

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Latar Belakang Perusahaan

4.1.1 Sejarah Berdirinya Perusahaan

Pembangunan proyek percepatan pembangkitan tenaga listrik berbahan bakar batubara berdasarkan pada Peraturan Presiden RI Nomor 71 tahun 2006 tanggal 05 Juli 2006 tentang penugasan kepada PT PLN (Persero) untuk melakukan percepatan pembangunan pembangkit tenaga listrik yang menggunakan batubara. Peraturan Presiden tersebut menjadi dasar pembangunan 10 PLTU di Jawa dan 25 PLTU di Luar Jawa Bali atau yang dikenal dengan nama Proyek Percepatan PLTU 10.000 MW. Pembangunan proyek PLTU tersebut guna mengejar pasokan listrik yang akan mengalami defisit sampai beberapa tahun mendatang, serta pengalihan penggunaan bahan bakar minyak (BBM) ke batubara yang berkalori rendah (4200 kcal/kg). Dalam pelaksanaan pembangunan proyek PLTU 1 Jatim, Pacitan yang mempunyai kapasitas sebesar 2 x 315 MW, PT. PLN (Persero) ditunjuk sebagai pelaksana jasa manajemen konstruksi untuk melakukan Supervisi selama periode konstruksi, sesuai surat penugasan Direksi No. 01041/121/DIRKIT/2007 bulan Juni 2007. Kontrak EPC PLTU 1 Jatim, Pacitan ditanda tangani pada tanggal 7 Agustus 2007 oleh PT. PLN (Persero) dan Konsorsium Dongfang Electric Company dari China dan perusahaan lokal PT. Dalley Energy. Nilai kontrak dari proyek ini sebesar US\$ 344.971.840,- dan Rp. 1.230.499.108,- belum termasuk Value Added Tax.

PLTU 1 Jawa Timur Pacitan ini mempunyai 2 unit pembangkit yang mempunyai kapasitas total tenaga listriknya mempunyai sebesar 2 x 315 MW = 630 MW. Energi yang dihasilkan oleh PLTU 1 Jawa Timur Pacitan nantinya akan

disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV sepanjang 35,65 Kilometer ke Gardu Induk Pacitan Baru dan sepanjang 84,8 Kilometer ke Gardu Induk Wonogiri. Proyek PLTU I ini selesai secara operasional unit 1 pada tanggal 24 Juni 2013 dan unit 2 pada tanggal 21 Agustus 2013.

4.1.2 Profil Singkat Perusahaan

Pembangkitan Jawa Bali (PJB) adalah sebuah anak perusahaan BUMN Indonesia yaitu PT PLN (Persero). Berikut ini adalah profil singkat perusahaan:

1. Nama Perusahaan : PT. PJB UBJOM PLTU Pacitan
2. Tahun Berdiri :
 - Unit 1 pada tanggal 24 Juni 2013
 - Unit 2 pada tanggal 21 Agustus 2013
3. Asset Owner : PT PLN (Persero) Kantor Pusat
4. Asset Manager : PT PJB UBJOM Pacitan
5. Asset Operator : PT PJB UBJOM Pacitan
6. Luas Pabrik : 63 Hektar
7. Nilai Asset : 8,5 T
8. Lokasi : Jl. Pacitan-Trenggalek Km 55, Desa Sukorejo, Kecamatan Sudimoro, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur.
9. Telepon/Fax : 321 3111 / 321 3115
10. Jumlah Karyawan : 396 orang
11. Mitra Kerja : 217 orang
12. Kapasitas : 2 x 315 MW
13. Sistem 150 kV : Sistem New Pacitan
14. Transmisi : JAMALI (Jawa Madura Bali)
15. Spesifikasi Batubara : *Low rank coal & medium rank coal (mix)*

Dalam pelaksanaan pembangunan proyek PT. PJB UBJOM PLTU Pacitan, beberapa yang terlibat adalah sebagai berikut:

1. PT. PLN (Persero) Unit Induk sebagai *Assert Operator*
2. PT. Pembangkitan Jawa Bali sebagai *Assert Operator*
3. PT. PLN (Persero) Jasa Manajemen sebagai Supervisi Konstruksi
4. PT. PLN (Persero) Jasa Sertifikasi sebagai Sertifikasi Jasa dan Kommissioning

5. PT. PLN (Persero) P3B sebagai Pelaksana Pekerjaan *Uprating* SUTT 70kV menjadi SUTT 150kV terkait PLTU
6. PT. PLN (Persero) Pikitring sebagai Pelaksanaan SUTT 150kV
7. PT. PLN Rekadaya ElektriKA sebagai *design review* dan *approval drawing*
8. PT. SNC – LAVALIAN TPS sebagai jasa konsultan *quality control* dan *quality analysis*.

4.1.3 Lokasi PJB PLTU UBJOM

Lokasi PT.PJB UBJOM PLTU Pacitan terletak di Desa Sukorejo, Kecamatan udimoro, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur. Lokasi proyek terletak kurang lebih ± 55 km di sebelah Timur Laut dari Kota Pacitan yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia atau tepatnya pada koordinat $08^{\circ}15'30''$ Lintang Selatan dan $111^{\circ}22'30''$ Bujur Timur.



Gambar 4.1 Lokasi PJB UBJOM PLTU Pacitan

Lokasi PLTU merupakan kawasan pesisir pantai yang berada di muara Kali Bawur. Lokasi proyek ini berbatasan dengan:

- a. Sebelah Utara : Lahan Negara dan Lahan Masyarakat
- b. Sebelah Selatan : Samudra Indonesia
- c. Sebelah Timur : Lahan Negara dan Lahan Masyarakat
- d. Sebelah Barat : Lahan Negara dan Lahan Masyarakat

Lokasi kegiatan atau usaha PT. PJB UBJOM PLTU Pacitan menempati lahan seluas 63 ha (63,0359 ha) yang berada pada wilayah administrasi Desa Sukorejo, Kecamatan Sudimoro, Kabupaten Pacitan. Berdasarkan statusnya, 48 ha merupakan lahan milik rakyat dan 15 ha milik negara.

4.1.4 Visi

Visi dari PT. PJB UBJOM PLTU Pacitan adalah “Menjadi perusahaan pembangkit tenaga listrik Indonesia yang terkemuka dengan standar kelas dunia”. Berikut ini adalah makna dari visi tersebut:

1. Kinerja pembangkit PJB mampu mencapai Top 10% pembangkit terbaik di dunia sesuai jenis dan kapasitas berdasarkan standar NERC.
2. PJB mampu mencapai *Brand Industry Leader* berdasarkan kriteria kinerja *Excellence Baldrige* yang dipilih sebagai benchmark untuk mengukur tingkat kehelelisan PJB karena *Baldrige* merupakan ukuran kinerja eksekutif yang telah digunakan secara luas di dunia.
3. PJB mempunyai reputasi yang bagus di mata *stakeholder* dan menjadi salah satu perusahaan terkemuka di dunia.

4.1.5 Misi

Misi dari PT. PJB UBJOM PLTU Pacitan adalah :

1. Memproduksi tenaga listrik yang handal dan berdaya saing.
2. Meningkatkan kinerja secara berkelanjutan melalui implementasi tata kelola pembangkitan dan sinergi *business partner* dengan metode *best practice* dan ramah lingkungan.
3. Mengembangkan kapasitas dan daya kapabilitas SDM yang mempunyai kompetensi teknik dan manajerial yang unggul, serta berwawasan bisnis.

Berikut ini adalah makna dari misi tersebut:

1. PJB akan memberikan layanan terbaik kepada pelanggan berupa kualitas pembangkit dengan EAF yang tinggi, EFOR yang rendah, serta harga yang kompetitif.
2. PJB akan meningkatkan kinerja secara berkelanjutan melalui implementasi praktik-praktik terbaik dan ramah lingkungan dalam pengelolaan pembangkitan dan bersinergi dengan para partner bisnis dalam portofolio bisnis PJB untuk membangun kemitraan yang menguntungkan secara timbal balik.

3. PJB akan mengelola pembangkit dengan standar kelas dunia melalui keunggulan SDM yang memiliki kompetensi teknik keilmuan sesuai dengan bidang tugasnya, kompetensi mengelola pekerjaan, dan berwawasan bisnis.

4.1.6 Waktu Kerja

PT. PJB UBJOM PLTU Pacitan memiliki 2 macam waktu kerja. Waktu kerja secara *day time* dengan jam kerja sebagai berikut:

1. Senin – Kamis : 07.30 – 16.00 WIB
Jam istirahat : 12.00 – 13.00 WIB
2. Jum'at : 07.30 -16.00 WIB
Jam istirahat : 11.30 – 13.00 WIB

Waktu kerja secara *shift* berlaku untuk operator dan bidang tertentu dengan jam kerja sebagai berikut:

1. *Shift* pagi : 07.30 – 15.30 WIB
2. *Shift* sore : 15.30 – 22.30 WIB
3. *Shift* malam : 22.30 – 07.30 WIB

4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Data waktu antar kerusakan komponen mesin BFP-T

Data jumlah *downtime* dari mesin BFP-T A pada unit 2 diambil pada periode Januari 2014-Januari 2018 seperti yang tercantum pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data waktu antar kerusakan mesin BFP-T

Komponen	Sub Komponen	Actual Start	Actual Finish
Booster Pump BFP-T	Valve Manual	22/06/2016 8:00:00	23/06/2016 16:00:00
		Transmitter	09/11/2015 17:27:11
	Pipe		01/10/2016 9:00:00
		Pipe	24/03/2016 16:00:00
			25/06/2016 8:00:00

Komponen	Sub Komponen	Actual Start	Actual Finish	
		24/12/2016 17:42:39	26/12/2016 8:42:39	
<i>Lube Oil Booster Pump BFP-T</i>	<i>Lube Oil</i>	17/07/2015 11:45:16	17/07/2015 13:45:16	
		09/11/2015 17:31:12	10/11/2015 19:45:12	
		17/07/2016 15:14:16	17/07/2016 17:14:16	
		16/07/2017 16:00:00	16/07/2017 16:50:00	
<i>Lube Oil Pump BFP-T</i>	<i>Transmitter</i>	17/09/2014 8:31:43	17/09/2014 15:34:14	
		16/09/2015 9:00:13	16/09/2015 15:00:13	
		07/05/2015 7:43:10	09/05/2015 7:43:10	
		02/02/2016 9:00:00	02/02/2016 13:00:00	
	<i>Panel Kontrol</i>	22/02/2015 13:00:00	22/02/2015 15:00:00	
		27/04/2015 8:00:59	27/04/2015 11:00:59	
		26/02/2016 14:30:47	26/02/2016 17:11:47	
		04/12/2017 9:00:00	04/12/2017 12:00:00	
		16/04/2018 8:00:00	16/04/2018 16:00:00	
	<i>Lube Oil</i>	06/02/2014 11:08:42	06/02/2014 17:00:00	
		30/01/2015 8:08:41	30/01/2015 12:51:41	
		18/01/2018 8:00:00	18/01/2018 16:00:00	
	<i>Heat Exchanger</i>	10/04/2014 8:26:29	10/04/2014 15:28:51	
		30/01/2015 7:52:53	30/01/2015 15:06:10	
	<i>Pump BFP-T</i>	<i>Valve MOV</i>	14/07/2017 9:00:37	14/07/2017 11:00:37
		<i>Transmitter</i>	07/10/2015 9:00:53	07/10/2015 15:00:53
29/10/2015 9:00:00			29/10/2015 13:00:00	
16/12/2015 14:44:49			16/12/2015 20:58:49	
12/05/2017 9:00:01			12/05/2017 11:00:01	
15/05/2017 13:21:01			15/05/2017 14:37:50	

Komponen	Sub Komponen	<i>Actual Start</i>	<i>Actual Finish</i>	
		17/06/2017 9:00:54	17/06/2017 12:00:54	
		25/07/2017 9:00:59	25/07/2017 12:00:59	
		05/01/2018 9:00:11	05/01/2018 12:00:11	
		10/04/2018 9:00:09	10/04/2018 11:00:09	
	<i>Strainer</i>	10/04/2014 8:23:20	10/04/2014 13:00:00	
	<i>Valve MOV</i>	03/04/2016 9:00:00	03/04/2016 13:00:00	
		04/05/2017 8:00:00	04/05/2017 12:00:00	
	<i>Mechanical Seal</i>	12/04/2014 15:09:21	12-Apr-2014 16:09:21	
		08/05/2014 8:36:27	08/05/2014 15:40:22	
		30/10/2017 16:32:47	01/11/2017 7:15:41	
		07/11/2017 7:18:44	07/11/2017 10:28:44	
	<i>Coupling pump</i>	02/01/2018 11:12:37	03/01/2018 20:37:37	
		17/01/2018 21:16:47	17/01/2018 22:16:58	
	<i>Turbin BFP-T</i>	<i>Valve Manual</i>	06/02/2014 8:00:50	06/02/2014 15:57:07
			01/06/2016 16:00:00	02/06/2016 8:00:00
		<i>Transmitter</i>	24/03/2016 9:00:52	24/03/2016 12:00:52
19/06/2016 10:30:00			19/06/2016 15:00:00	
19/09/2016 9:00:20			19/09/2016 16:00:20	
10/01/2017 10:00:10			10/01/2017 12:00:10	
02/07/2017 9:00:07			02/07/2017 11:00:07	
19/07/2017 9:00:00			19/07/2017 13:00:00	
19/01/2018 11:00:00			19/01/2018 16:00:00	
<i>Sudu Gerak/Rotor</i>		29/07/2014 16:54:50	30/07/2014 16:54:50	
<i>Rumah Turbin</i>		09/06/2016 10:58:46	09/06/2016 12:05:46	
<i>Pipe Steam</i>		12/11/2016 11:14:03	12/11/2016 14:18:03	

