

ANALISIS KEHANDALAN PADA KOMPONEN KRITIS *HYDRAULIC AXIAL PUMP* KAPASITAS 2000 LPS MENGGUNAKAN METODE FISHBONE DIAGRAM DAN DISTRIBUSI KERUSAKAN

*Garry Rahadian Muslim¹, Gunawan Dwi Haryadi², Ismoyo Haryanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

E-mail: garryrahadianm@gmail.com

Abstrak

Bencana alam utama yang dihadapi Kota Semarang adalah banjir dengan genangan yang cukup lama. Salah satu upaya mencegah dan mengurangi dampak dari bencana banjir yaitu dengan menggunakan pompa di daerah titik – titik rawan banjir di Kota Semarang. Pompa mengubah energi mekanik dari suatu penggerak menjadi energi potensial berupa head, sehingga fluida cair tersebut berpindah dan memiliki tekanan sesuai dengan head yang dimilikinya. Pompa yang digunakan yaitu hydraulic axial pump. Hydraulic axial pump ini digerakkan secara mekanis oleh motor yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolis dengan cara menekan fluida hidrolik ke dalam sistem. Diperlukan juga maintenance yang tepat untuk memaksimalkan performa dari Hydraulic Axial Pump. Dengan tujuan memaksimalkan performa, diperlukan sistem perawatan yang tepat untuk meminimalisir downtime. Weibull adalah metode yang tepat untuk menentukan tingkat kegagalan atau kerusakan dari pola data yang terbentuk. Hasil yang diperoleh dari pengujian 1 pompa dengan menggunakan metode ini terdapat 3 komponen kritis yang sama pada tiap pompa dari Hydraulic Axial Pump yaitu pada mechanical seal, bearing, shaft. Nilai MTTF dari mechanical seal 1, bearing 1, shaft 1 adalah 182.914905 jam, 381.080594 jam, 755.678231 jam. Nilai keandalan mechanical seal 1, bearing 1, shaft 1 adalah 52%, 52%, dan 53%. Periodic Maintenance yang diperoleh berdasarkan hour meter (HM) dari tiap pompa.

Kata kunci: *hydraulic axial pump; komponen kritis; lifetime prediction; reliability; weibull*

Abstract

The main natural disaster faced by the city of Semarang is flooding with puddles which is quite long. One of the efforts to prevent and reduce the impact of flood disaster by using pumps in flood-prone areas in the city of Semarang. The pump converts the mechanical energy of an actuator into potential energy in the form of head, so that the liquid fluid moves and has pressure according to the head it has. The pump used is hydraulic axial pump. This hydraulic axial pump is driven mechanically by a motor that converts mechanical energy into hydraulic energy by pressing hydraulic fluid into the system. Maintenance is also required the right way to maximize the performance of the Hydraulic Axial Pump. With the aim of maximizing performance, an appropriate treatment system is needed to minimize downtime. Weibull is the correct method for determining which includes critical and non-critical parts and is often used in determine the level of failure or damage from the data pattern formed. The results obtained from testing 1 pump using this method there are 3 critical components that are the same in each pump of the Hydraulic Axial Pump namely the mechanical seal, bearing, shaft. MTTF value of mechanical seal 1, bearing 1, shaft 1 is 182.914905 hours, 381.080594 hours, 755.678231 hours. Mark the reliability of mechanical seal 1, bearing 1, shaft 1 is 52%, 52%, and 53%. Periodic Maintenance obtained based on the hour meter (HM) of each pump.

Keywords: *hydraulic axial pump; komponen kritis; lifetime prediction; reliability; weibull*

1. Pendahuluan

Bencana alam adalah salah satu fenomena yang dapat terjadi setiap saat dimanapun dan kapanpun. Bencana alam menimbulkan resiko atau bahaya terhadap kehidupan manusia baik kerugian harta benda maupun korban jiwa manusia. Salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia yaitu banjir. Bencana banjir merupakan salah satu bencana alam yang dapat menimbulkan korban jiwa dan kerugian material yang sangat besar, seperti terjadi pendangkalan, terganggunya jalur lalu lintas, rusaknya lahan pertanian, pemukiman, jembatan, saluran irigasi dan prasarana fisik lainnya. Banjir pada dasarnya merupakan limpasan air yang melebihi tinggi muka air normal, sehingga melimpas dari palung sungai menyebabkan adanya genangan pada lahan rendah di sisi sungai. Pada umumnya banjir disebabkan oleh curah hujan yang tinggi di atas normal sehingga sistem pengaliran air yang terdiri dari sungai dan anak sungai alamiah serta sistem drainasi dangkal penampung banjir yang ada tidak mampu menampung akumulasi air hujan

terserebut, sehingga meluap [1].

