

Kebijakan Perawatan Pompa Sentrifugal Di Instalasi Sumber Mata Air Kanoman I PDAM Kota Magelang

Eko Muh Widodo^{1*}, Affan Rifa'i¹, Dwi Prastiawan¹

¹ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang, Indonesia

*Corresponden author: emwidodo@ummgl.ac.id

<https://doi.org/10.31603/benr.7232>

Abstract

The Regional Public Drinking Water Company (PDAM) of Magelang City is one of the business units owned by the Regional Government of Magelang City which is engaged in distributing clean water services for the people of Magelang City. In its effort to meet its customers' clean water needs, PDAM uses 5 springs, one of which is the Kanoman spring in Sudimoro, Candimulyo, Magelang Regency. Geographically, the location of the springs is below the city of Magelang, so the distribution of clean water from Kanoman springs to customers uses a centrifugal pump system. To ensure the pump function operates optimally, it is necessary to have a maintenance policy so that the system function is available. Failure Mode Effect Analysis (FMEA), Logic Tree Analysis (LTA) and Maintenance Task methods are used to analyze components so that system functions can be guaranteed availability. This research uses a breakdown maintenance policy as a maintenance action.

Keywords: *Maintenance Policy; Centrifugal Pump; Breakdown Maintenance*

Abstrak

Perusahaan Umum Daerah Air Minum (PDAM) Kota Magelang merupakan salah satu unit usaha milik Pemerintah Daerah Kota Magelang yang bergerak dalam jasa mendistribusikan air bersih bagi masyarakat Kota Magelang. Dalam usahanya untuk memenuhi kebutuhan air bersih pelanggannya, PDAM menggunakan lima mata air yang salah satunya adalah mata air kanoman di Sudimoro, Candimulyo, Kabupaten Magelang. Secara geografis letak mata air tersebut ketinggiannya berada di bawah kota Magelang, maka pendistribusian air bersih dari mata air kanoman kepada pelanggan menggunakan sistem pompa sentrifugal. Untuk menjamin fungsi pompa beroperasi secara optimal maka perlu kebijakan perawatan agar fungsi sistem tersedia. Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA), *Logic Tree Analysis* (LTA) dan *Maintenance Task* digunakan untuk menganalisis komponen agar fungsi sistem dapat dijamin ketersediaannya. Penelitian ini menggunakan kebijakan *breakdown maintenance* sebagai tindakan perawatan.

Kata Kunci: Kebijakan Perawatan; Pompa Sentrifugal; *Breakdown Maintenance*.



1. Pendahuluan

Pompa *Finish Water Pump* (FWP) adalah suatu alat atau mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus. PDAM Kota Magelang menggunakan pompa FWP dengan jenis sentrifugal untuk mendistribusikan air bersih dari sumber mata air ke *resevoir*, yang selanjutnya distribusikan kepada masyarakat. Untuk menggerakkan pompa diperlukan tenaga yang digerakkan dengan motor listrik dengan pemindahan tenaga melalui kopling untuk memutar poros pompa. Dari tenaga yang didapat dari motor listrik ini, pompa dapat memindahkan banyak cairan.

Semakin sering mesin pompa tersebut digunakan, maka akan menurunkan kinerja pompa, sehingga membutuhkan kebijakan perawatan pompa baik *preventif*, *korektif* maupun *prediktif*. Dalam kurun waktu 2019 – 2021 gejala yang sering terjadi pada pompa adalah kerusakan *rubber coupling* sebanyak 41 kali, kerusakan pada *Bearing* sebanyak 45 kali sebagaimana ditunjukkan dalam [Tabel 1](#). Penurunan kondisi mesin inilah yang menjadi masalah yang dihadapi oleh PDAM.

Tabel 1. Data Kerusakan Komponen Pompa Periode 2019-2021

No.	Nama Komponen	Jumlah Kerusakan
1	<i>Gland Packing</i>	33
2	<i>Bearing</i>	45
3	<i>Rubber Coupling</i>	41
4	<i>Flexible Coolant</i>	8
5	<i>Casing Wear Ring</i>	17
6	<i>Shaft</i>	5
7	<i>Pump feet</i>	1
8	<i>Casing</i>	1
9	<i>Impeller</i>	1
10	<i>Gland Packing</i>	33
11	<i>Bearing</i>	45
JUMLAH		152

Mengingat pentingnya peran pompa ini, maka perawatan yang dilakukan juga harus diperhatikan dengan baik. Perawatan merupakan serangkaian kebijakan yang diperlukan untuk mempertahankan atau mengembalikan suatu mesin atau fasilitas produksi dalam keadaan operasional yang efektif ([Ramadhan, 2017](#)). Pengertian ini dapat disimpulkan bahwa perawatan pada mesin ialah suatu tindakan semua aktivitas yang dilakukan untuk menjaga kondisi performansi mesin sehingga komponen atau mesin dapat bekerja dengan optimal. Penyusunan strategi atau kebijakan perawatan yang tepat dapat melindungi pompa dari bahaya kerusakan serta mendapatkan keandalan kinerja pompa yang sesuai dengan yang diharapkan.

Menurut ([Martins et al., 2020](#)) ada dua pendekatan yang biasa digunakan untuk merencanakan kegiatan perawatan yaitu pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Total Productive Maintenance* (TPM). Pendekatan TPM lebih fokus kepada tindakan operator dan berorientasi pada kegiatan manajemen seperti pelumasan, kebersihan, pengencangan baut serta perawatan preventif lainnya. Sedangkan RCM berorientasi pada kegiatan teknis untuk

meningkatkan keandalan sistem. RCM dan TPM berkembang dari metode *preventive maintenance*, perbedaannya RCM memberikan pertimbangan berupa tindakan yang dapat dilakukan jika *preventive maintenance* tidak mungkin dilakukan. Berdasarkan hal tersebut di atas maka penelitian ini bertujuan untuk menentukan kebijakan perawatan pompa sentrifugal yang diinstal sumber mata air Kanoman I PDAM Kota Magelang dengan metode RCM.

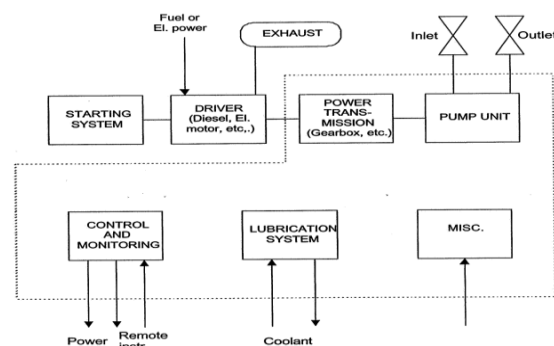
2. Metode

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah metode terstruktur untuk menentukan kebutuhan pemeliharaan dari mesin secara fisik dalam konteks operasinya (Eriksen, Utne and Lützen, 2021). Tujuan utama RCM adalah untuk meningkatkan umur operasi mesin, mengurangi dan menghindari kegagalan operasi mesin (Ebeling, 2019). Dalam (Duffuaa and Raouf, 2015) penerapan RCM membutuhkan pemahaman penuh tentang fungsi dari tiap komponen mesin dan kemungkinan kegagalan yang terkait dengan fungsi komponen tersebut. Metode ini menyatakan bahwa tidak semua kegagalan mesin dikarenakan hal yang sama, dan beberapa kegagalan tidak dapat dicegah dengan *overhaul* atau penggantian preventif. Dengan demikian, tindakan pemeliharaan yang tidak hemat biaya dalam menjaga fungsi sistem tidak akan dilakukan. Penerapan tahap-tahap metode RCM terdiri dari tujuh tahap yang sistematis yaitu (Emovon, Norman and Murphy, 2016) :

2.1. Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi

Tidak semua sistem perlu dilakukan proses analisis. Hal ini disebabkan karena jika proses analisis dilakukan secara bersamaan untuk lebih dari dua sistem, maka proses analisis akan menjadi sangat luas, oleh karena itu Instalasi Sumber Mata Air Kanoman I yang menggunakan sistem perpompaan dipilih sebagai lokasi penelitian.