Komponen	Sub Komponen	Actual Start	Actual Finish	
	<i>Panel Kontrol</i>	21/03/2016 9:00:00	21/03/2016 11:00:00	
	<i>Over Speed Trip Mechanism</i>	28/04/2017 13:00:00	28/04/2017 15:00:00	
	<i>Valve MOV</i>	23/07/2015 8:00:14	23/07/2015 14:00:14	
	<i>MHC Component</i>		03/01/2014 19:56:24	04/01/2014 7:49:39
			04/08/2014 9:00:00	04/08/2014 14:00:00
			03/01/2015 9:00:00	03/01/2015 14:00:00
			08/11/2016 9:00:00	08/11/2016 13:00:00
			03/02/2017 8:00:00	03/02/2017 12:00:00
	<i>Lube Oil</i>	25/05/2015 16:25:16	25/05/2015 18:30:16	
	<i>Control Valve</i>	27/10/2017 9:00:41	27/10/2017 11:00:41	
	<i>Bearing</i>		20/01/2014 10:00:44	20/01/2014 16:00:44
			23/06/2014 8:22:55	23/06/2014 13:00:00
			07/03/2015 8:42:43	07/03/2015 15:44:19
			25/07/2015 13:00:00	25/07/2015 15:00:00
			16/12/2016 9:00:00	16/12/2016 12:00:00
			16/04/2018 8:00:00	16/04/2018 16:00:00
	<i>Over Speed Trip Mechanism</i>	26/04/2018 9:00:55	26/04/2018 11:00:55	

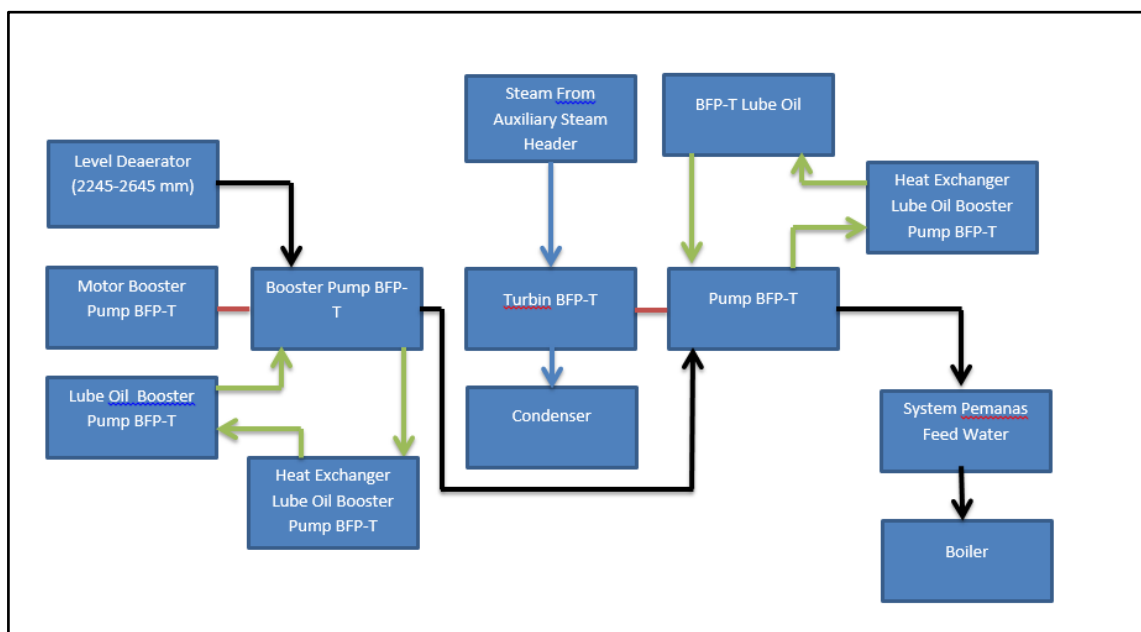
4.3 Pengolahan Data

4.3.1 Perawatan *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

4.3.1.1 *Functional Block Diagram (FBD)*

Untuk memahami proses kerja suatu sistem yang akan menjadi obyek analisis RCM dengan melihat *schematic* diagram dan dengan cara menggali informasi secara langsung kepada orang yang sangat mengetahui tentang sistem tersebut yaitu pada bagian operator dan *so-turbine*.

Functional Block Diagram (FBD) dibentuk untuk memberikan informasi lengkap mengenai sistem dari peralatan yang dianalisis. Hasil dari informasi dan analisis kemudian dituangkan kedalam *Asset Block Diagram* (ABD) dan *Functional Block Diagram* (FBD) yang merupakan bentuk diagram lebih sederhana dan menggambarkan fungsi dari sistem BFP-T dengan urutan operasi.



Gambar 4.2 *Asset Block Diagram* (ABD) Mesin BFP-T

Penjelasan Gambar *Asset Block Diagram* (ABD):

a. Line Hitam : *System Feedwater*

Air yang ada di *daerator tank* di pompa oleh pompa *booster pump* BFP-T untuk di salurkan ke pompa BFP-T *pump* sehingga air bertekanan, selanjutnya masuk kedalam *system pemanas feedwater* untuk menaikkan *temperature* air sebagai syarat air baku boiler.

b. Line Biru : *Line Steam*

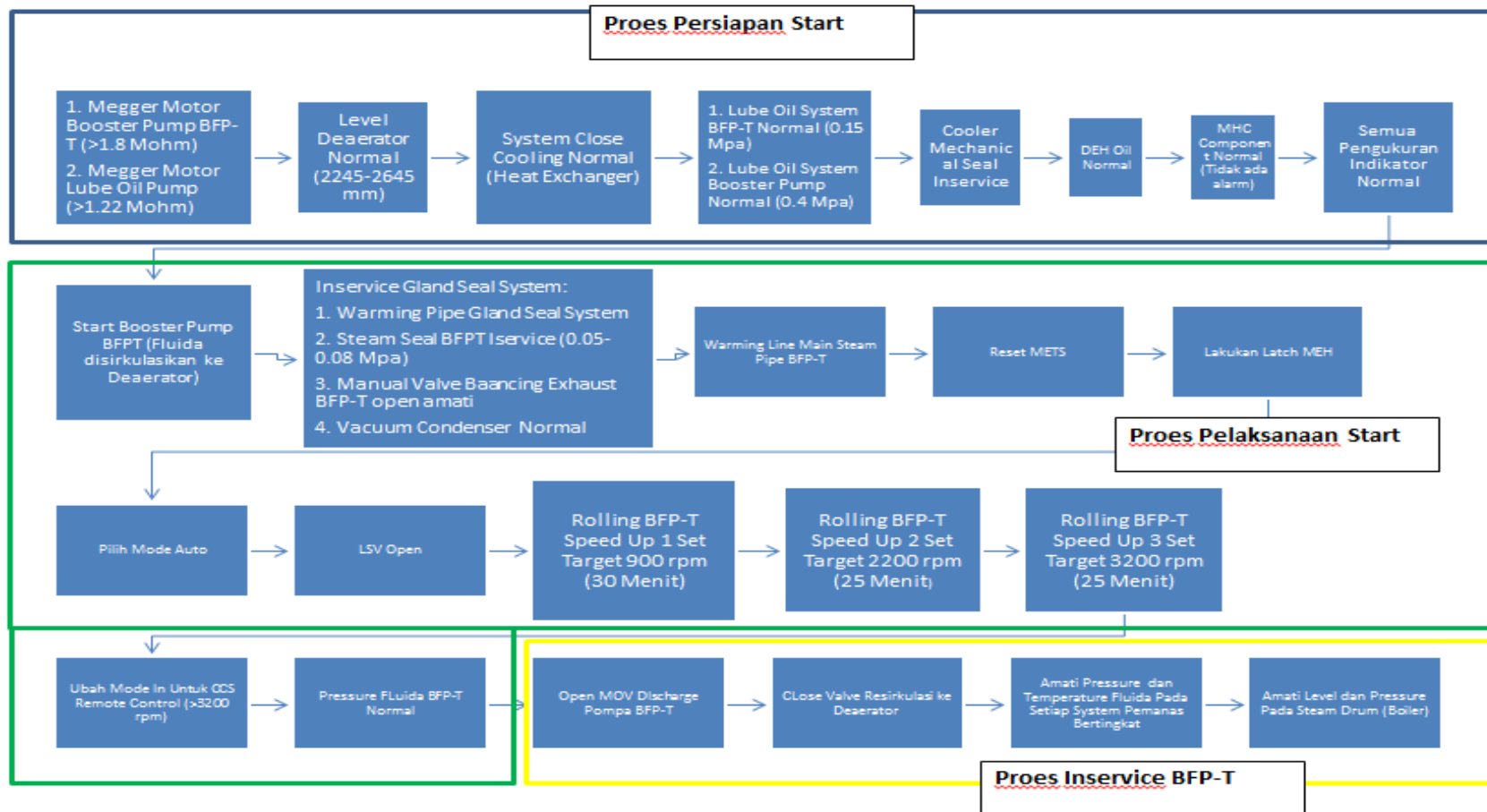
Steam yang berasal dari *auxiliary steam header* di salurkan melalui *CV steam (control valve)* yang digunakan untuk memutar poros turbin (energi mekanik) yang diatur kecepataannya melalui perangkat *governor* (pengaturan *speed* secara elektronik). *Steam* yang sudah digunakan selanjutnya di salurkan ke line *condensor* untuk di kondensasi.

c. Line hijau : Sistem Pelumasan

Oil yang digerakkan sebagai sistem pelumasan pada *bearing* yang di pompa oleh pompa *lube oil pump*. Sistem *lube oil* ini di sirkulasi melalui *heat exchanger lube oil* bertujuan untuk mendinginkan *oil* yang keluar dari BFP-T.

d. Line Merah : Sistem *Coupling*

Sebagai *coupling* atau *gearbox* yang berfungsi sebagai *couple* antara motor dengan pompa sekaligus sebagai pengatur *speed* pompa.



Gambar 4.3 *Functional Block Diagram* (FBD) Mesin BFP-T

Penjelasan Gambar *Functional Block Diagram* (FBD):

1. Proses Persiapan *Start*

Langkah persiapan dilakukan sebelum pelaksanaan atau mesin BFP-T mulai dioperasikan. Langkah awal yaitu operator *turbin board* dan lokal memastikan sudah tidak ada pekerjaan pemeliharaan dan tidak ada lagi *working permit* di area turbin. Selanjutnya yaitu operator elektrik memastikan hasil *megger motor booster* BFPT ($>1.38\text{M}\Omega$) dan *motor lube oil* ($>1.22\text{ Mohm}$) aman untuk dioperasikan, dan memastikan power untuk system BFPT *energized*. Setelah *booster* dan *motor lube oil* sudah dipastikan memenuhi standart, operator *turbin board* memastikan level air *deaerator* normal (2245 mm-2645mm), dan memastikan *line cooling water bearing* pada pompa telah siap (*flow* indikator pada *sight glass* berputar). Selanjutnya yaitu pengecekan pada *pressure lube oil booster pump* untuk BFP-T dalam keadaan normal (Pressure 0.4 Mpa) dan lube oil sistem BFPT normal operasi (Pressure 0.15 Mpa). Setelah pengecekan lube oil, selanjutnya yaitu operator turbin lokal memastikan *mechanical seal cooling water* sudah *inservice*, memastikan DEH *oil* normal operasi dan *valve* posisi *open*, serta MHC *Component* dalam keadaan normal (tidak ada alarm yang berbunyi). Langkah terakhir pada proses persiapan *start* yaitu memeriksa semua pengukuran indikator dalam keadaan normal.

2. Proses Pelaksanaan *Start*

Pelaksanaan *start* dilakukan pada saat mesin mulai digunakan untuk beroperasi. langkah awal yaitu operator *turbin board inservice booster pump* dan disirkulasikan ke *deaerator*. Proses selanjutnya yaitu operator turbin board dan lokal *inservice gland seal* sistem dengan langkah sebagai berikut:

- a. Operator turbin lokal membuka *drain valve* selama *warming pipe gland seal steam*.
- b. Setelah temperatur *steam seal* 165 C, operator turbin lokal membuka secara perlahan MOV *supply steam* dari *auxiliary steam header* menuju *steam seal* BFPT dan menjaga *pressure gland seal steam* 0.05–0.08 Mpa.
- c. Setelah *gland seal steam* normal dengan *pressure* 0.05-0.08 Mpa dan operator turbin lokal dan *board* menjaga temperatur 160–180 C dengan cara mengontrol LP *Spray desuper heater*.

d. Operator turbin lokal membuka manual *valve balancing exhaust* BFPT full open secara perlahan dan operator turbin *board* memonitor vacuum *condensor* sehingga vacuum BFPT sama dengan *vacuum condensor* (-90 Kpa).