Bencana banjir sering terjadi di Kota Semarang. Karakteristik kota Semarang secara geografis terletak berbatasan dengan Laut Jawa di bagian utara. Kondisi topografis wilayahnya terdiri dari daerah perbukitan, dataran rendah dan daerah pantai serta menunjukkan adanya berbagai kemiringan dan tonjolan yang menyebabkan wilayah Kota Semarang mempunyai potensi rawan terhadap ancaman bencana alam. Data laporan bencana yang tercantum dalam situs resmi Badan Nasional Penanggulangan Bencana Republik Indonesia, menunjukkan bahwa terdapat 117 kejadian bencana yang terdiri dari bencana banjir, rob, tanah longsor, kekeringan, puting beliung, perubahan iklim dan gelombang pasang pada rentang taun 1990 – 2015. Bencana utama yang dihadapi Kota Semarang adalah banjir dengan genangan yang cukup lama [2]. Salah satu upaya untuk mencegah dan mengurangi dampak dari bencana banjir yaitu dengan menggunakan pompa di daerah titik – titik rawan banjir di Kota Semarang.

Pompa merupakan mesin yang mengubah energi mekanis menjadi tekanan pada fluida yang dialirkannya. Bila pompa-pompa di pasaran diperhatikan, ditemukan berbagai jenis pompa yang disediakan untuk bermacam-macam keperluan yang spesifik. Setiap desain selalu ada tujuan terapannya. Oleh karena itu, sangat penting untuk dapat memilih pompa sebelum pemasangan dalam instalasi. Pompa yang telah beroperasi dengan waktu yang cukup lama perlu dilakukan evaluasi keandalan untuk mengetahui keandalan sistem dan penyebab kegagalan/kerusakan masing-masing komponen. Keamanan dan keselamatan pengoperasian suatu mesin akan dapat terpenuhi jika sistem yang ada berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Pompa mengubah energi mekanik dari suatu penggerak menjadi energi potensial berupa head, sehingga fluida cair tersebut berpindah dan memiliki tekanan sesuai dengan head yang dimilikinya. Salah satu jenis pompa yang banyak digunakan pada saluran irigasi dan system drainase yaitu pompa axial. Pompa axial bisa juga disebut dengan pompa propeler. Pompa ini menghasilkan sebagian besar tekanan dari propeller dan gaya lifting dari sudu terhadap fluid. Sejak tahun 2018 pemerintah Kota Semarang telah menggunakan pompa dengan jenis hydraulic axial pump yang diproduksi oleh anak bangsa. Hydraulic Axial Pump adalah pompa yang bekerja dengan cara menghisap oli dari tangka hidrolik dan mendorongnya kedalam sistem hidrolik dalam bentuk aliran. Aliran ini yang dimanfaatkan dengan 3 cara merubahnya menjadi tekanan. Tekanan yang dihasilkan dengan cara menghambat aliran oli dalam sistem hidrolik [3].

Dalam menjamin performa suatu pompa bisa beroperasi dengan baik dan optimal diperlukan adanya suatu sistem perawatan yang baik karena kelancaran proses produksi dipengaruhi oleh perawatan yang diterapkan. Perawatan atau yang biasa disebut sebagai *maintenance* merupakan sebuah aktivitas yang dilakukan untuk menjaga agar kondisi suatu fasilitas (mesin, peralatan, serta sebuah sistem) tetap berada pada kondisi dimana sistem tersebut dapat beroperasi/berfungsi dengan baik yang dilakukan dengan cara membatasi dan menghilangkan kerusakan pada sistem tersebut [4]. Selain itu, perawatan juga dibutuhkan untuk meningkatkan keandalan dari sebuah sistem.

Dengan tujuan memaksimalkan peforma, diperlukan sistem perawatan yang tepat untuk meminimalisirkan downtime. Penggunaan analisis Weibull adalah metode yang tepat untuk menentukan yang termasuk bagian kritis dan bagian tidak kritis. Selama ini perusahaan belum memiliki peranan sistem perawatan yang baik, sehingga Hydraulic Axial Pump mendapatkan penanganan setelah mengalami kerusakan (*corrective maintenance*) tanpa memperhatikan faktor keandalan dari komponen pompa tersebut. Selama ini penentuan jumlah spare part hanya dengan menggunakan perkiraan berdasarkan permintaan masa lalu. Perlu dilakukan persiapan untuk memonitoring komponen –komponen krtis agar segera dilakukan *preventive maintenance* dan untuk mempersiapkan spare part komponen sebelum komponen itu rusak untuk mengurangi downtime unit

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Objek penelitian kali ini adalah dua unit *Hydraulic Driven Axial Pump* berkapasitas 2000 liter per detik yang terpasang di Rumah Pompa Pasar Waru, Kota Semarang, Jawa Tengah. *Hydraulic Driven Axial Pump* ini termasuk kedalam kategori pompa *axial* dimana pompa *axial* adalah pompa yang memindahkan zat cair secara *axial*. Pompa jenis ini berfungsi untuk memindahkan fluida kerja dengan arah yang sejajar terhadap sumbu atau poros impellernya. Pompa *axial* ini telah banyak digunakan dalam pengendalian banjir dan drainase [5]. Gambar dua unit *Hydraulic Driven Axial Pump* berkapasitas 2000 liter per detik dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Unit *Hydraulic Axial Pump* Berkapasitas 2000 Liter per Detik

Pengumpulan data dua *Hydraulic Driven Axial Pump* berkapasitas 2000 liter per detik yang dibutuhkan pada penelitian kali ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh dengan cara melakukan observasi dan pengujian langsung. Sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh dari karyawan logistik dan operator objek penelitian, seperti gambar teknik, data spesifik, dan daftar kerusakan komponen mesin pada pompa.