Dalam (Afrizal and Yuniarto, 2015) yang termasuk dalam sistem pompa seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 1 adalah : *power transmission*, *pump unit*, *control and monitoring*, *lubrication*, *miscellaneous*.



Gambar 1. Definisi Batasan Sistem Pompa.

Sistem Pompa diinstalasi Sumber Mata Air Kanoman I yang dijadikan lokasi dalam penelitian ini dalam kurun waktu selama tahun 2019 - 2021 mengalami beberapa kerusakan dengan data seperti yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Kerusakan Pompa

No.	Pompa	Frekuensi Kerusakan	Waktu Perbaikan (JAM)	Waktu Oprasi (JAM)
1	K1	63	113,65	13.038,35
2	K2	40	84,5	13.067,50
3	K3	25	48,2	13.103,80
4	K4	24	50,98	13.101,02

2.2. Pendefinisian batas sistem

Menurut (Sintef, 2015) dalam sistem perpompan yang dibagi beberapa sub sistem, terdapat komponen-komponen didalamnya yang harus dilakukan perawatan. Komponen tersebut seperti yang terlihat pada Tabel 3.

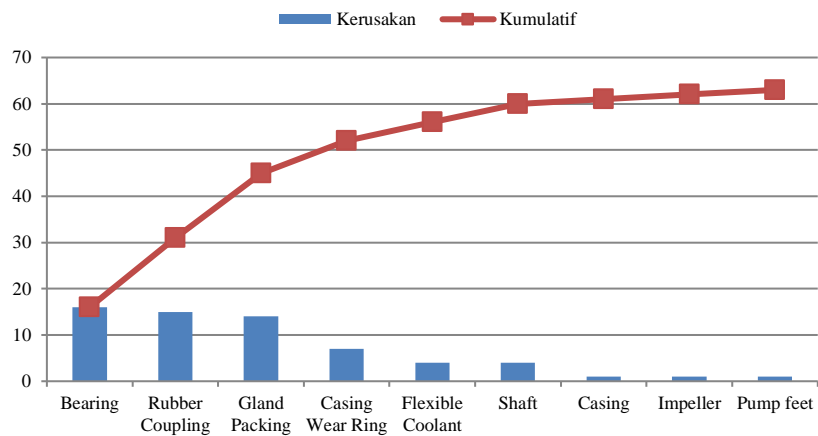
Tabel 3. Data Kerusakan Pompa

SISTEM PERPOMPAAN				
<i>Power Transmission</i>	<i>Pompa</i>	<i>Control and Monitoring</i>	<i>Lubrication</i>	<i>Lain-lain</i>
<i>Instruments</i>	<i>Bearing</i>	<i>Instruments</i>	<i>Filter</i>	<i>Purge Air</i>
<i>Seals</i>	<i>Bearing Housing</i>	<i>Cabling</i>	<i>Oil</i>	<i>Cooling System</i>
<i>Coupling to Driver</i>	<i>Rubber Coupling</i>	<i>Control Unit</i>	<i>Seal</i>	<i>Filter</i>
<i>Gearbox</i>	<i>Casing</i>	<i>Monitoring</i>	<i>Valves</i>	<i>Cyclone</i>
<i>Lubrication</i>	<i>Casing Wear Ring</i>	<i>Valves</i>	<i>Seals</i>	
	<i>Discharge nozzle</i>	<i>Power Supply</i>	<i>Instrumen</i>	
	<i>Flexible Coolant</i>	<i>Actuating Device</i>	<i>Piping</i>	
	<i>Gland Packing</i>	<i>Junction Box</i>		
	<i>Impeller</i>			
	<i>Mechanical Seal</i>			
	<i>Pump Feet</i>			
	<i>Shaft</i>			
	<i>Suction Nozzle</i>			

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hal tersebut di atas, setelah dilakukan pengumpulan data pada pompa di Instalasi Sumber Mata Air Kanoman I selama tahun 2019 – 2021 didapat hasil sebagai berikut : pompa k1 kerusakan tertinggi adalah *Bearing* sebanyak 16 kali, *rubber coupling* sebanyak 15 kali, *gland packing* sebanyak 14 kali serta *casing wearing ring* sebanyak 7 kali. pompa k2 adalah *Bearing* 12 kali, *rubber coupling* 11 kali, *gland packing* 10 kali serta *casing wearing* sebanyak 4 kali. sedangkan pada pompa k3 kerusakan tertinggi : *Bearing* 8 kali, *rubber coupling* 7 kali, *casing*

wearing 5 kali dan *gland packing* 4 kali. pompa k4 adalah : *Bearing* sebanyak 9 kali, *rubber coupling* 8 kali, serta *gland packing* 5 kali, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

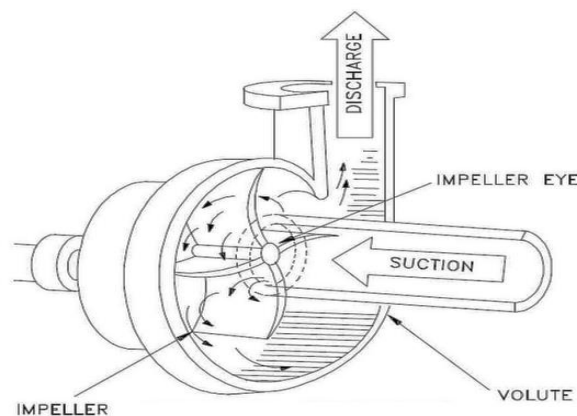


Gambar 2. Diagram Pareto Kerusakan Pompa K1.

3.1. Deskripsi Sistem dan Blok Diagram Fungsi

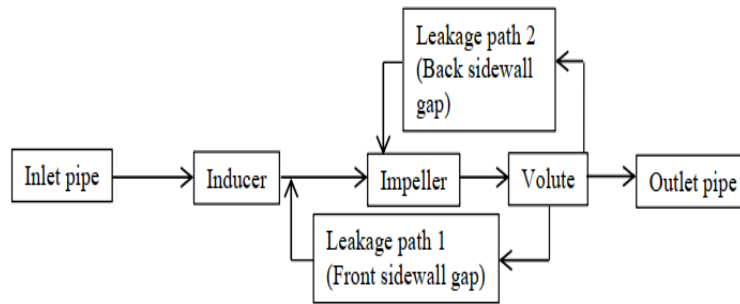
Pompa ebara ini digerakkan oleh motor, daya dari motor diberikan pada poros pompa untuk memutar *impeller* yang dipasangkan pada poros tersebut. Akibat dari putaran *impeller* yang menimbulkan gaya sentrifugal, maka zat cair akan mengalir dari tengah *impeller* keluar lewat saluran di antara sudu-sudu dan meninggalkan *impeller* dengan kecepatan yang tinggi (Cantona, Abadi and Syujak, 2019).

