

ANALISIS *RELIABILITY* KOMPONEN KRITIS *ELECTRIC SUBMERSIBLE AXIAL FLOW PUMP* BERKAPASITAS 2000 LITER PER DETIK MENGGUNAKAN *PROBABILITY PLOT* DAN *ROOT CAUSE ANALYSIS*

*Athanasius Soedira¹, Gunawan Dwi Haryadi², Khoiri Rozi²

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: athanasiussoedira@gmail.com

Abstrak

Negara Indonesia merupakan negara yang dilewati oleh garis ekuator dan beriklim tropis sehingga memiliki curah hujan yang cukup tinggi. Curah hujan tropis merupakan variabel atmosfer yang paling penting, karena dapat berpengaruh langsung terhadap kehidupan manusia. Kabupaten Pekalongan merupakan salah satu kabupaten di Indonesia yang mengalami permasalahan banjir hingga saat ini, sehingga pompa merupakan salah satu bagian yang sangat berperan penting dalam membantu menanggulangi masalah banjir. *Electric Submersible Axial Flow Pump* adalah pompa yang umumnya dimasukkan ke dalam lubang dan berfungsi untuk menaikkan fluida kerja dari bawah dengan digerakkan oleh motor listrik. Untuk menjaga performa dan kualitas dari pompa agar tetap dapat beroperasi secara optimal, maka diperlukan sebuah sistem perawatan atau maintenance yang baik dan terjadwal. Salah satu metode untuk kegiatan perawatan yang lebih terjadwal mengacu pada keandalan dari masing-masing komponen kritis pada pompa. Keandalan didapatkan dengan menggunakan *probability plot* dan metode *root cause analysis* untuk menentukan penyebab kerusakan pada komponen kritis. Hasil yang diperoleh pada analisis tersebut ialah terdapat empat komponen kritis yaitu *mechanical seal – 105*, *seal bushing – 104a*, *seal ring – 154b*, dan *seal ring – 104*. Nilai MTTF masing-masing komponen kritis yaitu *mechanical seal – 105* adalah 1399,23 jam, *seal bushing – 104a* adalah 1392,74 jam, *seal ring – 154b* adalah 1392,74 jam, dan *seal ring – 104* adalah 1392,74 jam. Berdasarkan HM (*Hour Meter*) juga didapatkan nilai keandalan masing-masing komponen kritis yaitu *mechanical seal – 105* adalah 49,02%, *seal bushing – 104a* adalah 55,65%, *seal ring – 154b* adalah 55,65%, dan *seal ring – 104* adalah 55,65%. Jadwal *periodic maintenance* dibuat berdasarkan HM (*Hour Meter*) dari setiap komponen pompa.

Kata kunci: *electric submersible axial flow pump; periodic maintenance; probability plot, reliability; root cause analysis*

Abstract

Indonesia is a country that is crossed by the equator and has a tropical climate so it has a fairly high rainfall. Tropical rainfall is the most important atmospheric variable because it can directly affect human life. Pekalongan Regency is one of the regencies in Indonesia that is experiencing flooding problems to date so the pump is one part that plays an important role in helping to overcome the flood problem. *Electric Submersible Axial Flow Pump* is a pump that is generally inserted into the hole and serves to raise the working fluid from below by being driven by an electric motor. To maintain the performance and quality of the pump so that it can still operate optimally, it is necessary to have a good and scheduled maintenance system. One method for more scheduled maintenance refers to the assessment of each critical component of the pump. Reliability is obtained by using *probability plots* and *root cause analysis* methods to determine the cause of damage to critical components. The results obtained in this analysis are that there are four critical components, namely: *mechanical seal – 105*, *seal bushing – 104a*, *seal ring – 154b*, and *seal ring – 104*. The MTTF value of each critical component, namely *mechanical seal – 105* is 1399.23 hours, *bushing seal – 104a* is 1392.74 hours, *seal ring – 154b* is 1392.74 hours, and *seal ring – 104* is 1392.74 hours. The reliability value was also obtained based on the HM (*Hour Meter*) of each critical component, namely *mechanical seal – 105* is 49.02%, *seal bushing – 104a* is 55.65%, *seal ring – 154b* is 55.65%, and *seal ring – 104* is 55.65%. The *periodic maintenance* schedule is made based on the HM (*Hour Meter*) of each pump component.