2.2 Pembuatan Diagram *Fishbone*

Diagram *fishbone* yang terlihat seperti tulang ikan adalah salah satu *Root Cause Analysis* yang di dalamnya terdapat pemodelan untuk korelasi antara suatu peristiwa (efek) dan berbagai penyebab yang terjadi [6]. Setiap penyebab akan diselidiki agar diketahui penyebab dari kerusakannya berdasarkan empat faktor, yaitu *machine* (mesin), *man power* (manusia), *method* (metode), dan material. Diagram *fishbone* ini dapat digunakan untuk mengetahui penyebab *flow rate* tidak memenuhi spesifikasi dan mengetahui penyebab kerusakan komponen kritis.

2.3 Pemilihan Komponen Kritis dengan Metode *Critical Analysis*

Penentuan komponen kritis dilakukan pendekatan *critical analysis*. *Critical analysis* ini merupakan salah satu metode untuk mengidentifikasi komponen apa yang dianggap sebagai komponen kritis. Tahap pertama penentuan komponen kritis diawali dengan menentukan terlebih dahulu kriteria-kriteria dalam standar penilaian komponen kritis. Terdapat empat kriteria dalam metode *critical analysis* dan setiap kriteria tersebut kemudian diberikan *weighting factor* (faktor bobot) dengan nilai yang berbeda sesuai dengan prioritas dari setiap kriteria terhadap kekritisannya komponen sebagai berikut [10]:

1. Frekuensi Kerusakan (Bobot 4).
2. Dampak Kerusakan dan Komponen (Bobot 3).
3. Tingkat Kesulitan Proses Pembongkaran dan Pemasangan Komponen (Bobot 2).
4. Harga dan Komponen (Bobot 1).

Setelah menentukan setiap kriteria terhadap kekritisannya komponen maka langkah selanjutnya membuat *grade* komponen dengan pembobotan pada masing-masing kriteria sebuah komponen. Pada Tabel 1 terlihat standar penilaian komponen kritis sebagai berikut.

Tabel 1. Standar Penilaian Komponen Kritis

No	Kriteria Penilaian	Rating Scale				
		1	2	3	4	5
1	Frekuensi Kerusakan (Bobot 4)	Frekuensi kerusakan 1 kali	Frekuensi kerusakan 2 kali	Frekuensi kerusakan 3 kali	Frekuensi kerusakan 4 kali	Frekuensi kerusakan ≥ 5 kali

2	Dampak (Bobot 3)	Pompa masih bisa beroperasi tidak ada perambatan kerusakan	-	Pompa masih bisa beroperasi ada perambatan kerusakan	-	Pompa tidak bisa beroperasi
3	Proses Repair (Bobot 2)	Proses <i>repair</i> <24 jam	Proses <i>repair</i> 1 hari	Proses <i>repair</i> 2 hari	Proses <i>repair</i> 3 hari	Proses <i>repair</i> 4 hari
4	Harga (Bobot 1)	<250 USD	250-499USD	500-749 USD	750-999 USD	≥1000 USD

2.4. Penentuan Distribusi Kerusakan yang Digunakan

Distribusi kerusakan atau *probability plot* merupakan metode yang sangat umum untuk digunakan sebagai mode distribusi keandalan. Distribusi kerusakan berisikan informasi mengenai masa atau umur pakai dari sebuah sistem atau komponen peralatan. Berikut ini adalah beberapa distribusi yang termasuk dalam distribusi kerusakan yaitu Distribusi *Weibull*, Distribusi Normal, Distribusi Lognormal, dan Distribusi *Exponential* [7].

2.5. Pengujian Distribusi Menggunakan *Goodness of Fit Test*

Probability plot atau distribusi kerusakan yang dipilih kemudian diuji dengan menggunakan *goodness of fit test* pada *software* Minitab 19. Hasil dari *goodness of fit test* ini berupa rekomendasi distribusi yang paling sesuai dengan datayang ada. Pengujian ini akan menghasilkan tiga nilai, yaitu nilai *Anderson-Darling*, nilai *correlation coefficient*, dan nilai *P-value*. Adapun syarat dalam menentukan distribusi yang paling cocok berdasarkan ketiga nilai yang ada sebagai berikut:

1. Menghasilkan nilai *Anderson-Darling* terkecil.
2. Menghasilkan nilai *correlation coefficient* terbesar.
3. Menghasilkan nilai *P-value* ≥ 0,05 (5%).

2.6. Menentukan MTTF (*Mean Time to Failure*) Komponen Kritis

Mean time to failure merupakan nilai rata-rata kerusakan atau nilai yang diekspetasi dari suatu distribusi kerusakan pada suatu komponen atau sistem [8]. Secara umum, persamaan MTTF didefinisikan sebagai berikut:

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (2.25)$$

Kemudian untuk masing-masing distribusi kerusakan, menurut Astuti (2016), MTTF didefinisikan dengan persamaan berikut:

1. Distribusi *Weibull*

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.26)$$

Keterangan:

θ = *scale parameter* (parameter skala) yang mempengaruhi nilai tengah dari pola data.

β = *shape parameter* (parameter bentuk) yang mempengaruhi laju kerusakan.