Zat cair yang keluar dari *impeller* dengan kecepatan tinggi kemudian melalui saluran yang penampangnya semakin membesar yang disebut *volute*, sehingga akan terjadi perubahan dari *head* kecepatan menjadi *head* tekanan. Jadi zat cair yang keluar dari *flens* keluar pompa *head* totalnya bertambah besar. Sedangkan proses pengisapan terjadi karena setelah zat cair dilemparkan oleh *impeller*, ruang diantara sudu-sudu menjadi vakum, sehingga zat cair akan terisap masuk.



Gambar 3. Pompa Sentrifugal.

Gambar 3 mengilustrasikan kinerja pompa sentrifugal, sedangkan garis besar diagram blok komponen pompa sentrifugal seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Pompa Sentrifugal.

3.2. Pendeskripsian Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsi

Pendeskripsian Fungsi sistem dan kegagalan fungsional dilakukan dengan mendata komponen dan kemungkinan kegagalan komponen tersebut (Ahmed, 2019), seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Fungsi dan Kegagalan Komponen.

NO	Komponen	Fungsi	Kegagalan Fungsi
1	<i>Bearing</i>	Menahan beban dari poros	Tidak dapat menahan poros
2	<i>Bearing Housing</i>	Tempat <i>bearing</i>	<i>Bearing</i> tidak dapat ditempatkan
3	<i>Bearing Support</i>	Menahan beban <i>bearing</i> Housing	<i>Bearing house</i> kurang kokoh
4	<i>Casing</i>	Pelindung Elemen didalamnya	Tidak dapat melindungi komponen didalamnya
5	<i>Casing Wear Ring</i>	Mencegah kebocoran	Kebocoran pada celah antara casing dan <i>impeller</i>
6	<i>Discharge Nozzle</i>	Tempat keluarnya fluida bertekanan dari pompa	Aliran air keluar dari pompa bocor
7	<i>Flexible Coolant</i>	Mendinginkan komponen	Komponen cepat panas
8	<i>Gland Packing</i>	Mengontrol kebocoran	Kebocoran fluida antara poros dan stator
9	<i>Impeller</i>	Menghisap cairan fluida	Daya hisap pompa berkurang
10	<i>Mechanical Seal</i>	Menahan <i>shaft</i>	Shaft menjadi kurang senter
11	<i>Pump Feet</i>	Menahan beban dari pompa	Mesin pompa bergetar
12	<i>Rubber Coupling</i>	Meneruskan momen putaran motor ke <i>shaft</i>	Momen putaran shaft jadi berkurang
13	Shaft	Meneruskan Momen Putaran	Putaran <i>Impeller</i> berkurang sehingga daya hisap berkurang
14	Suction Nozzle	Tempat aliran fluida masuk ke pompa	Daya hisap pompa berkurang

3.3. Penyusunan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Pada tahap ini adalah tahap analisa penyebab terjadinya kegagalan fungsi pada bagian mesin yang diteliti yang kemudian ditampilkan dalam bentuk matriks (Sodikin and Jati, 2022). Pembuatan matriks ini menggambarkan hubungan antara kegagalan fungsi (baris) dengan bagian-bagian mesin yang diteliti (kolom) yang menjadi dasar pembuatan tabel FMEA. Melalui pembuatan tabel dapat diketahui mode kerusakan dan penyebab kerusakan bagian – bagian mesin yang teliti (Afehy *et al.*, 2019).

Menurut Sharma and Srivastava, (2018) dalam FMEA, dapat dilakukan perhitungan Risk Priority Number (RPN) untuk menentukan tingkat kegagalan tertinggi, untuk mendapatkan nilai RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{RPN} = \text{Severity} \times \text{Occurance} \times \text{Detection} \dots\dots\dots (1)$$

Dari hasil rekapitulasi kuesioner penilaian FMEA dalam menentukan RPN komponen-komponen kritis mesin pompa sentrifugal Konaman I seperti terlihat pada Tabel 5, dapat disimpulkan :

1. Komponen pompa K1 yang memiliki RPN tinggi (≥ 200), yaitu : *bearing* 648, *rubber coupling* 576, *casing wearing ring* 512, *gland packing* 504, *shaft* dengan RPN 324 serta *flexible coolant* dengan RPN 256.
2. Komponen K2 yang memiliki RPN tinggi (≥ 200), yaitu : *bearing* 648, *rubber coupling* 512, *gland packing* 448, *casing wearing ring* dengan RPN 256.
3. Komponen pompa K3 yang memiliki RPN tinggi (≥ 200), yaitu : *bearing* 504, *rubber coupling* 384, *gland packing* 280, *casing wearing ring* dengan RPN 256.
4. Komponen pompa K4 yang memiliki RPN tinggi (≥ 200), yaitu : *Bearing* dengan RPN 504, *rubber coupling* dengan RPN 384, serta *gland packing* dengan RPN sebesar 280.

Selanjutnya dari *failure* mode tersebut akan dianalisis lebih lanjut dengan *Logic Tree Analysis* (LTA). Dasar yang digunakan dalam menentukan failure mode yang akan dimasukkan dalam LTA adalah efek yang ditimbulkan terhadap sistem.

Tabel 5. FMEA Mesin Pompa Kanoman I.

No.	Pompa	Komponen	Fungsi	Mode Kegagalan	Kegagalan Fungsi	S	O	D	RPN
1	K1	<i>Bearing</i>	Menahan beban dari poros	Aus	Tidak dapat menahan poros	9	9	8	648
2	K1	<i>Bearing Housing</i>	Tempat <i>Bearing</i>	Retak	<i>Bearing</i> tidak dapat ditempatkan	7	1	2	14
3	K1	<i>Bearing Support</i>	Menahan beban <i>Bearing</i> Housing	Retak	<i>Bearing</i> house kurang kokoh	4	1	3	12
4	K1	<i>Casing</i>	Pelindung elemen didalamnya	Retak	Tidak dapat melindungi komponen didalamnya	9	1	1	9
5	K1	<i>Casing Wear Ring</i>	Mencegah kebocoran	Retak	Kebocoran pada celah antara casing dan impeler	8	8	8	512

Lanjutan Tabel 5.