Keywords: *electric submersible axial flow pump; periodic maintenance; probability plot; reliability; root cause analysis*

1. Pendahuluan

Negara Indonesia merupakan negara yang dilewati oleh garis ekuator dan beriklim tropis sehingga memiliki curah hujan yang cukup tinggi. Hal ini menyebabkan banjir sebagai sebuah peristiwa yang sangat sering terjadi di Indonesia, khususnya pada musim hujan. Kabupaten Pekalongan merupakan salah satu kabupaten di Indonesia yang mengalami permasalahan banjir hingga saat ini. Kabupaten Pekalongan terletak di pesisir utara Jawa dan berbatasan langsung dengan Laut Jawa, sehingga daerah Kabupaten Pekalongan tidak terlepas dari bencana banjir [3]. Oleh karena itu, pompa merupakan salah satu bagian yang sangat berperan penting dalam membantu menanggulangi masalah banjir.

Terdapat beberapa jenis pompa yang biasa digunakan untuk menanggulangi banjir, dan salah satunya ialah Electric Submersible Axial Flow Pump. Electric Submersible Axial Flow Pump merupakan pompa aliran aksial yang telah sering digunakan di Korea sejak tahun 1980 untuk memompa air pada stasiun pompa drainase [5]. Electric Submersible Axial Flow Pump adalah pompa yang umumnya dimasukkan ke dalam lubang dan berfungsi untuk menaikkan fluida kerja dari bawah dengan digerakkan oleh motor listrik [10].

Sistem perawatan yang baik dan terjadwal harus dilakukan untuk menjaga performa dari pompa tetap optimal. Perawatan yang baik dapat meningkatkan keandalan dari komponen-komponen pada pompa. Analisis keandalan ini dilakukan pada komponen kritis dari sebuah peralatan dikarenakan komponen kritis merupakan sebuah komponen yang memiliki potensi untuk mengalami kerusakan yang dapat berpengaruh pada keandalan operasional unit dari sebuah sistem [11]. Untuk menganalisis keandalan pada komponen kritis ini maka dapat digunakan *probability plot* atau yang biasa kita kenal dengan distribusi kerusakan. *Probability plot* atau distribusi kerusakan ini berisikan informasi mengenai masa atau umur pakai dari sebuah sistem atau komponen peralatan. Beberapa *probability plot* yang cukup umum untuk digunakan adalah distribusi *Weibull*, distribusi Normal, distribusi Lognormal, dan distribusi Eksponensial [11].

2. Objek dan Metode Penelitian

2.1. Electric Submersible Axial Flow Pump

Electric Submersible Axial Flow Pump merupakan pompa aliran aksial yang telah sering digunakan di Korea sejak tahun 1980 untuk memompa air pada stasiun pompa drainase [5]. *Electric Submersible Axial Flow Pump* adalah pompa yang umumnya dimasukkan ke dalam lubang dan berfungsi untuk menaikkan fluida kerja dari bawah dengan digerakkan oleh motor listrik [10]. Secara umum, pompa submersible ini terdiri dari motor *submersible*, *inlet guide vanes* (IGVs), *rotating impeller*, dan *diffuser*. Gambar *Electric Submersible Axial Flow Pump* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Electric Submersible Axial Flow Pump*

2.2. Penentuan Komponen Kritis Menggunakan Weighting Factor

Komponen kritis ditentukan dengan menggunakan metode *critical analysis* dengan empat kriteria yaitu frekuensi kerusakan, dampak kerusakan dari komponen tersebut, tingkat kesulitan proses pembongkaran dan pemasangan komponen, serta harga dari komponen tersebut. Pembobotan dilakukan dengan menentukan tabel standar penilaian yang terdiri dari bobot masing-masing kriteria dan *grade* komponen terhadap kriteria kritisnya.

2.3. 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. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memudahkan dalam menentukan distribusi yang paling sesuai dengan data yang ada. Pengujian ini akan menghasilkan nilai koefisien korelasi (*correlation coefficient*) dan nilai *Anderson-Darling* dari data waktu berdasarkan masing-masing distribusi. Distribusi kerusakan yang paling baik untuk dipilih adalah distribusi yang menghasilkan nilai *Anderson-Darling* terkecil dan nilai *correlation coefficient* terbesar.

Setelah mendapatkan nilai dari *Anderson-Darling* dan *correlation coefficient*, untuk memperkuat bukti apakah sebuah sampel data mengikuti distribusi tersebut atau tidak maka langkah selanjutnya adalah menentukan *P-value* pada pengujian ini. Bila nilai *P-Value* lebih besar atau sama dengan 0,05 (5%), maka sampel data tersebut dapat dikatakan mengikuti distribusi tertentu [9] dengan didukung oleh data *Anderson-Darling* dan *correlation coefficient* yang telah didapatkan dari pengujian sebelumnya.