Untuk langkah selanjutnya operator turbin lokal membuka manual valve drain line main steam BFPT, lalu melakukan reset METS dan membuka menu DEH lalu MEH A/B untuk melakukan latch hingga berwarna merah. Operator turbin board setelah melakukan latch, pilih menu LCV dengan mengklik LSV OPEN hingga berwarna merah lalu memilih mode AUTO pada menu AUTO/MANUAL. Operator turbin board melakukan *rolling* turbin BFP-T apabila Speed Up 1 dengan set target 900 rpm dengan klik GO dan tekan HOLD untuk warming selama 30 menit. Setelah diamati diferensial temperatur first stage dengan temperatur main steam dijaga <100C, eccentricity <30 dan vibrasi normal, apabila dalam kondisi aman operator turbin board melakukan Speed Up 2 dengan set target 2200 rpm dengan cara klik GO dan tekan HOLD untuk warming selama 25 menit. Jika Speed up 2 dalam kondisi aman Operator turbin board dapat langsung melakukan Speed Up 3 set target : 3200 rpm. BFPT speed >3200 rpm (ubah ke mode IN untuk terhubung dengan CCS remote control). Dan yang terakhir yaitu tekanan fluida BFP-T harus dalam keadaan normal.

3. Proses Inservice

Proses ini dilakukan saat mesin sudah mulai dioperasikan. Langkah awal yaitu operator turbin lokal melakukan *close drain valve* BFP, di antaranya yaitu *Suction & discharge drain valve* dari sisi air, serta inlet *steam drain valve*. Operator turbin board juga harus menutup *valve recirculating* perlahan hingga *full close* (tergantung kondisi beban). Langkah selanjutnya mengamati *pressure* dan *temperature fluida* pada setiap *system* pemanas bertingkat, mengamati level *pressure* pada *steam drum* dan mengamati kelainan lain yang mungkin terjadi.

4.3.1.2 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Kegiatan FMEA melibatkan banyak hal seperti menganalisis kegagalan sistem, penyebab terjadinya kegagalan, serta *effect* atau dampak yang terjadi akibat kegagalan pada masing-masing komponen yang dapat dituliskan didalam FMEA *worksheet*. Dari analisis ini kita dapat menentukan komponen kritis mana yang paling banyak mengalami kegagalan dan seberapa jauh pengaruh yang diberikan terhadap fungsi sistem, sehingga kita dapat memberikan perlakuan terhadap komponen kritis dengan melakukan pemeliharaan yang tepat. Pengisian SOD merupakan *Saverity* (S), *occurence* (O) dan *detection* (D). Untuk RPN dapat dihitung menggunakan rumus:

$$RPN = Severity * Occurence * Detection \quad \dots\dots(4.1)$$

Berikut ini adalah contoh pengisian FMEA *worksheet* untuk mesin *turbine* BFP-T pada komponen bearing:

1. Mesin yang mengalami kerusakan adalah mesin *turbine* BFP-T
2. Komponen dari *turbine* BFP-T yang mengalami kerusakan adalah komponen *bearing*
3. Mode kegagalan adalah *vibrasi* pada *bearing turbine* BFP-T tinggi
4. Penyebab kegagalannya adalah karena kerusakan pada *bearing*, *degradasi*, kualitas *lube oil* kurang, serta umur peralatan
5. Efek kegagalan yang ditimbulkan adalah *turbine* BFP-T *trip*
6. Tingkat *Severity* : Mesin tidak layak untuk dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan kerja secara tiba-tiba , dan tidak memenuhi standart keselamatan kerja (10)
7. Tingkat *Occurence* : kerusakan mesin terjadi pada tingkat medium (6)
8. Tingkat *detection* : Perawatan *preventive* memiliki kemungkinan *moderate highly* untuk mendeteksi peyebab pootensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan (4)
9. Nilai RPN = $10 \times 6 \times 4 = 240$

Dari nilai RPN dapat dipredeksi komponen yang paling kritis, dan yang paling sering rusak. Kegagalan yang terjadi pada komponen kritis dilihat sejauh mana pengaruhnya terhadap fungsi keseluruhan , sehingga dapat memberikan perilaku lebih terhadap komponen yang kritis dengan tindakan perawatan yang tepat. Tabel 4.2 menunjukkan FMEA *Worksheet* dari mesin BFPT :

Tabel 4.2 *Failure Mode Effect Analysis* mesin BFP-T

n o	Equipme nt	Sub Equip ment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
1	Booster Pump BFPT-T	<i>Valve Manual</i>	Mengalirk an maupun menghenti kan aliran fluida secara manual	Kerusakan pada <i>valve line suction booster pump</i> BFP- T	Mekani k <i>valve loss</i>	<i>Pompa Booster pump</i> BFP-T tidak bisa di <i>manuver</i> terkaait aliran fluida	10	2	6	120
		Penguk ur Indikat or	Penunjuk kan nilai <i>pressure</i> fluida	Kebocoran sambungan pipa dan <i>nepple</i> PI	Korosit	Penunjukkan <i>pressure</i> fluida tidak akurat	8	3	4	96
			kebocoran pada <i>line</i> indikator <i>pressure gauge outlet</i> <i>Booster</i> BFPT	Internal <i>wiring</i> dan koneksi rusak, lepas , longgar	Penunjukkan <i>pressure</i> fluida tidak akurat	10	2	4	80	
		<i>Pipe</i>	Mengalirk an Fuida dengan jalur transfer fluida	kebocoran pada <i>pipe line booster</i> to BFPT	Baut Kendor	<i>Pressure</i> sistem fluida pada pipe tidak terpenuhi atau drop	10	3	7	210

n o	Equipme nt	Sub Equip ment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
				Kebocoran pada <i>Line suction booster</i> BFPT	Baut Kendor	<i>Pressure</i> dan <i>flow</i> sistem fluida pada <i>pipe</i> tidak terpenuhi atau <i>drop</i>	10	3	7	210
2	Lube Oil Booster Pump	<i>Lube oil</i>	Pelumasan pada <i>bearing</i>	kebocoran pada <i>outlet filter lube oil booster</i>	<i>Differensial pressure</i> pada filter tinggi	<i>pressure</i> system lube oil tidak terpenuhi	8	4	3	96
3	Lube Oil Pump	Pengukur Indikator	Penunjukkan nilai <i>pressure</i> , <i>temperature</i> , dan <i>level lube oil</i> pada <i>pump</i> BFPT	<i>pressure lube oil</i> BFPT rusak	umur sensor, korosif	operator tidak bisa memantau parameter operasi terkait <i>pressure lube oil</i>	8	2	3	48
				Perbedaan penunjukkan <i>level lube oil</i> antara DCS dan lokal tidak sama	kalibrasi <i>transmitter</i> nilainya tidak sesuai	menyulitkan operator dalam memantau <i>level lube oil</i> tank	7	2	3	42

no	Equipment	Sub Equipment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
				<i>Temperature Gauge Inlet HE (Heat Exchanger) Lube Oil BFPT ERROR</i>	umur sensor, korosit	menyulitkan operator dalam memantau <i>temperature</i> pada <i>inlet heat exchanger</i>	7	2	3	42
		<i>Panel Kontrol</i>	Mengatur sistem kontrol pompa	<i>cover push button emergency lube oil BFPT rusak</i>	<i>Life time, umur peralatan</i>	<i>Push Button emergency</i>	7	2	4	56
				<i>Cover Kabel Transmitter Pressure Lube Oil BFPT Lepas</i>	Korosit	rawan terjadi <i>short</i> pada panel apabila terjadi kebocoran air	7	3	4	84
		<i>Lube Oil</i>	Pelumasan pada <i>bearing</i>	Kerusakan solenoid lube oil BFPT	Umur Peralatan	pompa lube oil tidak permit untuk distrart	8	3	4	96
				Oil BFP-T bercampur air	<i>exhaust fan lube oil tank</i> tidak berfungsi dengan maksimal	kualitas <i>lube oil</i> untuk sistem pelumasan tidak memenuhi standart	8	2	4	64

no	Equipment	Sub Equipment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
		Heat Exchanger	menstransfer panas pada sistem lube oil dengan fluida (air) sebagai penyerap panas	Handle untuk change over HE Lube oil BFPT macet	korosit pada steam handle	proses pendinginan atau transfer panas pada sistem lube oil tidak maksimal	8	2	5	80
				Differensial pressure pada filter heat exchanger tinggi	terjadi sumbatan akibat kotoran atau material asing pada filter	flow dan pressure sistem fluida tidak terpenuhi	8	2	4	64
4	Pump BFP-T	Valve Mov	mengalirkan fluida atau menghentikan dan menahan laju aliran fluida secara motorized	valve mov tidak bisa dioperasikan	Aus pada seat & disc, settingan torsi dan valve tidak sesuai, gigi transfer ke shaft rusak	pompa bfpt tidak permite untuk distart	6	2	4	48
		Pengukur Indikator	Penunjukkan nilai pressure, temperature fluida serta memberikan perintah penghentian sistem apabila pressure sistem	indikator temperature BFPT water end body topen error/blank	Sensor kotor	menyulitkan operator dalam memantau temperature pada inlet pipe 1	7	3	3	63

no	Equipment	Sub Equipment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
			drop	terjadi kebocoran di <i>pressure switch pump</i> BFP-T	<i>line</i> buntu atau bocor, korosit	Pompa BFP-T <i>trip</i>	7	2	3	42
				kebocoran <i>line pressure gauge balancing pipe</i> BFPT	umur sensor, <i>electric trouble</i>	Penunjukkan <i>pressure</i> fluida tidak akurat	7	3	3	63
				<i>Block valve Pressure Gauge</i> macet	<i>stem</i> berat, korosit	menghambat proses perbaikan jika terdapat penggantian <i>pressure gauge</i>	6	2	3	36
				indikator temperature error/blank	kabel <i>transmitter</i> putus/ <i>short</i>	menyulitkan operator dalam memantau temperature pada pipe	7	2	3	42
		<i>Stainer Filter</i>	menyaring aliran fluida dari kotoran atau material asing	<i>differensial pressure</i> pada filter tinggi	terjadi sumbatan akibat kotoran atau material asing pada filter	<i>flow</i> dan <i>pressure</i> sistem fluida tidak terpenuhi	7	2	3	42

no	Equipment	Sub Equipment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
		Valve Mov	mengalirkan fluida atau menghentikan dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	Indikator power MOV <i>extraction 4</i> to T-BFP di lokal tidak menyala	kabel power short	pompa BFP-T tidak <i>permit distart</i> karena tidak ada <i>supply steam</i> ke turbin BFP-T	7	2	3	42
				Modul MOV <i>exhaust</i> BFPT rusak	Modul Mov short, terendam air	pompa BFP-T tidak <i>permit distart</i> karena tidak ada <i>supply steam</i> ke turbin BFP-T	7	2	3	42
		Mechanical Seal	Perapat poros dengan casing pompa agar mencegah keluarnya fluida dalam pompa pada saat beroperasi	kebocoran BFPT	<i>expansi spring</i> kurang optimal	flow dan pressure sistem fluida tidak terpenuhi	8	2	3	48
				<i>Differensial pressure</i> pada filter casing <i>mechanical seal</i> tinggi	terjadi sumbatan akibat kotoran atau material asing pada filter	<i>flow</i> dan <i>pressure</i> sistem fluida tidak terpenuhi	7	3	3	63

no	Equipment	Sub Equipment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
				<i>Manual Valve Main Cooling Supply to BFPT Rusak</i>	<i>cooling mechanical seal kurang optimal</i>	Tidak dapat melakukan pengaturan aliran fluida <i>cooling</i> pada <i>mechanical seal</i>	8	2	3	48
		<i>Coupling pump</i>	mengkopel <i>shaft</i> antara pompa dengan <i>turbine BFP-T</i>	rembes oli di <i>lube oil coupling BFPT</i>	Baut pada <i>coupling</i> Kendor	proses pengkopelan pompa tidak maksimal	8	3	3	72
5	Turbine BFPT	<i>Valve Manual</i>	Mengalirkan maupun menghentikan aliran fluida secara manual	<i>Kebocoran Drain Manual Valve supply steam BFPT to Dearator</i>	ulir manual valve berkarat	<i>losses</i> pemakaian <i>steam</i> besar (tidak efisien)	10	2	4	80
				<i>Kebocoran pada manual valve venting casing BFPT menuju drain</i>	<i>packing manual valve</i> rusak	<i>losses</i> pemakaian <i>steam</i> besar (tidak efisien)	8	2	4	64