No.	Pompa	Komponen	Fungsi	Mode Kegagalan	Kegagalan Fungsi	S	O	D	RPN
-----	-------	----------	--------	----------------	------------------	---	---	---	-----

6	K1	<i>Discharge nozzle</i>	Tempat keluarnya fluida bertekanan dari pompa	Retak	Aliran air keluar dari pompa bocor	6	1	2	12
7	K1	<i>Flexible Coolant</i>	Mendinginkan komponen	Retak, Patah	Komponen cepat panas	8	4	8	256
8	K1	<i>Gland Packing</i>	Mengotrol kebocoran	Bocor	Kebocoran fluida antara poros dan stator	7	9	8	504
9	K1	<i>Impeller</i>	Menghisap cairan/fluida	Retak	Daya hisap pompa berkurang	8	1	3	24
10	K1	<i>Mechanical Seal</i>	Menahan Shaft	Pecah	Shaft menjadi kurang senter	7	2	8	112
11	K1	<i>Pump feet</i>	Menahan beban dari Pompa	Retak	Mesin pompa bergetar	8	1	1	8
12	K1	<i>Rubber Coupling</i>	Meneruskan momen putaran dari motor ke shaft	Aus, Oblak	Momen putaran shaft jadi berkurang	8	9	8	576
13	K1	<i>Shaft</i>	Meneruskan momen putaran	Bengkok	Putaran <i>Impeller</i> berkurang	9	4	9	324
14	K1	<i>Suction Nozzle</i>	Tempat aliran fluida masuk ke pompa	Retak	Daya hisap pompa berkurang	8	1	1	8
15	K2	<i>Bearing</i>	Menahan beban dari poros	Aus	Tidak dapat menahan poros	9	9	8	648
16	K2	<i>Bearing Housing</i>	Tempat <i>Bearing</i>	Retak	<i>Bearing</i> tidak dapat ditempatkan	7	1	2	14
17	K2	<i>Bearing Support</i>	Menahan beban <i>Bearing</i> Housing	Retak	<i>Bearing</i> house kurang kokoh	4	1	3	12
18	K2	<i>Casing</i>	Pelindung elemen didalamnya	Retak	Tidak dapat melindungi komponen didalamnya	9	1	1	9
19	K2	<i>Casing Wear Ring</i>	Mencegah kebocoran	Retak	Kebocoran pada celah antara casing dan impeler	8	4	8	256
20	K2	<i>Discharge nozzle</i>	Tempat keluarnya fluida bertekanan dari pompa	Retak	Aliran air keluar dari pompa bocor	6	1	2	12
21	K2	<i>Flexible Coolant</i>	Mendinginkan komponen	Retak, Patah	Komponen cepat panas	8	2	8	128
22	K2	<i>Gland Packing</i>	Mengotrol kebocoran	Bocor	Kebocoran fluida antara poros dan stator	7	8	8	448
23	K2	<i>Impeller</i>	Menghisap cairan/fluida	Retak	Daya hisap pompa berkurang	8	1	3	24
24	K2	<i>Mechanical Seal</i>	Menahan Shaft	Pecah	Shaft menjadi kurang senter	7	1	8	56
25	K2	<i>Pump feet</i>	Menahan beban dari Pompa	Retak	Mesin pompa bergetar	8	1	1	8

Lanjutan Tabel 5.

No.	Pompa	Komponen	Fungsi	Mode Kegagalan	Kegagalan Fungsi	S	O	D	RPN
-----	-------	----------	--------	----------------	------------------	---	---	---	-----

26	K2	<i>Rubber Coupling</i>	Meneruskan momen putaran dari motor ke shaft	Aus, Oblak	Momen putaran shaft jadi berkurang	8	8	8	512
27	K2	<i>Shaft</i>	Meneruskan momen putaran	Bengkok	Putaran <i>Impeller</i> berkurang	9	1	9	81
28	K2	<i>Suction Nozzle</i>	Tempat aliran fluida masuk ke pompa	Retak	Daya hisap pompa berkurang	8	1	1	8
29	K3	<i>Bearing</i>	Menahan beban dari poros	Aus	Tidak dapat menahan poros	9	7	8	504
30	K3	<i>Bearing Housing</i>	Tempat <i>Bearing</i>	Retak	<i>Bearing</i> tidak dapat ditempatkan	7	1	2	14
31	K3	<i>Bearing Support</i>	Menahan beban <i>Bearing</i> Housing	Retak	<i>Bearing</i> house kurang kokoh	4	1	3	12
32	K3	<i>Casing</i>	Pelindung elemen didalamnya	Retak	Tidak dapat melindungi komponen didalamnya	9	1	1	9
33	K3	<i>Casing Wear Ring</i>	Mencegah kebocoran	Retak	Kebocoran pada celah antara casing dan impeler	8	4	8	256
34	K3	<i>Discharge nozzle</i>	Tempat keluarnya fluida bertekanan dari pompa	Retak	Aliran air keluar dari pompa bocor	6	1	2	12
35	K3	<i>Flexible Coolant</i>	Mendinginkan komponen	Retak, Patah	Komponen cepat panas	8	1	8	64
36	K3	<i>Gland Packing</i>	Mengotrol kebocoran	Bocor	Kebocoran fluida antara poros dan stator	7	5	8	280
37	K3	<i>Impeller</i>	Menghisap cairan/fluida	Retak	Daya hisap pompa berkurang	8	1	3	24
38	K3	<i>Mechanical Seal</i>	Menahan Shaft	Pecah	Shaft menjadi kurang senter	7	1	8	56
39	K3	<i>Pump feet</i>	Menahan beban dari Pompa	Retak	Mesin pompa bergetar	8	1	1	8
40	K3	<i>Rubber Coupling</i>	Meneruskan momen putaran dari motor ke shaft	Aus, Oblak	Momen putaran shaft jadi berkurang	8	6	8	384
41	K3	<i>Shaft</i>	Meneruskan momen putaran	Bengkok	Putaran <i>Impeller</i> berkurang	9	1	9	81
42	K3	<i>Suction Nozzle</i>	Tempat aliran fluida masuk ke pompa	Retak	Daya hisap pompa berkurang	8	1	1	8
43	K4	<i>Bearing</i>	Menahan beban dari poros	Aus	Tidak dapat menahan poros	9	7	8	504
44	K4	<i>Bearing Housing</i>	Tempat <i>Bearing</i>	Retak	<i>Bearing</i> tidak dapat ditempatkan	7	1	2	14

Lanjutan Tabel 5.

N0.	Pompa	Komponen	Fungsi	Mode Kegagalan	Kegagalan Fungsi	S	O	D	RPN
45	K4	<i>Bearing Support</i>	Menahan beban <i>bearing</i> housing	Retak	<i>Bearing house</i> kurang kokoh	4	1	3	12

46	K4	<i>Casing</i>	Pelindung elemen didalamnya	Retak	Tidak dapat melindungi komponen di dalamnya	9	1	1	9
47	K4	<i>Casing Wear Ring</i>	Mencegah kebocoran	Retak	Kebocoran pada celah antara <i>casing</i> dan <i>impeller</i>	8	2	8	128
48	K4	<i>Discharge nozzle</i>	Tempat keluarnya fluida bertekanan dari pompa	Retak	Aliran air keluar dari pompa bocor	6	1	2	12
49	K4	<i>Flexible Coolant</i>	Mendinginkan komponen	Retak, Patah	Komponen cepat panas	8	1	8	64
50	K4	<i>Gland Packing</i>	Mengontrol kebocoran	Bocor	Kebocoran fluida antara poros dan stator	7	5	8	280
51	K4	<i>Impeller</i>	Menghisap cairan/fluida	Retak	Daya hisap pompa berkurang	8	1	3	24
52	K4	<i>Mechanical Seal</i>	Menahan <i>shaft</i>	Pecah	<i>Shaft</i> menjadi kurang senter	7	1	8	56
53	K4	<i>Pump feet</i>	Menahan beban dari Pompa	Retak	Mesin pompa bergetar	8	1	1	8
54	K4	<i>Rubber Coupling</i>	Meneruskan momen putaran dari motor ke <i>shaft</i>	Aus, Oblak	Momen putaran <i>shaft</i> jadi berkurang	8	6	8	384
55	K4	<i>Shaft</i>	Meneruskan momen putaran	Bengkok	Putaran <i>Impeller</i> berkurang	9	1	9	81
56	K4	<i>Suction Nozzle</i>	Tempat aliran fluida masuk ke pompa	Retak	Daya hisap pompa berkurang	8	1	1	8