Nilai $\Gamma(1+1/\beta)$ didapatkan dari tabel fungsi gamma.

2. Distribusi *Exponential*

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.27)$$

Keterangan:

λ = rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

3. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad (2.28)$$

Keterangan:

μ = nilai tengah.

4. Distribusi Lognormal

$$MTTF = e^{\mu + \frac{1}{2}(\sigma)^2} \quad (2.29)$$

Keterangan:

μ = parameter lokasi (*location parameter*).

σ = parameter skala (*scale parameter*).

2.7. Menentukan *Reliability* Komponen Kritis

Reliability atau yang dikenal sebagai keandalan dapat dijelaskan sebagai peluang dari sebuah komponen atau sistem untuk dapat melaksanakan fungsi operasional sesuai dengan standar atau syarat yang berlaku dalam periode waktutertentu di bawah kondisi operasi tertentu terhadap komponen atau sistem tersebut [9]. Dari definisi spesifik tersebut makadapat disimpulkan bahwa keandalan (*reliability*) sangat berhubungan erat dengan empat parameter, yaitu peluang (*probability*), waktu, kinerja (*performance*), dan kondisi lingkungan operasionalnya [10].

2.8. Penyusunan *Periodic Maintenance*

Setelah nilai *lifetime prediction* dianalisa maka dapat disusun tabel *periodic maintenance* komponen kritis agar mengurangi *downtime* unit. Tabel *periodic maintenance* disesuaikan dengan jadwal *scheduled maintenance*, yaitu PS (*Periodical Service*) setiap HM (*Hour Meter*). Dengan menyusun tabel *periodic maintenance* tersebut diharapkan mampumeningkatkan hasil produksi karena unit *Hydraulic Driven Axial Pump* berkapasitas 2000 liter per detik dapat dikurangiwaktu *downtime*-nya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penentuan Komponen Kritis Menggunakan *Critical Analysis*

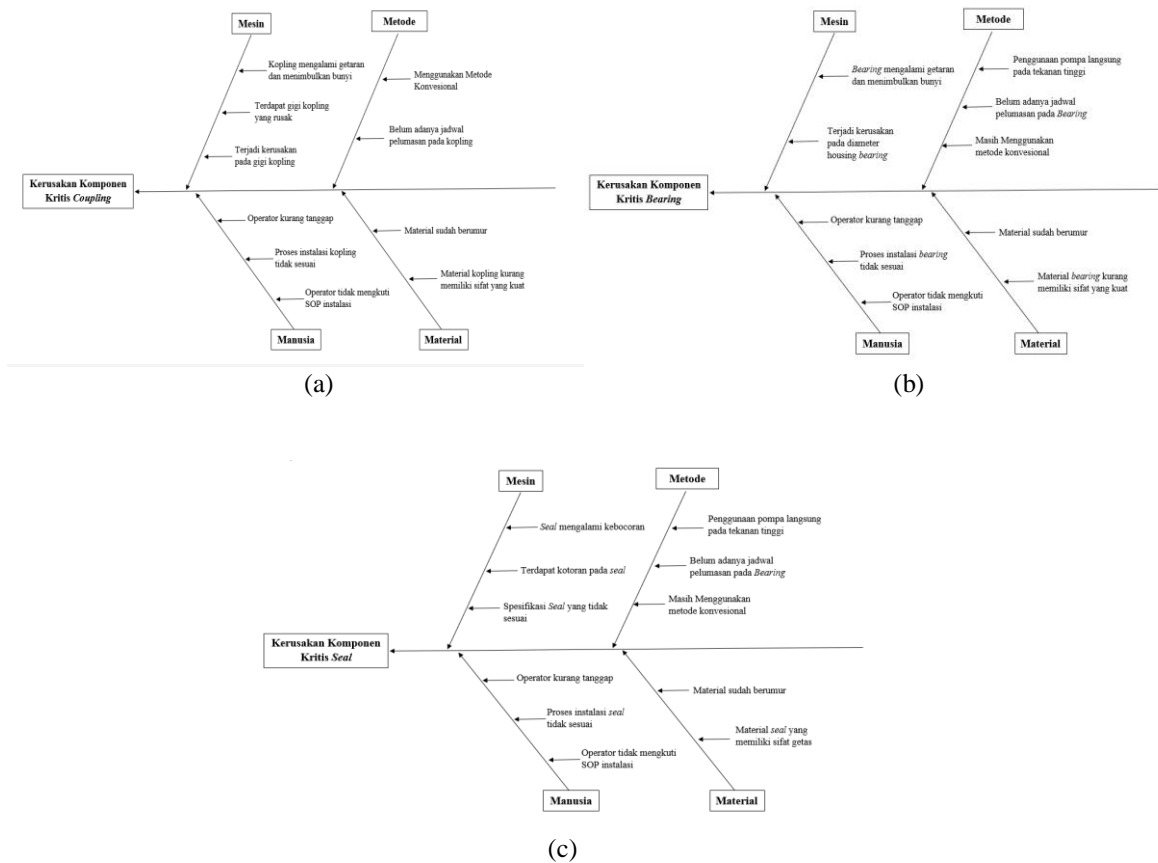
Komponen *Hydraulic Driven Axial Pump* berkapasitas 2000 liter per detik ini tidak semua mengalami kerusakan sampai mencapai HM (*Hour Meter*) selama 4 tahun dari bulan Januari 2018 hingga Januari 2022. Penentuan komponen kritis yang terdapat pada *Hydraulic Driven Axial Pump* dengan kapasitas 2000 liter per detik dilakukan pendekatan *critical analysis*. Pendekatan ini ditujukan untuk menganalisis komponen yang dianggap kritis dari beberapa komponen yang mengalami kerusakan sesuai dengan standar penilaian komponen kritis yang terdapat pada Tabel 1. Pada Tabel 2 terlihat nilai kekritisan komponen *Hydraulic Driven Axial Pump* dengan kapasitas 2000 liter per detik sebagai berikut