n o	Equipme nt	Sub Equip ment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
				sensor <i>vibrasi</i> BFPT	Sensor kotor, umur sensor	operator tidak bisa memantau parameter operasi terkait <i>vibrasi</i> <i>turbine</i> BFPT	6	3	3	54
				<i>parameter</i> <i>temperatur</i> <i>e bearing</i> BFPT tidak ada	<i>electric</i> <i>trouble</i>	operator tidak bisa memantau parameter operasi terkait temperature <i>turbine</i> BFPT	7	2	3	42
				kerusakan indikator <i>gauge</i> <i>temperatur</i> sisi NDE pada T- BFP	<i>Setting</i> <i>point</i> tidak sesuai dengan <i>standar</i> <i>t</i> <i>manufa</i> <i>cture</i>	operator tidak bisa memantau parameter operasi terkait <i>temperature</i> <i>turbine</i> BFPT	7	2	3	42
				Penunjuka n <i>vibrasi</i> BFPT sisi 1X sering error di DCS	Aus atau usang	operator tidak bisa memantau parameter operasi terkait <i>vibrasi</i> <i>turbine</i> BFPT	6	2	3	36
		Penguk ur Indikat or	Penunjun jukan nilai <i>vibrasi</i> , pada <i>turbine</i> BFPT							

n o	Equipme nt	Sub Equip ment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
				<i>thermocou ple front clinder BFPT rusak</i>	Umur peralata n	operator tidak bisa memantau parameter operasi terkait <i>temperature turbine BFPT</i>	8	2	3	48
		<i>Rotor</i>		<i>Shaft vibrasi VIX pada BFPT tinggi (HH)</i>	<i>unbala nce pada shaft turbine</i>	<i>Turbine BFP-T trip</i>	8	2	4	64
		<i>Rumah Turbin(casing)</i>	menutup serta melindungi bagian- bagian utama <i>turbine BFP-t</i>	<i>Leakage isolasi casing BFPT</i>	<i>seal casing rusak</i>	<i>Losses steam tinggi(tidak efisien)</i>	6	2	5	60
		<i>Pipe steam</i>	mengalirka n <i>steam</i> ke turbine BFP-T	kebocoran pada <i>line inlet steam BFPT</i>	Korosit	<i>Losses steam tinggi(tidak efisien)</i>	7	2	5	70

n o	Equipme nt	Sub Equip ment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
		<i>Panel Kontrol</i>	Mengatur <i>system</i> kontrol <i>turbine</i> BFP-T	layar indikator digital pada BFPT <i>Supervisor</i> <i>y Protect</i> <i>Cabinet</i> unit 2 tidak ada yang menyala	<i>Short</i> pada power	operator kesulitan dalam memantau parameter yang tampil pada layar indikator	6	2	5	60
		<i>Valve Mov</i>	mengalirka n fluida atau menghenti kan dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	Perbaikan MOV <i>spray</i> <i>gland seal</i> BFPT <i>close fault</i>	kerusak an pada modus kontrol	<i>temperature</i> <i>steam seal</i> BFP-T tidak bisa di kontrol	7	2	3	42
		<i>Over Speed Trip Mecha nism</i>		nilai rpm T-BFP pada <i>Supervisor</i> <i>y Protect</i> <i>Cabinet</i> tidak sama dengan DCS	ganggu an pada jalur <i>transmi</i> <i>tter</i>	<i>Turbine</i> BFP-T <i>trip</i>	7	2	4	56
		<i>MHC compon ent</i>	sistem pengaturan dan proteksi sistem turbine BFP-T	BFPT tidak bisa di latch	ganggu an pada kontrol <i>system</i> turbin BFP-T	pompa BFP- T tidak <i>permit</i> distart	7	2	3	42

n o	Equipme nt	Sub Equip ment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Failure effect	S	O	D	RPN
				Parameter <i>pressure recirculating Electro hydrasi</i> (EH) rusak	korosit, umur peralatan	operator kesulitan dalam memantau parameter operasi terkait <i>pressure EH</i>	6	2	3	36
				<i>leakage</i> pada <i>solenoid test</i> 4PS BFP-T	Korosit	BFP-T trip	6	3	3	54
		<i>Control Valve steam</i>	mengalirkan fluida atau menghentikan dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	<i>Pneumatic valve Extraction</i> 4 to BFPT <i>fault</i>	kerusakan pada modus kontrol	pompa BFP-T tidak pernite untuk distart	6	2	5	60
		<i>Bearings</i>	menahan atau menumpu poros rotor untuk mengurangi gesekan antara poros dengan <i>casing</i>	Vibrasi pada bearing BFP-T tinggi	Kerusakan pada bearing, degradasi, kualitas <i>lube oil</i> kurang, umur peralatan	<i>Turbine BFP-T</i> trip	10	6	4	240
				Kebocoran oil di sisi <i>bearing</i>	<i>seal oil</i> (<i>gland packing</i>) rusak	pelumasan pada bearing tidak maksimal	8	2	4	64

Dari hasil perhitungan RPN pada tabel 4.2, dapat diperoleh nilai RPN yang tertinggi yaitu pada mesin *Turbine BFP-T* dengan komponen kritis *bearing*.

4.3.1.3 Logic Tree Analysis (LTA)

Logic Tree Analysis (LTA) mengandung informasi nama kegagalan fungsi, komponen yang mengalami kegagalan, fungsi dari komponen dan mode kerusakan serta analisis kekritisan. Tujuan dari LTA yaitu mengklasifikasikan *failure* atau kegagalan untuk mengetahui tingkat prioritas berdasarkan kategorinya. Contoh pengisian tabel LTA adalah sebagai berikut:

1. Komponen yang mengalami kerusakan adalah bearing pada mesin turbine BFP-T
2. Fungsi bearing pada mesin turbine BFP-T adalah sebagai penahan atau penumpu poros rotor untuk mengurangi gesekan antara poros dengan casing.
3. Mode kegagalan adalah vibrasi pada bearing turbine BFP-T tinggi
4. Analisis kekritisan (mode kegagalan):
 - a. Evident : Y
 - b. Safety : N
 - c. Outage : Y
 - d. Category: B

Untuk pengisian LTA seluruh komponen sistem BFP-T dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4.3 *Logic Tree Analysis* Mesin BFP-T

No	Equip ment	Sub Equipm ent	Function	Failure Mode	Criticaly Analysis			
					Evi den t	Saf ety	Out age	Cate gory
1	Booster Pump BFPT-T	Valve Manual	Mengalirkan maupun menghentikan aliran fluida secara manual	Kerusakan pada <i>valve line suction booster pump</i> BFP-T	Y	N	Y	B
		Pengukur Indikator	Penunjukkan nilai <i>pressure</i> fluida	Kebocoran sambungan pipa dan <i>nepple</i> PI	Y	N	N	C
			kebocoran pada <i>line</i> indikator <i>pressure gauge outlet Booster</i> BFPT	Y	N	N	C	
		Pipe	Mengalirkan Fuida dengan jalur transfer fluida	kebocoran pada <i>pipe line booster</i> to BFPT	Y	N	N	C

No	Equipment	Sub Equipment	Function	Failure Mode	Criticaly Analysis			
					Evident	Safety	Outage	Category
				Kebocoran pada <i>Line suction booster</i> BFPT	Y	N	Y	B
2	Lube Oil Booster Pump	Lube oil	Pelumasan pada <i>bearing</i>	kebocoran pada pada <i>outlet filter lube oil booster</i>	Y	N	Y	B
3	Lube Oil Pump Pump BFP-T	Pengukur Indikator Panel Kontrol	Penunjukkan nilai <i>pressure, temperature, dan level lube oil</i> pada <i>pump</i> BFPT Mengatur sistem kontrol pompa	<i>pressure lube oil</i> BFPT rusak	Y	N	N	C
				Perbedaan penunjukkan level <i>lube oil</i> antara DCS dan lokal tidak sama	Y	N	N	C
				<i>Temperature Gauge Inlet HE (Heat Exchanger) Lube Oil</i> BFPT ERROR	Y	N	N	C
				<i>cover push button emergency lube oil</i> BFPT rusak	Y	N	N	C
		Panel Kontrol Lube Oil	Mengatur sistem kontrol pompa Pelumasan pada <i>bearing</i>	<i>Cover Kabel Transmitter Pressure Lube Oil</i> BFPT Lepas	Y	N	N	C
				Kerusakan solenoid lube oil BFPT	Y	N	N	C
		Lube Oil Heat Exchanger	Pelumasan pada <i>bearing</i> mentransfer panas pada <i>sistem lube oil</i> dengan fluida (air) sebagai penyerap panas	Oil BFP-T bercampur air	Y	N	Y	B
				Handle untuk change over HE Lube oil BFPT macet	Y	N	N	C
		Heat Exchanger Valve Mov	mentransfer panas pada sistem lube oil dengan fluida (air) sebagai penyerap panas mengalirkan fluida atau menghentikan dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	<i>Differensial prresure</i> pada <i>filter</i> heat exchanger tinggi	Y	N	N	C
				<i>valve mov</i> tidak bisa dioperasikan	Y	N	Y	B

No	Equipment	Sub Equipment	Function	Failure Mode	Criticaly Analysis			
					Evident	Safety	Outage	Category
4	Turbine BFPT	Pengukur Indikator	Penunjukkan nilai <i>pressure</i> , <i>temperature</i> fluida serta memberikan perintah penghentian sistem apabila <i>pressure</i> sistem drop	indikator <i>temperature BFPT water end body topen error/blank</i>	Y	N	N	C
		Pengukur Indikator Stainer Filter	Penunjukkan nilai <i>pressure</i> , <i>temperature</i> fluida serta memberikan perintah penghentian sistem apabila <i>pressure</i> sistem drop menyaring aliran fluida dari kotoran atau material asing	terjadi kebocoran di <i>pressure switch pump BFP-T</i>	Y	N	Y	B
				kebocoran <i>line pressure gauge balancing pipe BFPT</i>	Y	N	N	C
				<i>Block valve Pressure Gauge</i> macet	Y	N	N	C
				indikator <i>temperature error/blank</i>	Y	N	N	C
				<i>differensial pressure</i> pada filter tinggi	Y	N	N	C
		Valve Mov	mengalirkan fluida atau menghentikan dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	<i>Indikator power MOV extration 4 to T-BFP</i> di lokal tidak menyala	Y	N	Y	B
		Valve Mov Mechanical Seal	mengalirkan fluida atau menghentikan dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i> Perapat poros dengan casing pompa agar mencegah keluarnya fluida dalam pompa pada saat beroperasi	Modul <i>MOV exhaust BFPT</i> rusak	Y	N	Y	B
				kebocoran BFPT	Y	N	N	C
		Mechanical Seal Coupling	Perapat poros dengan casing pompa agar	<i>Differensial pressure</i> pada filter casing <i>mechanical seal</i> tinggi	Y	N	N	C

No	Equipment	Sub Equipment	Function	Failure Mode	Criticaly Analysis				
					Evident	Safety	Outage	Category	
5	Booster Pump BFPT-T	pump	mencegah keluarnya fluida dalam pompa pada saat beroperasi mengkopel <i>shaft</i> antara pompa dengan <i>turbine</i> BFP-T	Manual Valve Main Cooling Supply to BFPT Rusak	Y	N	N	C	
				rembes oli di <i>lube oil coupling</i> BFPT	Y	N	N	C	
		Valve Manual	Mengalirkan maupun menghentikan aliran fluida secara manual	Kebocoran <i>Drain Manual Valve supply steam</i> BFPT to <i>Dearator</i>	Y	N	N	C	
	Booster Pump BFPT-T	Pengukur Indikator		Penununjukkan nilai <i>vibrasi</i> , pada <i>turbine</i> BFPT	Kebocoran pada <i>manual valve venting casing</i> BFPT menuju <i>drain</i>	Y	N	N	C
					sensor <i>vibrasi</i> BFPT	Y	N	N	C
		Pengukur Indikator Rotor		Penununjukkan nilai <i>vibrasi</i> , pada <i>turbine</i> BFPT	<i>parameter temperature bearing</i> BFPT tidak ada	Y	N	N	C
					kerusakan indikator <i>gauge temperatur</i> sisi NDE pada T-BFP	Y	N	N	C
					Penunjukan <i>vibrasi</i> BFPT sisi 1X sering error di DCS	Y	N	N	C
					<i>thermocouple front clinder</i> BFPT rusak	Y	N	N	C
					<i>Shaft vibrasi</i> VIX pada BFPT tinggi (HH)	Y	N	N	C
		Rumah Turbin(casing)	menutup serta melindungi bagian-bagian utama <i>turbine</i> BFP-t	<i>Leakage isolasi casing</i> BFPT	Y	N	Y	B	
	Pipe steam	mengalirkan <i>steam</i> ke <i>turbine</i> BFP-T	kebocoran pada <i>line inlet steam</i> BFPT	Y	N	N	C		
	Panel Kontrol	Mengatur <i>system</i> kontrol <i>turbine</i> BFP-T	layar indikator digital pada BFPT <i>Supervisory Protect Cabinet</i> unit 2 tidak ada yang menyala	Y	N	N	C		