3.4. Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA)

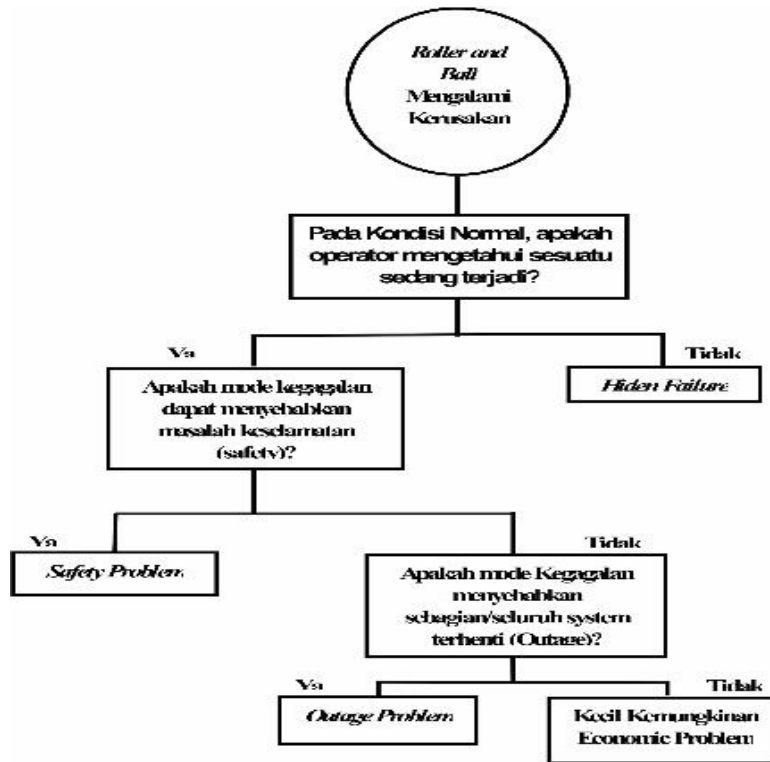
Logic Tree Analysis mengandung informasi nomor, nama kegagalan fungsi, komponen yang mengalami kegagalan, fungsi komponen dan mode kerusakan komponen dan analisis kekritisan (Abdullah, Maitimu and Tupan, 2016). Analisis kekritisan menempatkan setiap komponen menjadi 4 kategori yaitu:

- Kategori A (*Safety problem*).
- Kategori B (*Outage problem*).
- Kategori C (*Economic problem*).
- Kategori D (*Hidden failure*).

Dalam Eti, Ogaji and Probert (2007) proses RCM menggunakan pertanyaan logika yang sederhana atau struktur keputusan untuk mempermudah analisis secara akurat menempatkan setiap mode kerusakan kedalam satu dari empat kategori setiap pertanyaan akan dijawab "Ya" atau "Tidak", seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Pertanyaan tersebut adalah :

- Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?
- Safety*, yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
- Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti?

- d. *Category*, yaitu pengkategorian yang diperoleh setelah menjawab pertanyaan-pertanyaan yang diajukan.



Gambar 5. Struktur LTA.

Dalam Tabel 6 menampilkan kuesioner LTA yang ditentukan oleh Mekanik di Kanoman.

Tabel 6. Rekapitulasi Kuisisioner LTA.

No.	Komponen	Failure Mode	Evident	Safety	Outage	Category
1.	Bearing	Aus	T	T	Y	B/D
2.	Bearing Housing	Retak	T	T	Y	B/D
3.	Casing Wear Ring	Retak	T	T	Y	B/D
4.	Bearing Support	Retak	Y	T	T	C
5.	Discharge nozzle	Retak	Y	T	T	C
6.	Gland Packing	Bocor	T	T	Y	B/D
7.	Mechanical Seal	Pecah	T	T	Y	B/D
8.	Pump feet	RetakY	Y	T	T	C

Lanjutan Tabel 6.

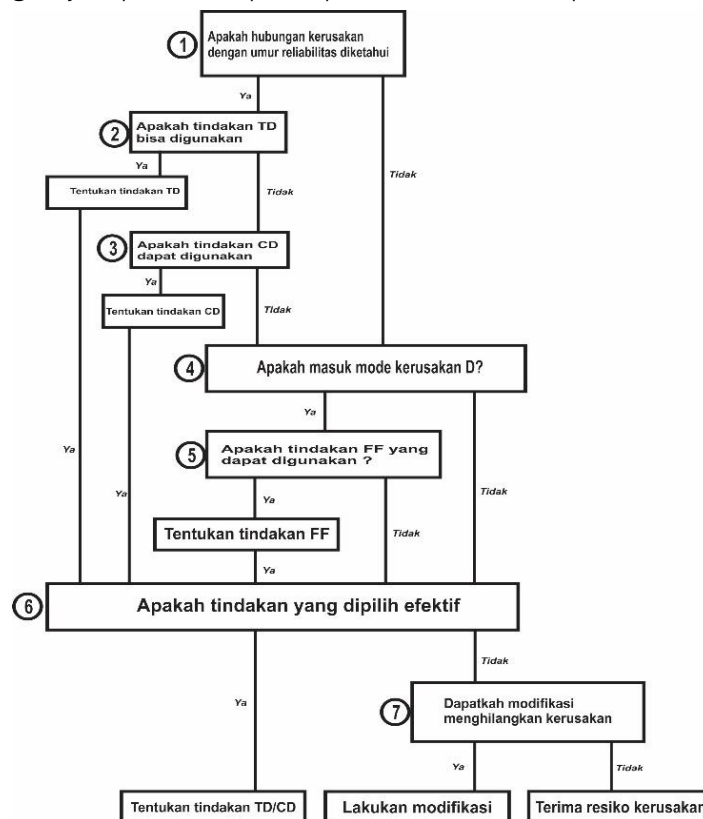
No.	Komponen	Failure Mode	Evident	Safety	Outage	Category
9.	Rubber Coupling	Aus, Oblak	T	T	Y	B/D
10.	Shaft	Bengkok	T	T	Y	B/D
11.	Suction Nozzle	Retak	Y	T	Y	C

12.	<i>Casing</i>	Retak	Y	T	T	C
13.	<i>Flexible Coolant</i>	Retak, Patah	Y	T	Y	B/D
14.	<i>Impeller</i>	Retak	Y	T	T	C

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa 8 buah komponen pada mesin pompa Kanoman I bersifat outage (Kategori D/B) yang dapat mengakibatkan kegagalan sistem dan merupakan kerusakan yang tersembunyi. 6 buah komponen bersifat outage (Kategori C) yang kemungkinan kecil dapat mengakibatkan kegagalan terhadap keseluruhan atau sebagian sistem.