Tabel 2. Matriks Pembobotan Komponen Kritis

No	Part	Kriteria 1 (Bobot 4)		Kriteria 2 (Bobot 3)		Kriteria 3 (Bobot 2)		Kriteria 4 (Bobot 1)		Nilai Total (Grade x Bobot)
		Grade	Grade x Bobot	Grade	Grade x Bobot	Grade	Grade x Bobot	Grade	Grade x Bobot	
1	Bearing	5	20	5	15	5	10	2	2	47
2	Shaft	5	20	3	9	2	4	1	1	31
3	Impeller	1	4	3	9	4	8	2	2	23
4	Housing	3	12	3	9	5	10	2	2	33
5	Coupling	5	20	5	15	5	10	2	2	47
6	Seal	5	20	5	15	5	10	2	2	47

3.2. Diagram *Fishbone* Penyebab Kerusakan Komponen Kritis

Setelah mengetahui dan menganalisa kerusakan-kerusakan apa saja yang ada pada *hydraulic driven axial pump* dengan kapasitas 2000 liter per detik maka didapatkan tiga komponen kritis, yaitu *Coupling*, *Seal*, *Bearing*. Setelah mendapatkan tiga komponen kritis, digunakanlah diagram *fishbone fishbone* yang ditinjau dari berbagai aspek. Pada Gambar 2 terlihat diagram *fishbone* penyebab kerusakan komponen kritis sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram *Fishbone* Penyebab Kerusakan Komponen Kritis

3.3. Hasil Pengujian TTF Menggunakan *Goodness of Fit Test*

Setelah mengetahui apa saja komponen kritis pada *Hydraulic Driven Axial Pump* kapasitas 2000 liter per detik maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian menggunakan *goodness of fit test* untuk mengetahui distribusi apa yang paling cocok berdasarkan data kerusakan yang dimiliki. Dalam menentukan distribusi yang paling cocok diperlukan tiga nilai, yaitu *correlation coefficient*, *Anderson-Darling*, dan *P-value* yang diperoleh menggunakan *software* Minitab 19. Pada Tabel 3 terlihat hasil pengujian *goodness of fit test* sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Goodness of Fit Test*

No	Part	AD	CC	P-Value	Distribusi Terpilih
1	Seal	1,367	0,979	>0,250	Weibull
2	Bearing	2,340	0,991	>0,250	Weibull
3	Coupling	2,844	0,943	>0,250	Weibull
4	Shaft	1,457	0,986	>0,250	Weibull
5	Impeller	1,923	0,961	0,193	Weibull
6	Housing	2,369	0,964	>0,250	Weibull