No	Equip ment	Sub Equipm ent	Function	Failure Mode	Criticaly Analysis			
					Evi den t	Saf ety	Out age	Cate gory
		<i>Valve Mov</i>	mengalirkan fluida atau menghentikan dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	Perbaikan MOV <i>spray gland seal</i> BFPT <i>close fault</i>	Y	N	N	C
		<i>Over Speed Trip Mechani sm</i>		nilai rpm T-BFP pada <i>Supervisory Protect</i> <i>Cabinet</i> tidak sama dengan DCS	Y	N	Y	B
		<i>MHC compon ent</i>	sistem pengaturan dan proteksi sistem turbine BFP-T	BFPT tidak bisa di latch	Y	N	Y	B
		MHC compon ent <i>Control Valve steam</i>	sistem pengaturan dan proteksi sistem turbine BFP-T mengalirkan fluida atau menghentikan dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	Parameter <i>pressure</i> <i>recirculating Electro</i> <i>hydrasi (EH)</i> rusak	Y	N	Y	B
				<i>leakage</i> pada <i>solenoid</i> <i>test</i> 4PS BFP-T	Y	N	N	C
				<i>Pneumatic valve</i> <i>Extraction 4 to BFPT</i> <i>fault</i>	Y	N	N	C
		<i>Bearing</i>	menahan atau menumpu poros rotor untuk mengurangi gesekan antara poros dengan <i>casing</i>	Vibrasi pada bearing BFP-T tinggi	Y	N	N	C
		<i>Bearing Valve Manual</i>	menahan atau menumpu poros rotor untuk mengurangi gesekan antara poros dengan <i>casing</i> Mengalirkan maupun	Kebocoran oil di sisi <i>bearing</i>	Y	N	Y	B
				Kerusakan pada <i>valve</i> <i>line suction booster</i> <i>pump</i> BFP-T	Y	N	Y	B

No	Equipment	Sub Equipment	Function	Failure Mode	Criticaly Analysis			
					Evident	Safety	Out age	Cate gory
			menghentikan aliran fluida secara manual					

4.3.1.4 Pemilihan Tindakan

Pemilihan tindakan didasarkan pada jawaban dari pertanyaan penuntun (*selection task*) yang disesuaikan dengan *road map* pemilihan tindakan. Proses ini akan menentukan tindakan yang tepat untuk mode kegagalan tertentu. Contoh pengisian tabel pemilihan tindakan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Komponen yang mengalami kerusakan adalah *bearing* pada mesin *turbine* BFP-T
2. Fungsi *bearing* pada mesin *turbine* BFP-T adalah sebagai penahan atau penumpu poros rotor untuk mengurangi gesekan antara poros dengan casing.
3. Mode kegagalan adalah *vibrasi* pada *bearing turbine* BFP-T tinggi
4. *Selection guide* (mode kerusakan) :
 - 3.1.1.1.1 Apakah hubungan kerusakan dengan *age reliability* diketahui ? : Y
 - 3.1.1.1.2 Apakah tindakan TD bisa digunakan? Y
 - 3.1.1.1.3 Apakah tindakan CD dapat digunakan? Y
 - 3.1.1.1.4 Apakah termasuk dalam mode kerusakan? Y
 - 3.1.1.1.5 Apakah tindakan FF dapat digunakan? Y
 - 3.2 Apakah diantara tindakan yang dipilih efektif? Y
 - 3.3 Dapatkah desain dari modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya? –

Selection task : CD (*condition derect*) yaitu Tindakan perawatan yang dilakukan dengan memeriksa, inspeksi suatu alat agar dapat mendeteksi adanya kerusakan. Apabila didalam inspeksi terdapat gejala-gejala kerusakan, maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.

Tabel 4.4 Selection Task Mesin BFP-T

no	Equipm ent	Sub Equipm ent	Function	Failure Mode	Selection Guide							Sele ction Task	
					1	2	3	4	5	6	7		
1	Booster Pump BFPT-T	Valve Manual	Mengalirkan maupun menghentikan aliran fluida secara manual	Kerusakan pada <i>valve line suction booster pump BFP-T</i>	Y	N	Y	N	-	Y	-	CD	
			Pengukur Indikator	Penunjukkan nilai <i>pressure fluida</i>	Kebocoran sambungan pipa dan <i>nepple PI</i>	N	-	Y	N	-	Y	-	CD
				kebocoran pada <i>line indikator pressure gauge outlet Booster BFPT</i>	N	-	Y	N	-	Y	-	CD	
			Pipe	Mengalirkan Fuida dengan jalur transfer fluida	kebocoran pada <i>pipe line booster to BFPT</i>	N	-	Y	N	-	Y	-	CD
					Kebocoran pada <i>Line suction booster BFPT</i>	Y	N	Y	N	-	Y	-	CD
2	Lube Oil Booster Pump	Lube oil	Pelumasan pada <i>bearing</i>	kebocoran pada <i>outlet filter lube oil booster</i>	N	-	Y	N	-	Y	-	CD	
3	Lube Oil Pump Pump BFP-T	Pengukur Indikator Panel Kontrol		<i>pressure lube oil BFPT rusak</i>	Y	Y	Y	Y	N	Y	-	CD	
			Penunjukkan nilai <i>pressure, temperature, dan level lube oil pada pump BFPT</i>	Perbedaan penunjukkan level <i>lube oil</i> antara DCS dan lokal tidak sama	N	-	Y	N	-	Y	-	CD	
			Mengantur sistem kontrol pompa	<i>Temperature Gauge Inlet HE (Heat Exchanger) Lube Oil BFPT ERROR</i>	Y	N	Y	N	-	Y	-	CD	
				<i>cover push button emergency lube oil BFPT rusak</i>	Y	Y	Y	N	-	Y	-	CD	

no	Equipm ent	Sub Equipm ent	Function	Failure Mode	Selection Guide							Sele ction Task
					1	2	3	4	5	6	7	
		Panel Kontrol Lube Oil	Mengantur sistem kontrol pompa Pelumasan pada bearing	Cover Kabel Transmitter Pressure Lube Oil BFPT Lepas	N	-	Y	N	-	Y	-	CD
				Kerusakan solenoid lube oil BFPT	N	-	Y	N	-	Y	-	CD
		Lube Oil Heat Exchang er	Pelumasan pada bearing menstransfer panas pada sistem lube oil dengan fluida (air) sebagai penyerap panas	Oil BFP-T bercampur air	Y	N	Y	N	-	Y	-	CD
				Handle untuk change over HE Lube oil BFPT macet	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	FF
		Heat Exchang er Valve Mov	Menstranf er panas pada sistem lube oil dengan fluida (air) sebagai penyerap panas mengalirkan fluida atau menghentika n dan menahan laju aliran fluida secara motorized	Differensial presure pada filter heat exchanger tinggi	N	-	Y	N	-	Y	-	CD
				Valve mov tidak bisa dioperasikan	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	CD
4	Turbine BFPT	Pengukur Indikator	Penununjukk an nilai pressure, temperature fluida serta memberikan perintah penghentian sistem apabila pressure sistem drop	Indikator temperature BFPT water end body topen error/blank	Y	Y	Y	Y	N	Y	-	CD
		Penguku r Indikato r	Penununjuk kan nilai pressure, temperature	Terjadi kebocoran di pressure switch pump BFP-T	N	-	Y	N	-	Y	-	CD

no	Equipm ent	Sub Equipm ent	Function	Failure Mode	Selection Guide							Selec tion Task
					1	2	3	4	5	6	7	
		Stainer Filter	fluida serta memberika n perintah penghentia n sistem apabila pressure sistem drop menyaring aliran fluida dari kotoran atau material asing	kebocoran <i>line pressure gauge balancing pipe BFPT</i>	N	-	Y	N	-	Y	-	CD
				<i>Block valve Pressure Gauge</i> macet	N	-	Y	N	-	Y	-	CD
				Indikator <i>temperature error/blank</i>	Y	Y	Y	Y	N	Y	-	CD
				<i>Differensial pressure</i> pada filter tinggi	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	FF
		Valve Mov	Mengalirkan fluida atau menghentika n dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	<i>Indikator power MOV extration 4 to T-BFP di lokal tidak menyala</i>	N	-	Y	N	-	Y	-	CD
			Mengalirka n fluida atau menghentik an dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	Modul MOV <i>exhaust BFPT</i> rusak	Y	Y	Y	N	-	Y	-	FF
		Valve Mov Mechani cal Seal	Perapat poros dengan <i>casing</i> pompa agar mencegah keluarnya fluida dalam pompa pada saat beroperasi	Kebocoran BFPT	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	FF
			Perapat poros dengan <i>casing</i> pompa agar mencegah keluarnya fluida	<i>Differensial pressure</i> pada filter casing <i>mechanical seal</i> tinggi	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	FF
		Mechani cal Seal Coupling pump		<i>Manual Valve Main Cooling Supply to BFPT</i> Rusak	Y	N	Y	N	-	Y	-	CD

no	Equipm ent	Sub Equipm ent	Function	Failure Mode	Selection Guide							Selec tion Task
					1	2	3	4	5	6	7	
		<i>Pipe steam</i>	mengalirkan <i>steam</i> ke turbine BFP- T	Kebocoran pada <i>line inlet steam</i> BFPT	Y	Y	Y	Y	N	Y	-	CD
		<i>Panel Kontrol</i>	Mengatur <i>system</i> kontrol turbine BFP- T	Layar indikator digital pada BFPT <i>Supervisory Protect Cabinet</i> unit 2 tidak ada yang menyala	N	-	Y	N	-	Y	-	CD
		<i>Valve Mov</i>	Mengalirkan fluida atau menghentika n dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	Perbaikan MOV <i>spray gland seal</i> BFPT <i>close fault</i>	Y	N	Y	N	-	Y	-	CD
		<i>Over Speed Trip Mechani sm</i>		Nilai rpm T- BFP pada <i>Supervisory Protect Cabinet</i> tidak sama dengan DCS	Y	N	Y	Y	Y	Y	-	CD
		<i>MHC compon ent</i>	Sistem pengaturan dan proteksi sistem turbine BFP- T	BFPT tidak bisa di <i>latch</i>	Y	N	Y	N	-	Y	-	CD
		<i>MHC compon ent Control Valve steam</i>	Sistem pengaturan dan proteksi sistem turbine BFP-T	Parameter <i>pressure recirculating Electro hydrasi</i> (EH) rusak	N	-	Y	Y	Y	Y	-	FF
			mengalirkan fluida atau menghentika n dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	<i>Leakage</i> pada <i>solenoid test</i> 4PS BFP-T	Y	Y	Y	Y	N	Y	-	CD
			mengalirkan fluida atau menghentika n dan menahan laju aliran fluida secara <i>motorized</i>	<i>Pneumatic valve Extraction</i> 4 to BFPT <i>fault</i>	Y	N	Y	N	-	Y	-	CD
		<i>Bearing</i>	Menahan atau menumpu poros rotor untuk mengurangi	<i>Vibrasi</i> pada <i>bearing</i> BFP- T tinggi	Y	N	Y	Y	Y	Y	-	CD

no	Equipm ent	Sub Equipm ent	Function	Failure Mode	Selection Guide							Selec tion Task
					1	2	3	4	5	6	7	
			gesekan antara poros dengan <i>casing</i>									
		Bearing Valve Manual	Menahan atau menumpu poros rotor untuk mengurangi gesekan antara poros dengan <i>casing</i> Mengalirkan maupun menghentika n aliran fluida secara manual	Kebocoran <i>oil</i> di sisi <i>bearing</i>	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	CD
				Kerusakan pada <i>valve line</i> <i>suction</i> <i>booster pump</i> BFP-T	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	CD

4.3.2 Penentuan Komponen Kritis

Komponen Kritis diperoleh dari hasil FMEA dengan nilai RPN tertinggi yaitu *Turbine* BFP-T sebesar 1445. Nilai ini menggambarkan bahwa komponen turbin BFP-T mengalami kegagalan yang harus ditangani akibat *downtime* yang paling besar diantara komponen lain. Sub komponen yang akan dipilih yaitu berdasarkan nilai RPN dari sub komponen Turbin- BFPT yaitu sebesar 304.

4.3.3 Penentuan Distribusi Data Waktu antar Kerusakan (*Time To Failure*)

Setelah diketahui komponen kritis, selanjutnya perlu diketahui jarak antar kerusakan dari komponen bearing. Berikut data interval kerusakan dilihat dalam tabel 4.5

Tabel 4.5 Time To Failure komponen bearing

No	Mulai <i>Downtime</i>	Selesai <i>Downtime</i>	Ti
1	20/01/2014 10:00:44	20/01/2014 16:00:44	0

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	Ti
2	23/06/2014 08:22:55	23/06/2014 13:00:00	221302,18
3	07/03/2015 08:42:43	07/03/2015 15:44:19	369822,72
4	25/07/2015 13:00:00	25/07/2015 15:00:00	201435,68
5	16/12/2016 09:00:00	16/12/2016 12:00:00	734040
6	16/04/2018 08:00:00	16/04/2018 16:00:00	699600

Pengujian distribusi ini menggunakan metode *least square curve fitting* yaitu pemilihan berdasarkan nilai *index of fit* yang paling besar. Distribusi yang digunakan untuk menghitung waktu kerusakan adalah dengan distribusi Normal (*Gaussian*), Lognormal, *Exponensial*, dan *Weibull*.