3.5. Pemilihan Tindakan/*Maintenance Task*

Pemilihan tindakan didasari dengan mengelompokkan jenis kerusakan yang terjadi pada mesin pompa kedalam kategori tindakan pencegahan yang sesuai. Dalam [Riseno Rasindyo and Helianty \(2015\)](#) beberapa tindakan pencegahan tersebut antara lain: *Time Directed* (TD), *Condition Directed* (CD), *Finding Failure* (FF). Cara untuk mengetahui pemilihan tindakan yang tepat untuk mode kerusakan yang terjadi pada setiap komponen kritis terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Pemilihan Tindakan.

Berikut ini hasil pemilihan tindakan yang tepat untuk mode kerusakan yang terjadi pada komponen mesin pompa di Kanoman I berdasarkan kuesioner Road map pemilihan tindakan yang diisi oleh Asisten Manager Produksi dan Laboratorium, seperti yang terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Pemilihan Tindakan Perawatan Kanoman I.

NO	KOMPONEN	GEJALA KEGAGALAN	SELECTION GUIDE						SELECTION TASK
			1	2	3	4	5	6	
1	Bearing	Aus	Y	Y	T	T	Y	-	TD
2	Bearing Housing	Retak	Y	T	T	Y	Y	-	FF
3	Casing Wear Ring	Retak	Y	Y	T	T	Y	-	TD
4	Bearing Support	Retak	Y	T	T	Y	Y	-	FF
5	Discharge nozzle	Retak	Y	T	Y	T	Y	-	CD
6	Gland Packing	Bocor	Y	Y	T	T	Y	-	TD
7	Mechanical Seal	Pecah	Y	Y	T	T	Y	-	TD
8	Pump feet	Retak	Y	T	Y	T	Y	-	CD
9	Rubber Coupling	Aus, Oblak	Y	Y	T	T	Y	-	TD
10	Shaft	Bengkok	Y	Y	T	T	Y	-	TD
11	Suction Nozzle	Retak	Y	T	Y	T	Y	-	CD
12	Casing	Retak	Y	T	T	Y	Y	-	FF
13	Flexible Coolant	Retak, Patah	Y	Y	T	T	Y	-	TD
14	Impeller	Retak	Y	T	T	Y	Y	-	FF

Pemilihan tindakan pencegahan yang dipilih berdasarkan hasil analisis terhadap FMEA dan LTA adalah sebagai berikut :

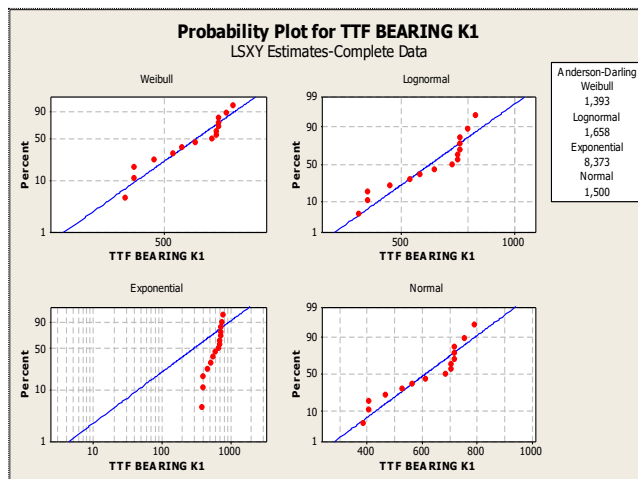
- Time Directed* (TD) adalah tindakan yang diambil yang lebih berfokus pada aktivitas pergantian yang dilakukan secara berkala. Komponen yang termasuk dalam pemilihan tindakan adalah: *bearing, casing ring, gland packing, mechanical seal, rubber coupling, flexible coolant, shaft*.
- Finding Failure* (FF) adalah tindakan yang diambil dengan tujuan untuk menentukan kerusakan peralatan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala. Komponen yang termasuk dalam pemilihan tindakan ini adalah : *Bearing housing, bearing support, casing, impeller*.
- Condition Directed* (CD) adalah tindakan yang diambil yang bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara *visual inspection*, memeriksa alat, serta memonitoring sejumlah data yang ada. Komponen yang termasuk dalam pemilihan tindakan ini adalah : *discharge nozzle, pump feet, suction nozzle*.

3.6. Pengujian Pola Distribusi

Keandalan (*reliability*) didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu sistem atau komponen untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan (Rosihan and Yuniarto, 2019). Keandalan biasa dinyatakan dalam konsep probabilitas menggunakan fungsi *reliability*. Konsep lain yang juga sering digunakan untuk menyatakan keandalan suatu komponen adalah laju kegagalan (*failure rate, λ*) dan mean time between failure (Riseno Rasindyo and Helianty, 2015).

Dalam menentukan reability suatu komponen faktor – faktor yang dapat saling berhubungan adalah faktor laju kerusakan dan waktu. Distribusi yang biasa digunakan untuk mengetahui pola data kerusakan adalah lognormal, normal, *weibull*, dan *exponential* (Abdurrahman, 2017).

Penentuan jenis distribusi data dalam penelitian ini menggunakan *software Minitab 16*, dalam Gambar 7 diperlihatkan hasil uji distribusi data dengan menggunakan *Minitab 16* (Pochampally and Gupta, 2016).



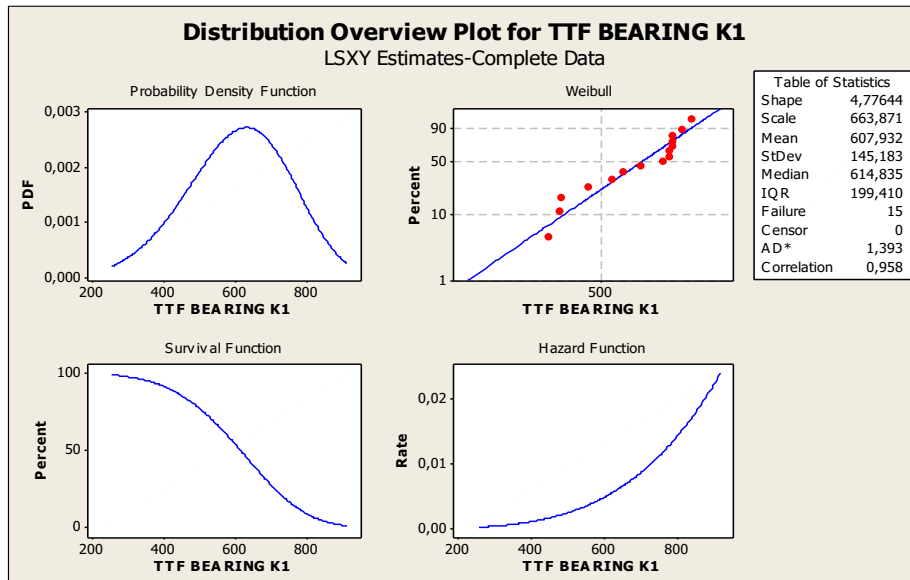
Gambar 7. Hasil uji distribusi data.