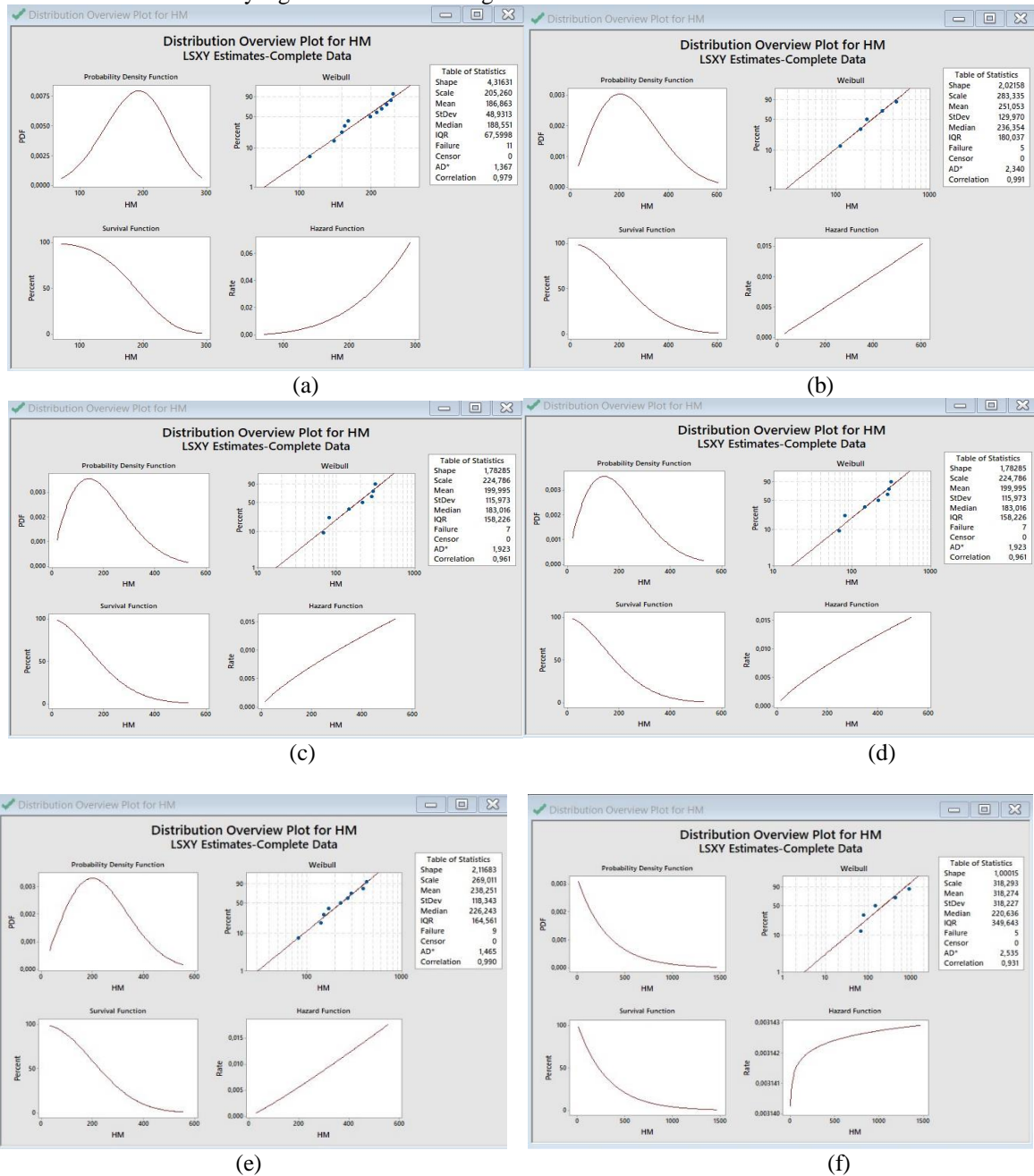
3.4. Analisa MTF (*Mean Time to Failure*) Komponen Kritis

Setelah *probability plot* atau distribusi kerusakan untuk masing-masing komponen telah ditetapkan, kemudian langkah selanjutnya menghitung nilai MTTF. Pada Tabel 4 terlihat hasil perhitungan nilai MTTF pada setiap komponen-kritis pada *Hydraulic Driven Axial Pump* berkapasitas 2000 liter per detik sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Perhitungan MTTF Tiap Komponen

No	Part	β	θ	$\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$	MTTF
1	Seal	4,31631	205,260	1,23	1,1218	186,863
2	Bearing	2,02158	283,335	1,49	1,3242	251,053
3	Impeller	1,78285	224,786	1,56	1,3886	199,995
4	Coupling	2,11683	269,011	1,47	1,304	471,043
5	Shaft	3,07958	526,875	1,32	1,1851	238,251
6	Housing	1,00015	318,293	1,99	1,9915	318,274

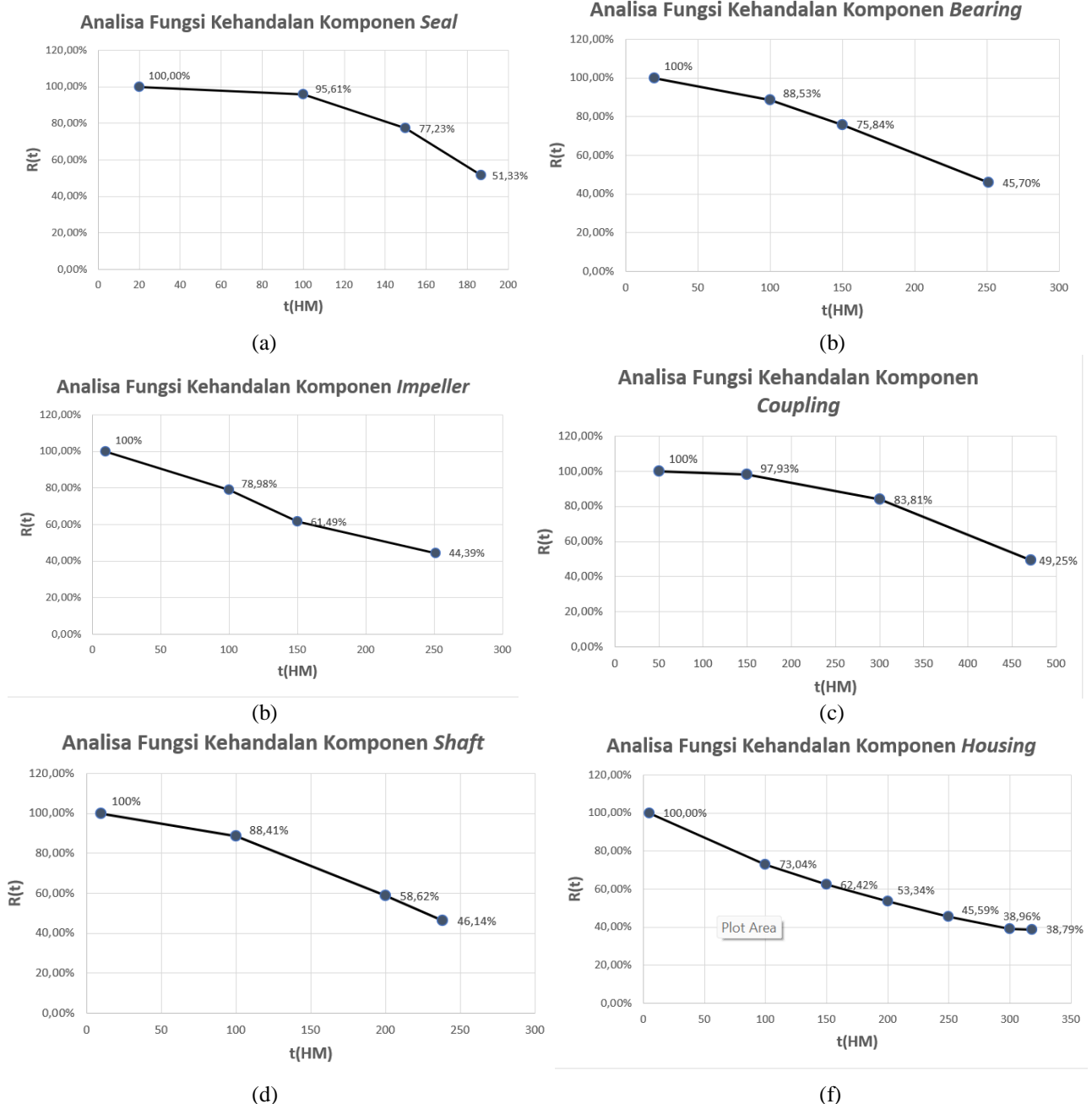
Pada Gambar 3 terlihat hasil keluaran dari *software* Minitab 19 yang memberikan simulasi grafik “*Distribution Overview Plot*” yang memuat kurva sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik Komponen Kritis