1. Distribusi Weibull

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi *Weibull* perhitungan ($i=1$):

$$X_i = \ln t_i \quad \dots\dots(4.2)$$

$$= \ln (201436) = 12,21323$$

$$F(t_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \dots\dots(4.3)$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(5+0,4)} = 0,12963$$

$$Y_i = \ln \left[\ln \left[\frac{1}{\{1-F(t_i)\}} \right] \right] \quad \dots\dots(4.4)$$

$$= \ln \left[\ln \left[\frac{1}{\{1-0,12963\}} \right] \right] = -1,97446$$

$$X_i * Y_i = 12,21323 * (-1,97446)$$

$$= -24,1145$$

$$X_i^2 = (12,21323)^2 = 149,169$$

$$Y_i^2 = (-1,97446)^2 = 3,898487$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Perhitungan nilai r TTF pada Distribusi *Weibull*

no	ti	Xi=ln ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	201436	12,21323	149,1629	0,12963	-1,97446	3,898487	-24,1145
2	221302,2	12,30728	151,4692	0,314815	-0,97269	0,946118	-11,9711
3	369822,7	12,82078	164,3724	0,5	-0,36651	0,134332	-4,69898
4	699600	13,45826	181,1249	0,685185	0,144767	0,020958	1,948318
5	734040	13,50632	182,4206	0,87037	0,714455	0,510447	9,649664
Total	2226201	64,30587	828,55	2,5	-2,45443	5,510341	-29,1866

Untuk mendapatkan nilai r dapat dilihat dalam perhitungan dibawah ini :

$$r_{weibull} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2 \right]}} \quad \text{.....(4.5)}$$

$$r_{(index\ of\ fit)} = \frac{(5 * (-29,1866)) - (64,30587 * (-2,45443))}{\sqrt{((5 * 828,55) - 64,30587^2) * ((5 * 5,510341) - (-2,45443)^2)}}$$

$$= 0,9363275$$

2. Distribusi Normal

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi Normal perhitungan (i=1):

$$X_i = t_i = 201436$$

$$F(t_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} = \frac{(1-0,3)}{(5+0,4)} = 0,12963 \quad \text{.....(4.6)}$$

$$Y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] = \Phi^{-1}[0,12963] = -1,128144 \quad \text{.....(4.7)}$$

Nilai Y_i dapat dilihat dalam tabel *standardized normal probabilities* pada lampiran.

$$X_i * Y_i = 201436 * (-1,128144) = -201073,335$$

$$X_i^2 = (201436)^2 = 40576334520$$

$$Y_i^2 = (-1,128144)^2 = 1,272708$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Perhitungan nilai r TTF pada Distribusi Normal

No	ti	Xi= ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	201436	201435,7	40576334520	0,12963	1,128144	1,272708	-227248,4
2	221302,2	221302,2	48974656348	0,314815	0,482248	0,232563	-106722,6
3	369822,7	369822,7	1,36769E+11	0,5	0	0	0
4	699600	699600	4,8944E+11	0,685185	0,482248	0,232563	337380,9
5	734040	734040	5,38815E+11	0,87037	1,128144	1,272708	828102,6
Total	2226201	2226201	1,25457E+12	2,5	0	3,010543	831512,4

Untuk mendapatkan nilai r dapat dilihat dalam perhitungan dibawah ini :

$$r_{\text{weibull}} = \frac{n \sum_{i=1}^n Xi Zi - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Zi)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2][n \sum_{i=1}^n Zi^2 - (\sum_{i=1}^n Zi)^2]}} \quad \text{.....(4.8)}$$

$$r_{\text{(index of fit)}} = \frac{(5*(831512,4)) - (2226201*(0))}{\sqrt{((5*1,25457E+12) - 2226201^2)*((5*3,010543) - 0^2)}}$$

$$= 0,93380071$$

3. Distribusi Lognormal

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi Lognormal perhitungan (i=1):

$$Xi = \ln ti$$

$$= \ln (201436) = 12,21323$$

$$F(ti) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \text{.....(4.19)}$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(5+0,4)} = 0,12963$$

$$Yi = zi = \Phi^{-1}[F(ti)] \quad \text{.....(4.20)}$$

$$= zi = \Phi^{-1}[0,12963] = -1,12814$$

Nilai Yi dapat dilihat dalam tabel *standardized normal probabilities* pada lampiran.

$$Xi*Yi = 12,21323*(-1,12814)$$

$$= -12,191$$

$$Xi^2 = (12,21323)^2 = 149,1629$$

$$Yi^2 = (-1,12814)^2 = 1,272708$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Perhitungan nilai r TTF pada Distribusi Lognormal

no	ti	Xi=ln ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	201436	12,21323	149,1629	0,12963	-1,12814	1,272708	-13,7783
2	221302,2	12,30728	151,4692	0,314815	-0,48225	0,232563	-5,93517
3	369822,7	12,82078	164,3724	0,5	0	0	0
4	699600	13,45826	181,1249	0,685185	0,482248	0,232563	6,490224
5	734040	13,50632	182,4206	0,87037	1,128144	1,272708	15,23707
Total	2226201	64,30587	828,55	2,5	0	3,010543	2,013853

Untuk mendapatkan nilai r dapat dilihat dalam perhitungan dibawah ini :

$$r_{\text{weibull}} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Z_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Z_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n Z_i^2 - (\sum_{i=1}^n Z_i)^2 \right]}} \quad \text{.....(4.21)}$$

$$r_{\text{(index of fit)}} = \frac{(5 \cdot (2,013853)) - (64,30587 \cdot (0))}{\sqrt{((5 \cdot 828,55) - 264,30587^2) \cdot ((5 \cdot 3,010543) - 0^2)}}$$

$$= 0,9473627$$

4. Distribusi Eksponensial

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi *Eksponensial* erhitungan (i=1):

$$X_i = t_i = 201435,68$$

$$F(t_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} = \frac{(1-0,3)}{(5+0,4)} = 0,1590909 \quad \text{.....(4.22)}$$

$$Y_i = \ln \left[\frac{1}{\{1-F(t_i)\}} \right] = \ln \left[\frac{1}{\{1-0,1590909\}} \right] = 0,173 \quad \text{.....(4.23)}$$

$$X_i \cdot Y_i = 201435,68 \cdot 0,173 = 34903,108$$

$$X_i^2 = (201435,68)^2 = 40576334520$$

$$Y_i^2 = (0,173)^2 = 0,030$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Perhitungan nilai r TTF pada Distribusi Eksponensial

no	ti	Xi= ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	201436	201435,7	40576334520	0,12963	0,138836	0,019276	27966,6
2	221302,2	221302,2	48974656348	0,31481	0,378066	0,142934	83666,9
3	369822,7	369822,7	1,36769E+11	0,5	0,693147	0,480453	256341,6
4	699600	699600	4,8944E+11	0,68518	1,155771	1,335806	808577,2
5	734040	734040	5,38815E+11	0,87037	2,043074	4,174151	1499698
Total	2226201	2226201	1,25457E+12	2,5	4,408894	6,152619	2676250

Untuk mendapatkan nilai r dapat dilihat dalam perhitungan dibawah ini :

$$r_{\text{weibull}} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad \dots\dots(4.24)$$

$$r_{\text{(index of fit)}} = \frac{(5 \cdot (2676250)) - (2226201 \cdot (4,408894))}{\sqrt{((5 \cdot 1,25457E+12) - 2226201^2) \cdot ((5 \cdot 6,152619) - (6,152619)^2)}}$$

$$= 0,92344356$$

Berikut ini adalah hasil rekapan nilai *index of fit* untuk masing-masing distribusi dapat dilihat dalam tabel 4.10

Tabel 4.10 Rekapan nilai r komponen *bearing*

No	Distribusi	Index Of Fit
1	<i>Exponensial</i>	0,923443561
2	Normal	0,933800715
3	Log Normal	0,947362714
4	<i>Weibull</i>	0,936327549

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai *index of fit* terbesar yaitu pada distribusi lognormal sebesar 0,947362714 atau sebanyak 94,73%. Maka distribusi yang terpilih adalah distribusi lognormal.

4.3.4 Penentuan Distribusi Data Waktu antar Perbaikan (*Time to Repair*)

Penentuan distribusi untuk data perbaikan dilakukan dengan menggunakan metode *least square curve fitting* yaitu pemilihan berdasarkan nilai *index of fit* yang paling besar. Data

lama perbaikan diperoleh dari selisih waktu terjadinya kerusakan dengan komponen selesai diperbaiki. Berikut data antar perbaikan dilihat dalam tabe 4.11

Tabel 4.11 *Time to Repair* komponen *bearing*

No	Mulai <i>downtime</i>	Selesai <i>downtime</i>	Dti
1	20/01/2014 10:00:44	20/01/2014 16:00:44	360
2	23/06/2014 08:22:55	23/06/2014 13:00:00	277,08333
3	07/03/2015 08:42:43	07/03/2015 15:44:19	421,6
4	25/07/2015 13:00:00	25/07/2015 15:00:00	120
5	16/12/2016 09:00:00	16/12/2016 12:00:00	180

Pengujian distribusi yang digunakan untuk menghitung waktu perbaikan adalah dengan distribusi Normal (*Gaussian*), Lognormal, *Exponensial*, dan *Weibull*.

1. Distribusi *Weibull*

Berikut ini adalah contoh perhitungan Distribusi *Weibull*

Perhitungan (i=1)

$$\begin{aligned} X_i &= \ln dt_i \\ &= \ln (120) = 4,7875 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(t_i) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} && \text{.....(4.25)} \\ &= \frac{(1-0,3)}{(6+0,4)} = 0,1084 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i &= \ln \left[\ln \left[\frac{1}{\{1-F(t_i)\}} \right] \right] && \text{.....(4.26)} \\ &= \ln \left[\ln \left[\frac{1}{\{1-0,1084\}} \right] \right] = -2,1556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i * Y_i &= 4,7875 * (-2,1556) \\ &= -9,4527 \end{aligned}$$

$$X_i^2 = (4,7875)^2 = 22,9201$$

$$Y_i^2 = (-2,1556)^2 = 4,6467$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.12

Tabel 4.12 Perhitungan nilai r TTR pada Distribusi Weibull

no	dti	$X_i = \ln dti$	X_i^2	$F(dti)$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
1	120	4,7875	22,9201	0,1094	-2,1556	4,6467	-10,3200
2	180	5,1930	26,9668	0,2656	-1,1753	1,3813	-6,1031
3	277,0833	5,6243	31,6330	0,4219	-0,6015	0,3619	-3,3833
4	360	5,8861	34,6462	0,5781	-0,1473	0,0217	-0,8669
5	421,6	6,0441	36,5306	0,7344	0,2819	0,0795	1,7039
6	480	6,1738	38,1156	0,8906	0,7943	0,6310	4,9041
Total	1838,683	33,7087	190,8123	3	-3,0035	7,1219	-14,0653

Untuk mendapatkan nilai r dapat dilihat dalam perhitungan dibawah ini :

$$r_{\text{weibull}} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad \text{.....(4.27)}$$

$$r_{\text{(index of fit)}} = \frac{(6 * (-14,0653)) - (33,7087 * (-3,0035))}{\sqrt{((6 * 190,8123) - 33,7087^2) * ((6 * -7,1219) - (-3,0035)^2)}}$$

$$= 0,9898611$$

2. Distribusi Normal

Berikut ini adalah contoh perhitungan Distribusi Normal

Perhitungan (i=1)

$$X_i = dti$$

$$= 120$$

$$F(ti) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \text{.....(4.28)}$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(5+0,4)} = 0,1094$$

$$Y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(ti)] \quad \text{.....(4.29)}$$

$$= z_i = \Phi^{-1}[0,1094] = -1,2299$$

Nilai Y_i dapat dilihat dalam tabel *standardized normal probabilities* pada lampiran.

$$X_i * Y_i = 120 * (-1,2299) = -135,3772$$

$$X_i^2 = (120)^2 = 14400$$

$$Y_i^2 = (-1,2299)^2 = 1,2727$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.13

Tabel 4.13 Perhitungan nilai r pada Distribusi Normal

no	dti	Xi= dti	Xi2	F(dti)	Yi	Yi2	XiYi
1	120	120	14400	0,1094	-1,2299	1,5126	-147,5831
2	180	180	32400	0,2656	-0,6261	0,3920	-112,6978
3	277,0833	277,0833	76775,17361	0,4219	-0,1971	0,0388	-54,6129
4	360	360	129600	0,5781	0,1971	0,0388	70,9557
5	421,6	421,6	177746,56	0,7344	0,6261	0,3920	263,9633
6	480	480	230400	0,8906	1,2299	1,5126	590,3322
Total	1838,683	1838,683	661321,7336	3	0	3,8868	610,3575

Untuk mendapatkan nilai r dapat dilihat dalam perhitungan dibawah ini :

$$r_{\text{weibull}} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Z_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Z_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Z_i^2 - (\sum_{i=1}^n Z_i)^2]}} \dots\dots(4.30)$$

$$r_{\text{(index of fit)}} = \frac{(6 \cdot (610,3575)) - (1838,683 \cdot 0)}{\sqrt{((6 \cdot 661321,7336) - 1838,683^2) \cdot ((6 \cdot 3,8868) - 0^2)}} = 0,98964702$$