Hasil uji distribusi data pada kerusakan mesin pompa di kanoman I didapat hasil seperti yang terlihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekap hasil uji distribusi data.

No.	Pompa	Komponen	Jenis Distribusi	
			TTF	TTR
1	K1	Bearing	Weibull	Normal
2	K1	Rubber Coupling	Normal	Lognormal
3	K1	Gland Packing	Lognormal	Weibull
4	K1	Chasing Wearing Ring	Weibull	Lognormal
5	K1	Flexible Coolant	Weibull	Weibull
6	K1	Shaft	Weibull	Weibull
7	K2	Bearing	Normal	Lognormal
8	K2	Rubber Coupling	Normal	Lognormal
9	K2	Gland Packing	Weibull	Weibull
10	K2	Casing Wear Ring	Weibull	Weibull
11	K3	Bearing	Normal	weibull
12	K3	Rubber Coupling	Lognormal	Normal
13	K3	Casing Wear Ring	Lognormal	Normal
14	K3	Gland Packing	Lognormal	Weibull
15	K4	Bearing	Weibull	Weibull
16	K4	Rubber Coupling	Normal	Weibull
17	K4	Gland Packing	lognormal	Normal

Setelah dilakukan uji distribusi data kemudian menentukan parameter dari distribusi data tersebut. Dalam Gambar 8, menunjukan parameter dari komponen Bearing K1 dengan menggunakan software minitab.



Gambar 8. Nilai parameter data TTF komponen *Bearing*.

Setelah jenis distribusi dan parameter tiap-tiap kerusakan komponen diketahui, langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan MTTR, MTTF, fungsi kepadatan probabilitas (f), laju kerusakan (λ) serta nilai keandalan (R).

3.7. Pembahasan

Dari pengolahan data didapatkan bahwa komponen dengan laju kerusakan (λ) tertinggi sebesar 2,301895 adalah komponen *gland packing* pada mesin pompa K1, sedangkan yang terendah sebesar 0,000320 adalah komponen *chasing wearing ring* pada pompa K1.

Komponen dengan nilai keandalan (R) terendah adalah casing wearing ring dengan nilai sebesar 0,359770 dan komponen *bearing* pada mesin pompa K1 mempunyai nilai keandalan tertinggi sebesar 0,518500. [Tabel 9](#) menunjukkan hasil pengolahan data tersebut. Menurut [Sürücü and Maslakçi \(2020\)](#) juga [Šerbetar and Sedlar, \(2016\)](#) jika nilai reliabilitas $> 0,7$ artinya reliabilitas mencukupi, sementara jika reliabilitas $> 0,80$ ini mensugestikan seluruh item reliabel dan seluruh tes secara konsisten secara internal karena memiliki reliabilitas yang kuat. Sedangkan menurut [Schrepp, 2020](#) :

1. Jika reliabilitas $> 0,90$ maka reliabilitas sempurna
2. Jika reliabilitas antara $0,70 - 0,90$ maka reliabilitas tinggi
3. Jika reliabilitas antara $0,50 - 0,70$ maka reliabilitas moderat
4. Jika reliabilitas $< 0,50$ maka reliabilitas rendah

[Tabel 9](#). Rekapitulasi perhitungan komponen.

NO	POMPA	KOMPONEN	MTR	MTF	f(t)	R(t)	λ(τ)
1	K1	Bearing	1,89375	607,932	0,0026800	0,518500	0,0051600
2	K1	Rubber Coupling	0,82011	868,331	0,0096100	0,500000	0,0192200
3	K1	Gland Packing	2,41731	851,840	1,0862100	0,471860	2,3019850
4	K1	Chasing Wearing Ring	2,38276	3.038,310	0,0001100	0,359770	0,0003200
5	K1	Flexible Coolant	2,37426	2.629,820	0,0005439	0,511200	0,0010640
6	K1	Shaft	2,76328	2.629,480	0,0005435	0,511470	0,0010630
7	K2	Bearing	1,88330	973,412	0,8922160	0,460180	1,9388240
8	K2	Rubber Coupling	1,00606	784,314	0,6613410	0,427830	1,5458016
9	K2	Gland Packing	3,17760	1.051,679	0,0022460	0,471860	0,0042010
10	K2	Chasing Wearing Ring	3,13976	1.711,101	0,0006010	0,489190	0,0012291
11	K3	Bearing	1,73125	1.466,310	0,0004500	0,447040	0,0010070
12	K3	Rubber Coupling	1,01337	1.681,010	0,0004520	0,500000	0,0009040
13	K3	Chasing Wearing Ring	2,09138	2.640,960	0,0002740	0,499760	0,0005480
14	K3	Gland Packing	3,67633	3.376,330	0,0002600	0,475810	0,0005460
15	K4	Bearing	2,14981	1.047,760	0,0012416	0,505765	0,0245481
16	K4	Rubber Coupling	1,11875	1.662,530	0,0004136	0,451557	0,0009160
17	K4	Gland Packing	3,23028	2.693,560	0,0001988	0,500000	0,0003976

Berdasarkan pengolahan data diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa reliabilitas komponen mesin pompa pada Instansi Sumber Mata Air Kanoman I berada pada reabilitas rendah, hal ini dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi nilai reabilitas komponen.

No.	Pompa	Nilai Reabilitas		
		0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6
1	K1	1	2	3
2	K2	0	4	0
3	K3	0	4	0
4	K4	0	2	1
Jumlah		1	12	4

Merujuk hal tersebut pergantian komponen sebaiknya dilakukan pada saat nilai reabilitas 0,50–0,70. untuk interval waktu penggantian dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. interval waktu penggantian komponen.

No.	Pompa	Komponen	Waktu (jam)	
			t (1)	t (2)
1	K1	<i>Bearing</i>	534,99	614,84
2	K1	<i>Rubber Coupling</i>	846,56	868,33
3	K1	<i>Gland Packing</i>	786,14	843,77
4	K1	<i>Chasing Wearing Ring</i>	1.002,73	2.018,24
5	K1	<i>Flexible Coolant</i>	2.260,64	2.650,97
6	K1	<i>Shaft</i>	2.259,98	2.650,55
7	K2	<i>Bearing</i>	859,179	954,15

Lanjutan Tabel 11.