3.5. Analisa Fungsi Keandalan/ Reliability Komponen Kritis

Setelah melakukan perhitungan MTTF pada setiap komponen yang mengalami kerusakan. Langkah selanjutnya melakukan analisis fungsi keandalan untuk mengetahui nilai keandalan dari masing-masing komponen yang ada. Pada Gambar 4 dapat dilihat grafik fungsi keandalan pada komponen kritis sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Fungsi Keandalan/Reliability Komponen Kritis

3.6. Penyusunan Periodic Maintenance Komponen Kritis

Salah satu tujuan utama dari kegiatan *maintenance* adalah menjaga kesiapan (*readiness*) suatu alat agar dapat tetap menjalankan fungsinya secara optimal agar terhindar dari kerusakan secara tiba-tiba. Jadwal *periodic maintenance* dibuat untuk menentukan kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala dalam suatu jangka waktu tertentu pada seluruh komponen yang mengalami kerusakan berdasarkan nilai MTTF masing-masing komponen.

Dalam menentukan rentang waktu *periodic maintenance* diperlukan interval waktu dan lamanya jam kerja mesin pompa tersebut. Pada Tabel 5 terlihat jadwal *periodic maintenance* untuk masing-masing komponen pada *Hydraulic Driven Axial Pump* dengan kapasitas 2000 liter per detik sebagai berikut.

Tabel 5. Jadwal *Periodic Maintenance* Komponen Berdasarkan MTTF

No	Part	MTTF	Interval Pergantian
1	Seal	186,863	150
2	Bearing	251,053	150
3	Impeller	199,995	150
4	Coupling	471,043	400
5	Shaft	238,251	200
6	Housing	318,274	300