3. Distribusi Lognormal

Berikut ini adalah contoh perhitungan Distribusi lognormal perhitungan (i=1) :

$$X_i = \ln dti = \ln (120) = 4,7875$$

$$F(ti) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} = \frac{(1-0,3)}{(5+0,4)} = 0,1094 \dots\dots(4.31)$$

$$Y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(ti)] = z_i = \Phi^{-1}[0,1094] = -1,2299 \dots\dots(4.32)$$

Nilai Yi dapat dilihat dalam tabel *standardized normal probabilities* pada lampiran.

$$X_i \cdot Y_i = 4,7875 \cdot (-1,2281) = -5,4010$$

$$X_i^2 = (4,7875)^2 = 22,9201$$

$$Y_i^2 = (-1,2299)^2 = 1,5126$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.14

Tabel 4.14 Perhitungan nilai r pada Distribusi Lognormal

no	dti	$X_i = \ln dti$	X_i^2	$F(dti)$	Y_i	Y_i^2	$X_i Y_i$
1	120	4,7875	22,9201	0,1094	-1,2299	1,5126	-5,8879
2	180	5,1930	26,9668	0,2656	-0,6261	0,3920	-3,2513
3	277,0833	5,6243	31,6330	0,4219	-0,1971	0,0388	-1,1085
4	360	5,8861	34,6462	0,5781	0,1971	0,0388	1,1601
5	421,6	6,0441	36,5306	0,7344	0,6261	0,3920	3,7842
6	480	6,1738	38,1156	0,8906	1,2299	1,5126	7,5929
Total	1838,683	33,7087	190,8123	3	0	3,8868	2,2894

Untuk mendapatkan nilai r dapat dilihat dalam perhitungan dibawah ini :

$$r_{\text{lognormal}} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Z_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Z_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Z_i^2 - (\sum_{i=1}^n Z_i)^2]}} \dots\dots(4.33)$$

$$r_{\text{(index of fit)}} = \frac{(6 * (2,2894)) - (33,7087 * (0))}{\sqrt{((6 * 190,8123) - 33,7087^2) * ((6 * 3,8868) - 0^2)}}$$

$$= 0,9707161$$

4. Distribusi *Ekspensial*

Berikut ini adalah contoh perhitungan Distribusi Ekspensial

Perhitungan (i=1)

$$X_i = dti$$

$$= 120$$

$$F(t_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \dots\dots(4.34)$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(5+0,4)} = 0,1094$$

$$Y_i = \ln \left[\frac{1}{\{1-F(t_i)\}} \right] \dots\dots(4.35)$$

$$= \ln \left[\frac{1}{\{1-0,1094\}} \right] = 0,1158$$

$$X_i * Y_i = 120 * 0,1158$$

$$= 13,8998$$

$$X_i^2 = (120)^2 = 14400$$

$$Y_i^2 = (0,1158)^2 = 0,0134$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.15

Tabel 4.15 Perhitungan nilai r pada Distribusi *Ekspensial*

no	dti	Xi= dti	Xi2	F(dti)	Yi	Yi2	XiYi
1	120	120	14400	0,1094	0,1158	0,0134	13,8998
2	180	180	32400	0,2656	0,3087	0,0953	55,5724
3	277,0833	277,0833	76775,17361	0,4219	0,5480	0,3003	151,8320
4	360	360	129600	0,5781	0,8630	0,7448	310,6966
5	421,6	421,6	177746,56	0,7344	1,3257	1,7574	558,9024
6	480	480	230400	0,8906	2,2130	4,8972	1062,227
Total	1838,683	1838,683	661321,7336	3	5,3742	7,8085	2153,130

Untuk mendapatkan nilai r dapat dilihat dalam perhitungan dibawah ini :

$$r_{\text{ekspensial}} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad \text{.....(4.36)}$$

$$r_{\text{(index of fit)}} = \frac{(6*(2153,1302)) - (1838,683*(5,3742))}{\sqrt{((6*661321,7336) - 1838,683^2)*((6*7,8085) - 5,3742^2)}}$$

$$= 0,93506994$$

Berikut ini adalah hasil rekapan nilai *index of fit* untuk masing-masing distribusi dapat dilihat dalam tabel 4.16

Tabel 4.16 Rekapan nilai r data antar perbaikan komponen bearing

Distribusi	Index Of Fit
<i>Exponensial</i>	0,935069941
Normal	0,989647017
Log Normal	0,970161027
<i>Weibull</i>	0,989861053

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai *index of fit* terbesar yaitu pada distribusi weibull sebesar 0,989861053 atau sebanyak 98,98%. Maka distribusi yang terpilih adalah distribusi weibull.

4.3.5 Uji Goodness of fit pada Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Time To Failure*)

Uji Kecocokan distribusi atau uji *goodness of fit* digunakan untuk menguji hipotesis yang diberikan terhadap pola distribusi yang telah ada. Distribusi yang akan diuji yaitu distribusi lognormal sesuai dengan yang telah dipilih dalam proses pemilihan distribusi awal untuk data waktu kerusakan. Berikut ini merupakan Uji *Goodness Of Fit* pada data waktu kerusakan untuk komponen bearing menggunakan *Kolmogrov-Smirnov Test* distribusi lognormal.

Tabel 4.17 Perhitungan *Kolmogrov-Smirnov Test* untuk komponen bearing

Dti	ln ti	$[\ln ti - \bar{x}_{ti}]^2$	Zti	Fti	D1	D2
1	12,21322542	0,4198378	1,0577467	0,1450855	0,1450855	0,0549145
2	12,30728439	0,3067941	0,9041998	0,1829447	0,0170553	0,2170553
3	12,82077903	0,0016318	0,0659435	0,4737114	0,0737114	0,1262886
4	13,45826402	0,3565161	0,9747214	0,8351508	0,2351508	0,0351508
5	13,5063188	0,4162114	1,0531686	0,8538681	0,0538681	0,1461319
		1,5009911		Dn Max	0,2351508	0,2170553

D_{hitung} dapat diperoleh dari nilai terbesar antara D1 dan D2, maka $D_{hitung} = 0,2351508$

Hipotesa untuk melakukan Uji *Kolmogorov-Smirnov Test* adalah:

H_0 = Data *Time Failure* berdistribusi Lognormal

H_1 = Data *Time Failure* tidak berdistribusi Lognormal

α = 0,05

D_{tabel} = Dapat dilihat dari tabel D Kolmogorov-Smirnov, dengan nilai $D_{crit} = 5;0,05 = 0,337$

Wilayah kritis : $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima

Sehingga keputusannya $D_n < D_{crit}$, $D_n = 0,2351508 < D_{crit} = 0,337$, yaitu H_0 diterima.

4.3.6 Uji Goodness of fit pada Distribusi Data Waktu Perbaikan (Time To Repair)

Distribusi yang akan diuji yaitu distribusi *weibull* sesuai dengan yang telah dipilih dalam proses pemilihan distribusi awal untuk data waktu perbaikan. Berikut ini merupakan Uji *Goodness Of Fit* pada data waktu perbaikan untuk komponen *bearing* menggunakan Uji *Mann's Test* distribusi *Weibull*.

Hipotesa untuk melakukan Uji *Mann's Test* adalah:

H_0 = Data *Time Failure* berdistribusi *Weibull*

H_1 = Data *Time Failure* tidak berdistribusi *Weibull*

α = 0,05

Wilayah kritis : Bila $M < F_{crit}$ maka H_0 diterima, yaitu $M < F_{0,05; 2k_2; 2k_1}$

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} [\ln t_{i+1} - \ln t_i] / M_i}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [\ln t_{i+1} - \ln t_i] / M_i} \dots\dots(4.41)$$

Tabel 4.18 Perhitungan Uji *Mann's Test* untuk komponen *bearing*

No	ti	ln ti	Zi	Mi	ln ti+1 - ln ti	ln ti+1 - ln ti/ Mi
1	120	4,7875	-2,4843	1,1913	0,4055	0,3404
2	180	5,1930	-1,2930	0,6213	0,4314	0,6943
3	277,0833					
3	3	5,6243	-0,6717	0,4745	0,2617857	0,5517422
4	360	5,8861	-0,1973	0,4386	0,157953	0,3601256
5	421,6	6,0441	0,2413	0,5102	0,1297291	0,2542756
6	480	6,1738	0,7515			

Contoh perhitungan untuk Uji *Mann's Test*:

$n = 6$

$$k_1 = \left\lceil \frac{r}{2} \right\rceil \dots\dots(4.37)$$

$$= \left\lceil \frac{6}{2} \right\rceil = 3$$

$$k_2 = \left\lceil \frac{r-1}{2} \right\rceil \dots\dots(4.38)$$

$$= \left\lceil \frac{6-1}{2} \right\rceil = 2,5$$

$$Z_i = \ln \left[\ln \left[1 - \frac{i-0,5}{\{n+0,25\}} \right] \right] \quad \dots\dots(4.39)$$

$$= \ln \left[\ln \left[1 - \frac{1-0,5}{\{6+0,25\}} \right] \right] = -2,4843$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \quad \dots\dots(4.40)$$

$$= -1,2930 - (-2,4843) = 1,1913$$

$$M = \frac{k_1 \sum_4^5 [0,6144]}{k_2 \sum_1^3 [1,5864]} = 0,3872976$$

Sehingga keputusannya $M < F_{crit}$, $M = 0,3872976 < F_{0,05; 5;6} = 4,3873742$, yaitu H_0 diterima.

4.3.7 Perhitungan Parameter dari Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Time To Failure*)

Parameter yang digunakan pada distribusi lognormal untuk data waktu kerusakan adalah s (parameter bentuk) dan t_{med} (parameter lokasi) dengan perhitungan sebagai berikut:

a. t_{med} (parameter lokasi)

$$n = 5$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(ti)}{n} \quad \dots\dots(4.42)$$

$$= \frac{64,306}{5} = 12,86$$

$$t_{med} = e^\mu \quad \dots\dots(4.43)$$

$$= e^{12,86} = 385067,65779$$

b. S (parameter bentuk)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\ln(ti) - \mu]^2}{n}} \quad \dots\dots(4.44)$$

$$= \sqrt{\frac{1,5009911}{5}} = 0,61257$$

4.3.8 Perhitungan Parameter dari Distribusi Data Waktu Perbaikan (*Time To Repair*)

Parameter yang digunakan pada distribusi *weibull* untuk data waktu perbaikan adalah s (parameter bentuk) dan t_{med} (parameter lokasi) dengan perhitungan sebagai berikut:

a. β (*shape parameter*)

$$b = \beta = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \sum_{i=1}^n (X_i)^2} \quad \dots\dots(4.45)$$

$$b = \beta = \frac{(6 * (-14,065349)) - (33,708714 * (-3,0034634))}{(6 * 190,81231) - 1136,277} = 1,960191449$$

$$a = \frac{\sum Y_i - b * \sum X_i}{n} \quad \dots\dots(4.46)$$

$$a = \frac{-3,003462 - (1,96019 * 33,707871)}{6} = -11,5131659$$

b. θ (*scale parameter*)

$$\theta = e^{-a/b} \quad \dots\dots(4.47)$$

$$\begin{aligned} \theta &= [e^{-11,5131659/1,960191449}] \\ &= 355,4876546 \end{aligned}$$

4.3.9 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Mean Time To Failure*)

Berikut ini adalah perhitungan nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) untuk distribusi lognormal adalah:

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \quad \dots\dots(4.48)$$

$$= 385067,65779 * e^{\frac{0,37524005}{2}} = 464537,8052$$

4.3.10 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Perbaikan (*Mean Time To Repair*)

Berikut ini adalah perhitungan nilai *Mean Time To Repair* (MTTR) untuk distribusi *weibull* adalah:

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \dots\dots(4.49)$$

$$= 355,4876546. \Gamma(1,51) = 315,4876 \text{ menit}$$

(Nilai $\theta.\Gamma(1,51) = 0,88659$, dapat dilihat pada tabel dari fungsi *Gamma*.)

4.3.11 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan Minimasi *Downtime*

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan optimal dilakukan menggunakan metode *Age Replacement* dengan kriteria minimasi *downtime* yang dimana nilai interval waktu antar kerusakan (t_p) yang terpilih yaitu yang memiliki nilai *downtime* terkecil. Data – data yang dibutuhkan untuk mencari interval penggantian pencegahan yang telah ditentukan sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Data waktu kerusakan berdistribusi *weibull*

$$\text{MTTF} = 464537,8052$$

$$t_{\text{med}} = 385067,7$$

$$s = 0,612575$$

2. Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

$$T_f = 315,4876 \text{ menit}$$

3. Waktu untuk melakukan penggantian *preventive*

$$T_p = 315,4876 \text{ menit}$$

Setelah data – data yang diperlukan terkumpul , maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan hasil yang dapat dilihat dalam tabel 4.19.