No.	Pompa	Komponen	Waktu (jam)	
			t (1)	t (2)
8	K2	<i>Rubber coupling</i>	606,544	784,31
9	K2	<i>Gland packing</i>	971,032	1.066,92
10	K2	<i>Chasing wearing ring</i>	1.350,80	1.693,13
11	K3	<i>Bearing</i>	940,72	1.351,38
12	K3	<i>Rubber coupling</i>	1.218,09	1.681,01
13	K3	<i>Chasing wearing ring</i>	1.877,07	2.640,96
14	K3	<i>Gland packing</i>	2.512,72	3.283,65
15	K4	<i>Bearing</i>	882,479	1.052,40
16	K4	<i>Rubber coupling</i>	1.094,03	1.547,66
17	K4	<i>Gland packing</i>	1.641,18	2.693,56

Pada Tabel 11 diperlihatkan waktu pergantian masing–masing komponen, agar reliabilitas komponen pada tingkat reliabilitas tinggi, maka pergantian dilakukan sebelum waktu t(1). apabila menginginkan tingkat reliabilitas yang moderat pergantian dilakukan pada waktu antara t(1) – t(2).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis data dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil dari penelitian didapat kesimpulan bahwa kebijakan perawatan yang selama ini dilakukan adalah *Breakdown Maintenance*.
2. Berdasarkan hasil pemilihan kebijakan perawatan yang ditentukan menggunakan *Reliability Centered Maintenance* yaitu :
 - a. 3 komponen yang direncanakan dengan tindakan perawatan condition directed: *Discharge Nozzle, Pump Feet, Suction Nozzle*.
 - b. 4 komponen yang direncanakan dengan tindakan perawatan Finding failure : *Bearing Housing, Bearing Support, Casing, Impeller*.
 - c. 6 komponen yang direncanakan dengan perawatan Time Directed: *Bearing, Casing Ring, Gland Packing, Mechanical Seal, Rubber Coupling, Flexible Coolant, Shaft*. Interval perawatan preventif komponen kritis pada mesin pompa di Instalasi Sumber Mata Air Kanoman I sebaiknya dilaksanakan sebelum nilai keandalan mencapai 0,7 jika menghendaki nilai keandalan yang tinggi. Apabila menghendaki nilai keandalan yang moderat maka pergantian dilakukan saat nilai keandalan pada nilai 0,5 – 0,7.

Referensi

- Abdullah, B., Maitimu, N.E. and Tupan, J.M. (2016) 'Usulan Perencanaan Perawatan Preventif Berbasis Keandalan Untuk Alat Automatic Tank Gauging (ATG)', Agustus, 10(2). <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/arika/article/view/434>.
- Abdurrahman, H. (2017) Perencanaan Jadwal Pemeliharaan Preventif Mesin Plate Heat Exchanger Di KUD DAU. Universitas Brawijaya. https://www.academia.edu/32392993/Perencanaan_Jadwal_Pemeliharaan_Preventif_Mesin_PHE_Di_KUD_DAU.
- Afey, I.H. *et al.* (2019) 'A New Framework of Reliability Centered Maintenance', *JJMIE*, 13(3). <http://jjmie.hu.edu.jo/vol-13-3/88-19-01>.
- Afrizal, F. and Yuniarto, M.N. (2015) 'Analisa Kerusakan Centrifugal Pump P951E di PT. Petrokimia Gresik'. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-29286-2108100150>.
- Ahmed, M.N. (2019), "The use of performance-based contracting in managing the outsourcing of a reliability-centered maintenance program: A case study", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 26 No. 4, pp. 526-554. <https://www.ingentaconnect.com/content/mcb/154/2019/00000026/00000004/art00002>
- Cantona, P., Abadi, C.S. and Syujak, M. (2019) 'Analisis head loss dan kavitasi dari rangkaian pompa sentrifugal ebara di PT. PBI', Seminar Nasional Teknik Mesin, pp. 87–93. <https://prosiding.pnj.ac.id/index.php/sntm/article/view/2003/1116>.
- Duffuaa, S.O. and Raouf, A. (2015) 'Reliability-centered maintenance', in *Planning and Control of Maintenance Systems*. Springer, pp. 245–260. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-19803-3>.
- Ebeling, C.E. (2019) *An introduction to reliability and maintainability engineering*. Waveland Press. <https://www.waveland.com/browse.php?t=392>.
- Emovon, I., Norman, R.A. and Murphy, A.J. (2016) 'Elements of maintenance system and tools for implementation within framework of Reliability Centred Maintenance-A review', *Journal of Mechanical Engineering and Technology (JMET)*, 8(2), pp. 1–34. <https://journal.utm.edu.my/index.php/jmet/article/view/640/978>.
- Eriksen, S., Utne, I.B. and Lützen, M. (2021) 'An RCM approach for assessing reliability challenges and maintenance needs of unmanned cargo ships', *Reliability Engineering & System Safety*, 210, p. 107550. <https://ideas.repec.org/a/eee/reensy/v210y2021ics0951832021001058.html>.
- Eti, M.C., Ogaji, S.O.T. and Probert, S.D. (2007) 'Integrating reliability, availability, maintainability and supportability with risk analysis for improved operation of the Afam thermal power-station', *Applied Energy*, 84(2), pp. 202–221. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261906000675>.
- Martins, L. *et al.* (2020) 'Improving preventive maintenance management in an energy solutions company', in *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., pp. 1551–1558. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.216>.
- Pochampally, K.K. and Gupta, S.M. (2016) *Reliability analysis with Minitab*. CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b19630/reliability-analysis-minitab-kishore-kumar-pochampally-surendra-gupta>.

- Ramadhan, R.H. (2017) 'Analisis Perencanaan Pemeliharaan Mesin Henke Dengan Metode RCM (Reliability Centered Maintenance) ', *PhD Thesis* [Preprint], (STIE Ekuitas). <http://repository.ekuitas.ac.id/handle/123456789/280?show=full>.
- Riseno Rasindy, M. and Helianty, Y. (2015) 'Analisis Kebijakan Perawatan Mesin Cincinnati Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Di PT. Dirgantara Indonesia *', *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Januari*, 03(1). <https://adoc.pub/analisis-kebijakan-perawatan-mesin-cincinnati-dengan-menggun.html>
- Rosihan, R.I. and Yuniarto, H.A. (2019) 'Analisis Sistem Reliability dengan Pendekatan Reliability Block Diagram', *Jurnal Teknosains*, 9(1), pp. 57–67. <https://jurnal.ugm.ac.id/teknosains/article/view/36758>.
- Schrepp, M. (2020) *On the Usage of Cronbach's Alpha to Measure Reliability of UX Scales*, *Journal of Usability Studies*. <https://uxpajournal.org/cronbachs-alpha-reliability-ux-scales/>
- Šerbetar, I. and Sedlar, I. (2016) 'Assessing reliability of a multi-dimensional scale by coefficient alpha', *Journal of Elementary Education*, 9(1/2), pp. 189–196. http://rei.pef.um.si/images/lzdaje_revije/2016/1-2/REI_9_1-2_cl_14.pdf.
- Sharma, K.D. and Srivastava, S. (2018) 'Failure mode and effect analysis (FMEA) implementation: a literature review', *J Adv Res Aeronaut Space Sci*, 5, pp. 1–17. <https://issuu.com/adrpublications/docs/924-2893-1-pb>.
- Sintef, N. (2015) 'Offshore and Onshore Reliability Data', *OREDA Handbook, 6th ed, DNV, Oslo*. <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/images/Technology/OandM/document/OREDA>.
- Sodikin, J. and Jati, U.S. (2022) 'Analisa Kerusakan Transmisi Otomatis dengan Metode Failures Mode and Effects Analysis (FMEA) dan Logic Tree Anaysis (LTA)', *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 03(01), pp. 13–21. Available at: <https://doi.org/10.35970/accurate.v3i1.1273>.
- Sürücü, L. and Maslakçı, A. (2020) 'Validity and reliability in quantitative research', *Business & Management Studies: An International Journal*, 8(3), pp. 2694–2726. https://www.researchgate.net/publication/344379869_Validity_and_Reliability_in_Quantitative_Research.