, inspeksi kondisi linkage dan pin, monitoring operasi turning gear selama start-up dan shutdown, preventive maintenance berkala	6	1	3	18	Menganti pin solenoid yang rusak, donasi material sesuai spesifikasi, melakukan inspeksi alignment mekanisme, turning gear, memeriksa beban kerja solenoid, melakukan pelumasan berkala pada linkage, serta melakukan pemeriksaan NDT jika ditemukan kerusakan berulang akibat fatigue	

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4. Validitas data gambar

Gambar	Keterangan
	Dokumentasi proses pembongkaran (disassembly) magnetic filter dilakukan bersama mechanic yang menangani unit tersebut. Bertujuan memeriksa kondisi fisik housing, batang magnet, dan elemen mesh secara langsung untuk memverifikasi temuan terkait basic event penyumbatan/ketidaksesuaian filter.
	Dokumentasi proses pembongkaran mechanical seal pada Mesin 1, dilakukan bersama mechanic. Bertujuan mengamati kondisi seal faces, spring, dan komponen pendukung lainnya untuk mengidentifikasi indikasi keausan atau kerusakan yang berkontribusi terhadap kebocoran pada sistem shaft sealing.
	Hasil inspeksi visual dan dimensi terhadap O-ring, dilakukan oleh tim System Owner Engineering untuk memastikan kondisi O-ring (retak, mengeras, aus, atau berubah bentuk) sebagai bagian dari verifikasi basic event terkait kegagalan sistem sealing.
	Hasil pengujian laboratorium oleh tim CBM (Condition Based Maintenance) terhadap ukuran bukaan (mesh opening) magnetic filter terpasang, menunjukkan ukuran aktual sebesar 50,02 μm. Digunakan sebagai bukti kuantitatif verifikasi basic event E5 (ukuran mesh tidak sesuai).

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Dokumentasi foto nameplate pada unit magnetic filter yang terpasang di lapangan (produksi Shenyang Kailiduo) dan unit pembanding sesuai spesifikasi OEM (EagleBurgmann), diambil langsung oleh peneliti di lokasi. Digunakan sebagai bukti visual perbedaan identitas produsen antara komponen terpasang dengan spesifikasi desain awal.

No.	Point No. T-BFP A	Point No. T-BFP B	Deskripsi	Alarm Vibrasi (µm)	Nilai Vibrasi T-BFP A saat Full Load DPM (µm)	Nilai Vibrasi T-BFP B saat Full Load DPM (µm)
Turbine Side						
1	90CF00110002	90CF00110002	T-BFP A.8 H1 BRN RADIAL VIB(S12)	80	33.615	68.291
2	90CF00110001	90CF00110001	T-BFP A.8 H1 BRN RADIAL VIB(S12)	80	20.111	44.868
3	90CF00110003	90CF00110003	T-BFP A.8 H2 BRN VELOCITY(S12)	80	36.018	66.880
Pump Side						
1	90CF00110005	90CF00110005	T-BFP A.8 H2 BRN RADIAL VIB(S12)	40	24.554	14.651
2	90CF00110004	90CF00110004	T-BFP A.8 H2 BRN RADIAL VIB(S12)	40	12.243	15.613
3	90CF00110007	90CF00110007	T-BFP A.8 H4 BRN RADIAL VIB(S12)	40	18.970	10.745
4	90CF00110006	90CF00110006	T-BFP A.8 H4 BRN RADIAL VIB(S12)	40	23.195	10.518

Tabel 1. Catatan Vibrasi pada T-BFP A & B

Data trend vibrasi hasil pemantauan sistem CBM pada Mesin 1, digunakan untuk mengidentifikasi indikasi awal ketidaknormalan operasi (unbalance, misalignment, atau gejala mekanis lain) yang berkaitan dengan kondisi shaft sealing sebelum dan selama periode kebocoran.