Tabel 4.19 Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan komponen bearing

t_p	$R(t_p)$	$F(t_p)$	t_p+T_p	$(\text{MTTF}/F(t_p))+$ T_f	$D(t_p)$
1	1	3,62216E-98	316,1717997	1,2825E+103	0,00067800172807832
1000	1	1,25504E-22	1315,1718	3,70137E+27	0,00067654778496787
10000	0,99999999	1,26259E-09	10315,1718	3,67924E+14	0,00066372501591805

tp	R(tp)	F(tp)	tp+Tp	(MTTF/F(tp))+ Tf	D(tp)
10000 0	0,9861303 65	0,0138696 35	100315,17 18	33493469,15	0,00055934482671 494
31881 0	0,6210524 45	0,3789475 55	319125,17 18	1226178,22	0,00047547931444 114
31881 1	0,6210504 97	0,3789495 03	319126,17 18	1226171,919	0,00047547931443 228
31881 2	0,6210485 49	0,3789514 51	319127,17 18	1226165,617	0,00047547931442 553
31881 3	0,6210466 01	0,3789533 99	319128,17 18	1226159,316	0,00047547931442 087
31881 4	0,6210446 53	0,3789553 47	319129,17 18	1226153,014	0,00047547931441 831
31881 5	0,6210427 05	0,3789572 95	319130,17 18	1226146,713	0,00047547931441 786
31881 6	0,6210407 57	0,3789592 43	319131,17 18	1226140,412	0,00047547931441 950
31881 7	0,6210388 09	0,3789611 91	319132,17 18	1226134,111	0,00047547931442 325
31881 8	0,6210368 61	0,3789631 39	319133,17 18	1226127,81	0,00047547931442 910
31881 9	0,6210349 13	0,3789650 87	319134,17 18	1226121,509	0,00047547931443 704
31882 0	0,6210329 65	0,3789670 35	319135,17 18	1226115,208	0,00047547931444 709
31882 1	0,6210310 17	0,3789689 83	319136,17 18	1226108,907	0,00047547931445 924
31882 2	0,6210290 69	0,3789709 31	319137,17 18	1226102,606	0,00047547931447 348
31882 3	0,6210271 21	0,3789728 79	319138,17 18	1226096,306	0,00047547931448 983

tp	R(tp)	F(tp)	tp+Tp	(MTTF/F(tp))+ Tf	D(tp)
31882 4	0,6210251 73	0,3789748 27	319139,17 18	1226090,005	0,00047547931450 828
31882 5	0,6210232 25	0,3789767 75	319140,17 18	1226083,705	0,00047547931452 883
Min D(tp)					0,00047547931441 786

Berikut ini adalah contoh perhitungan interval waktu penggantian pencegahan komponen *bearing* pada mesin *turbine* BFP-T dengan distribusi *weibull* untuk $tp = 318.815$ menit.

$$a. \quad F(tp) = \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots\dots(4.50)$$

$$= \Phi\left(\frac{1}{0,61257} \ln \frac{318.815}{385067,65779}\right) = 0,378957295$$

$$b. \quad R(tp) = 1 - F(tp) \quad \dots\dots(4.51)$$

$$= 1 - 0,378957295 = 0,6210427$$

$$c. \quad (tp+Tp) \times R(tp) = 319130,17 \times 0,5200677 = 198193,4651$$

d. Ekspektasi panjang siklus kerusakan:

$$= (M(tp) + Tf) \times (1 - R(tp)) \quad \dots\dots(4.52)$$

$$= \left(\frac{MTTF}{1-R(tp)} + Tf\right) \times (1 - R(tp)) \quad \dots\dots(4.53)$$

$$= (1226146,713) \times (1 - 0,6210427)$$

$$= 464657,2418 \text{ menit}$$

$$e. \quad D(tp) = \frac{Tp \cdot R(tp) + Tf \cdot (1 - R(tp))}{(tp+Tp) \cdot R(tp) + (M(tp) + Tf) \cdot (1 - R(tp))} \quad \dots\dots(4.54)$$

$$= \frac{315,4876 \cdot 0,6210427 + 315,4876 \cdot (1 - 0,6210427)}{198193,465 + 464657,2418}$$

$$= 0,00047547931441786$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai $D(tp)$ yang paling minimum adalah pada $tp = 318815$ menit. Sehingga interval waktu penggantian pencegahan komponen *bearing* dengan kriterian minimasi *downtime* dilakukan pada menit ke 318815.

4.3.12 Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan

Berikut ini adalah perhitungan waktu optimal pemeriksaan komponen *bearing turbine* BFP-T :

1. Waktu yang dibutuhkan perusahaan untuk pemeriksaan *bearing turbine* BFP-T adalah 1 jam.

2. Jumlah pemeriksaan (k)

a. 1 bulan = 30 hari kerja; 1 hari 24 jam kerja

b. $t = 30 \text{ hari/bulan} \times 24 \text{ jam/hari} = 720 \text{ jam/bulan}$

c. Jumlah kerusakan *bearing turbine* BFP-T selama 4 tahun = 6 kali

$$d. k = \frac{\text{Jumlah Kerusakan selama 4 tahun}}{48 \text{ bulan}} \dots\dots(4.55)$$

$$k = \frac{6}{48 \text{ bulan}}$$

$$= 0,125$$

3. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk perbaikan ($1/\mu$)

a. MTTR = 315,4876 menit = 5,25 jam

b. $t = 720 \text{ jam/bulan}$

$$c. 1/\mu = \text{MTTR}/t \dots\dots(4.56)$$

$$1/\mu = 5,25 / 720$$

$$1/\mu = 0,007296$$

$$\mu = 137,172$$

4. Waktu rata-rata melakukan pemeriksaan ($1/i$)

a. Waktu untuk melakukan pemeriksaan (t_i) = 1 jam

b. $t = 720 \text{ jam/bulan}$

$$c. \frac{1}{i} = \frac{t_i}{t} \dots\dots(4.57)$$

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{720}$$

$$\frac{1}{i} = 0,001389$$

$$i = 720$$

5. Perhitungan frekuensi pemeriksaan

$$n = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}} \dots\dots(4.58)$$

$$n = \sqrt{\frac{0,125 \cdot 720}{137,172}}$$

$n = 0,81$ kali pemeriksaan per bulan

$$\begin{aligned}
 6. \quad \text{Interval Waktu Pemeriksaan} &= t/n \quad \dots\dots(4.59) \\
 &= 720 / 0,81 \\
 &= 888,54 \text{ jam} = 37 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

4.3.13 Perbandingan *Reliability* Sesudah dan Sebelum Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Peraawatan pencegahan dilakukan untuk meningkatkan reliabilitas atau keandalan dan juga untuk mengetahui umur yang optimal dari suatu komponen. Rumus yang digunakan untuk menghitung *reliability* berdasarkan distribusi sesuai dengan *failure time* yaitu distribusi *weibull*.

a. *Reliability* kondisi sebelum interval waktu penggantian

Reliability kondisi sekarang adalah kondisi awal dimana belum diterapkannya penggantian pencegahan . Adapun rumus yang digunakan adalah:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots\dots(4.60)$$

b. *Reliability* kondisi sesudah interval waktu penggantian

Kondisi usulan adalah kondisi dimana telah diterapkannya usulan penggantian pencegahan. Rumus yang digunakan adalah:

$$R(t-nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}}\right) \quad \dots\dots(4.61)$$

n = Jumlah perawatan pencegahan yang telah dilakukan sampai saat ini

T = Interval waktu perawatan pencegahan

$R(t-nT)$ = Probabilitas keandalan untuk waktu $t-nT$ dari perawatan *preventive* terakhir

Berikut ini adalah perhitungan *Reliability* sebelum dan sesudah dilakukan tindakan penggantian pencegahan dengan data-data yang diperlukan sebagai berikut:

$$t = \text{MTTF} = 464537,8052$$

$$t_{med} = 385067,7$$

$$s = 0,612575$$

$$T \text{ (age replacement)} = 318815 \text{ menit}$$

Tabel 4.20 Perbandingan *Reliability* Sesudah dan Sebelum Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

n	tp (hari)	R(tp)	R(t-nT)
0	1	1	1
0	1000	1	1
0	10000	0,999999999	0,999999999
0	100000	0,986130365	0,986130365
0	318810	0,621052445	0,621052445
0	318811	0,621050497	0,621050497
0	318812	0,621048549	0,621048549
0	318813	0,621046601	0,621046601
0	318814	0,621044653	0,621044653
1	318815	0,621042705	1
1	318816	0,621040757	1
1	318817	0,621038809	0,979588348
1	428818	0,430274978	0,95809877
1	468819	0,374005471	0,930872443
1	487630	0,349939359	0,927660394
1	507630	0,325957957	0,919733858
1	517630	0,314566379	0,908322752
1	518400	0,31370539	0,889644309
1	528401	1	0,876402815
1	538402	1	0,872862183

Contoh perhitungan :

t = 318817 menit, maka:

n = 1

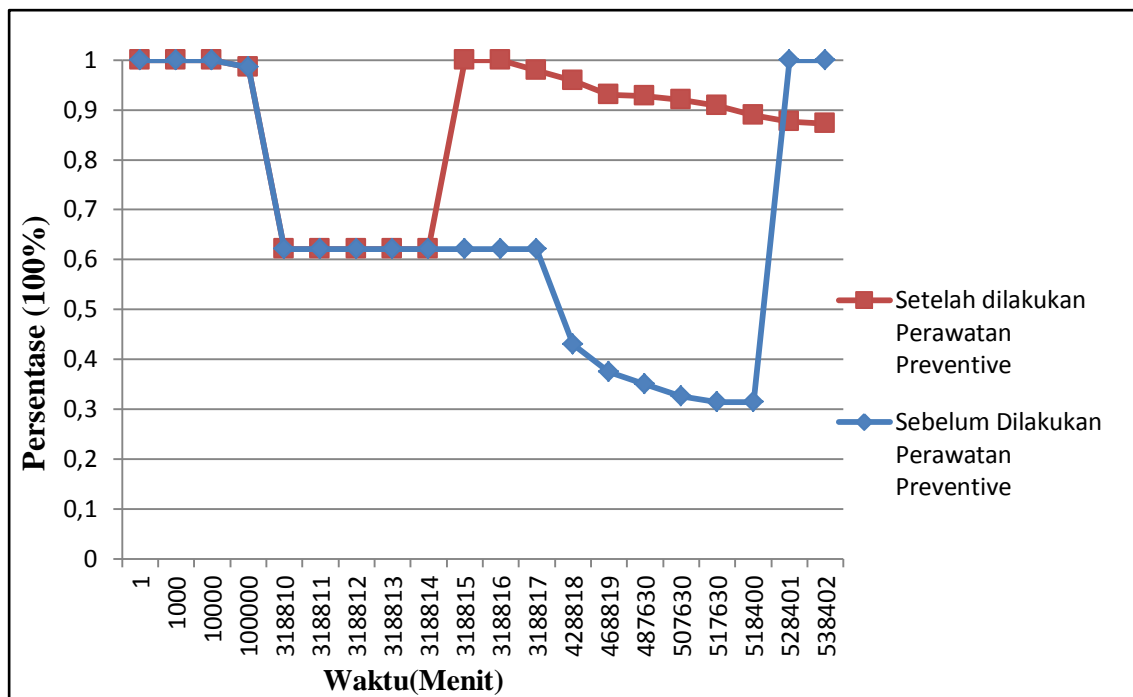
$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots\dots(4.62)$$

$$= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,612575} \ln \frac{318817}{385067,7}\right) = 0,6210388$$

$$R(t-nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}}\right) \dots\dots(4.63)$$

$$= 1 - \Phi\left(\frac{1}{0,612575} \ln \frac{318817 - (1 \cdot 318815)}{385067,7}\right) = 0,999999311$$

Dengan deminikian tingkat keandalan pada 318817 menit sebelum dilakukan penggantian pencegahan sebesar 0,6210388 dan setelah dilakukan penggantian pencegahan naik menjadi 0,999999311.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan *Reliability* Sesudah dan Sebelum Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan
 Sumber : Pengolahan Data

4.3.14 Perhitungan *Availability*

Perhitungan *availability* ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keandalan mesin setelah dilakukan perawatan yang bersifat *preventive*. Interval kegiatan penggantian pencegahan dan interval pemeriksaan tidak saling mempengaruhi terhadap tingkat ketersediaan suatu komponen. Kedua kejadian tersebut dapat dikatakan sebagai kejadian saling bebas, maka untuk dapat mengetahui peluang dua kejadian yang saling bebas adalah dengan mengalikan nilai *availability* dua kejadian tersebut.

Langkah-langkah dalam perhitungan *availability* sebagai berikut:

1. *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan:

$$D(n) = \frac{k}{\mu \cdot n} + \frac{1}{i} \quad \text{.....(4.64)}$$

$$= \frac{0,125}{66 \cdot 1} + \frac{1}{720}$$

$$= \frac{0,125}{66} + 0,001388889$$

$$= 0,001894 + 0,001388889$$

$$= 0,0032828$$

$$A(n) = 1 - D(n) \quad \text{.....(4.65)}$$

$$= 1 - 0,0032828$$

$$= 0,99672$$

2. *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan:

$$A(tp) = 1 - [\min D(tp)] \quad \text{.....(4.66)}$$

$$= 1 - 0,00098440679511702 = 0,9990156$$

3. *Availability Total*:

$$\textit{Availability} = A(n) * A(tp) \quad \text{.....(4.67)}$$

$$= 0,99672 * 0,9990156$$

$$= 0,9957356$$