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian Analisis *Reliability* Komponen Kritis *Hydraulic Axial Pump* 2000 LPS Menggunakan *Probability Plot* dan *Fishbone Root Cause Analysis* yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- Pemilihan komponen kritis dengan menggunakan metode *critical analysis* melalui pembobotan (*weighting factor*) menghasilkan 3 komponen kritis dari total 6 komponen yang mengalami kerusakan. Adapun 3 komponen kritis yang terpilih dengan menggunakan metode tersebut, yaitu *Coupling* dengan nilai total 47, *Seal* dengan nilai total 47, *Bearing* dengan nilai total 47.
- Berdasarkan metode *fishbone root cause analysis* maka kerusakan pada komponen kritis dapat disebabkan oleh empat faktor, yaitu mesin, manusia, metode, dan material. Pada faktor mesin, *coupling* mengalami getaran dan menimbulkan bunyi. Selain itu untuk faktor manusia berfokus pada operator yang tidak mengikuti SOP, operator kurang tanggap terhadap kerusakan, operator kurang disiplin terhadap pengecekan *coupling*, dan instalasi *coupling* yang tidak sesuai. Kemudian ada faktor metode, belum adanya SOP instalasi, belum adanya jadwal pengecekan *coupling*, penggunaan pompa langsung pada tekanan tinggi, dan identifikasi kerusakan masih menggunakan metode konvensional. Faktor terakhir, yaitu material dapat dilihat dari spesifikasi material *coupling* yang sudah berumur dan material *coupling* yang memiliki sifat getas.
Berdasarkan metode *fishbone root cause analysis* maka kerusakan pada komponen kritis kedua yaitu *seal* dapat disebabkan oleh empat faktor, yaitu mesin, manusia, metode, dan material. Pada faktor mesin, *seal* mengalami kebocoran dan terdapat kotoran pada seal. Selain itu untuk faktor manusia berfokus pada operator yang tidak mengikuti SOP, operator kurang tanggap terhadap kerusakan, operator kurang disiplin terhadap pengecekan *seal*, dan instalasi *seal* yang tidak sesuai. Kemudian ada faktor metode, belum adanya SOP instalasi, belum adanya jadwal pengecekan *seal*, penggunaan pompa langsung pada tekanan tinggi, dan identifikasi kerusakan masih menggunakan metode konvensional. Faktor terakhir, yaitu material dapat dilihat dari spesifikasi material *seal* yang sudah berumur dan material *coupling* yang memiliki sifat getas.
Berdasarkan metode *fishbone root cause analysis* maka kerusakan pada komponen kritis ketiga yaitu *bearing* dapat disebabkan oleh empat faktor, yaitu mesin, manusia, metode, dan material. Pada faktor mesin, *bearing* mengalami getaran dan menimbulkan bunyi. Selain itu untuk faktor manusia berfokus pada operator yang tidak mengikuti SOP, operator kurang tanggap terhadap kerusakan, operator kurang disiplin terhadap pengecekan *bearing*, dan instalasi *bearing* yang tidak sesuai. Kemudian ada faktor metode, belum adanya SOP instalasi, belum adanya jadwal pengecekan *coupling*, penggunaan pompa langsung pada tekanan tinggi, dan identifikasi kerusakan masih menggunakan metode konvensional. Faktor terakhir, yaitu material dapat dilihat dari spesifikasi material *bearing* yang sudah berumur dan material *bearing* kurang memiliki sifat yang kuat.
- Terdapat satu distribusi kerusakan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *Weibull*. Dengan menggunakan satu distribusi kerusakan tersebut didapatkan *lifetime prediction* pada setiap komponen dengan menghitung MTTF (*Mean Time To Failure*). Berikut ini merupakan nilai MTTF masing-masing komponen, yaitu *seal* adalah 186,863 jam, *bearing* adalah 251,053 jam, *impeller* adalah 199,995 jam, *coupling* adalah 471,043 jam, *shaft* adalah 238,251 jam, *housing* adalah 318,274 jam.
- Berdasarkan analisis perhitungan *reliability* maka didapatkan nilai fungsi keandalan berdasarkan nilai MTTF dari masing-masing komponen, yaitu *seal* adalah 51,33% pada 186,863 jam, *bearing* adalah 47,70% pada 251,053 jam, *impeller* adalah 44,39% pada 199,995 jam, *coupling* adalah 49,25% pada 471,043 jam, *shaft* adalah 46,14% pada 238,251 jam, *housing* adalah 36,79% pada 318,274 jam
- Berdasarkan nilai MTTF setiap komponen maka dapat disusun jadwal *periodic maintenance* untuk setiap komponen, yaitu pada interval 150 HM adalah *seal*, *bearing*, dan *impeller*. Pada interval 400 HM adalah *coupling*. Pada interval 200 HM shaft. Pada interval 300 HM adalah *housing*.

5. Daftar Pustaka

- Indonesia, (2013), Badan Nasional Penanggulangan Bencana
- Wahyuningtyas, et. al. (2017). Pengendalian Banjir Sungai Bringin Semarang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, Vol. 6,

-
- No.3, pp. 161-171.
- [3] Zhao, Y., Yang, S., Zhang, L., & Chew, J. W. (2019). Understanding the Varying Discharge Rates of Lognormal Particle Size Distributions from a Hopper Using the Discrete Element Method. *Powder Technology*. Vol. 342, pp. 356- 370.
 - [4] Rosa, Y. (2012). Perencanaan dan Penerapan Preventive Maintenance Peralatan Laboratorium. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol.2, No.2, pp. 106-119.
 - [5] Meng, F., Li, Y., Yuan, S., Wang, W., Zheng, Y., & Osman, M. K. (2020). Multiobjective combination optimization of an impeller and diffuser in a reversible axial-flow pump based on a two-layer artificial neural network. *Processes*, 8(3), 309.
 - [6] Adigama, A. S. (2011). Penyusunan Schedule Perawatan Sepeda Motor Honda Supra X 125 Sub-Assembly Rem Berbasis Reliability Centered Maintenance (RCM). Diss Diponegoro University.
 - [7] Taufik, & Septyani, S. (2015). Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Turbin di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Vol. 14, No. 2, pp. 238-258.
 - [8] Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: McGraw-Hill Companies Inc.
 - [9] ILIE, G., & CIOCOIU, C.N. (2010). Application of Fishbone Diagram to Determine The Risk of an Event with Multiple cause. *Management Research and Practice*, Vol, No.1, pp. 1-20.
 - [10] Suhendar, E., & Soleha, M. (2015). Analisis dan Reliability Komponen Kritis Mesin Dental CX-9000 pada Dental Clinic X. *Faktor Exacta*, 4(4), 350-366.