2.4. Menentukan Nilai MTTF Komponen

Mean time to failure merupakan nilai rata-rata kerusakan atau nilai yang diekspetasi dari suatu distribusi kerusakan pada suatu komponen atau sistem [2]. Rumus untuk menentukan MTTF pada distribusi *Weibull* dan Lognormal adalah sebagai berikut:

1. Distribusi *Weibull*

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

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 Lognormal

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

Keterangan:

μ = parameter lokasi (*location parameter*)

σ = parameter skala (*scale parameter*).

2.5. Menentukan Nilai Keandalan Komponen

Reliability atau yang dikenal sebagai keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas (*probability*) dari sebuah komponen atau sistem untuk dapat melaksanakan fungsi operasional sesuai dengan standar atau syarat yang berlaku dalam periode waktu tertentu di bawah kondisi operasi tertentu terhadap komponen atau sistem tersebut [2]. Fungsi keandalan pada distribusi *Weibull* dan Lognormal adalah sebagai berikut:

1. Distribusi *Weibull*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (3)$$

2. Distribusi Lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right) \quad (4)$$

2.6. Menyusun Tabel Jadwal *Periodic Maintenance*

Setelah nilai *lifetime prediction* dianalisa maka dapat disusun tabel *periodic maintenance* komponen kritis agar mengurangi *downtime* unit. Tabel *periodic maintenance* disesuaikan dengan berdasarkan HM (*Hour Meter*) setiap komponen. Dengan menyusun tabel *periodic maintenance* tersebut diharapkan mampu meningkatkan hasil produksi karena unit *Electrical Submersible Axial Flow Pump* dapat dikurangi *downtime*-nya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis yang terdapat pada *Electric Submersible Axial Flow Pump* dilakukan dengan menggunakan metode *critical analysis* untuk mengetahui nilai kekritisannya dari komponen-komponen yang mengalami kerusakan. Nilai kekritisannya komponen *Electric Submersible Axial Flow Pump* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Pembobotan Komponen Kritis

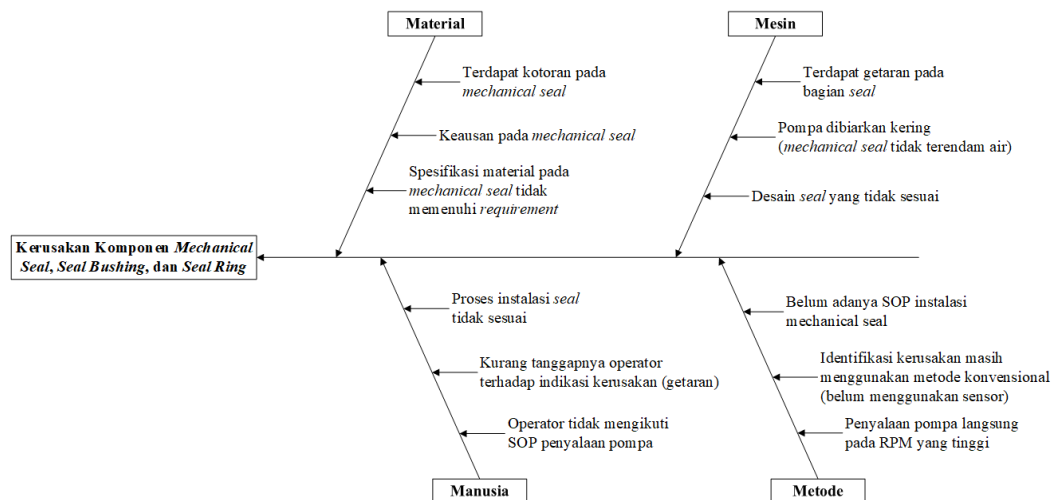
No	Part Number	Description	Kriteria 1 (Bobot 4)		Kriteria 2 (Bobot 3)		Kriteria 3 (Bobot 2)		Kriteria 4 (Bobot 1)		Nilai Total (Grade x Bobot)
			Grade	Grade x Bobot	Grade	Grade x Bobot	Grade	Grade x Bobot	Grade	Grade x Bobot	
1.	105	Mechanical Seal	4	16	3	9	4	8	5	5	38
2.	104a	Seal Bushing	4	16	3	9	4	8	1	1	34

No	Part Number	Description	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	
3.	104	Seal Ring	4	16	3	9	4	8	1	1	34
4.	154b	Seal Ring	4	16	3	9	4	8	1	1	34
5.	72a	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
6.	66b	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
7.	49a	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
8.	157	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
9.	67b	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
10.	165	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
11.	195a	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
12.	194	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
13.	61d	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
14.	488	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
15.	66c	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
16.	72	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
17.	67c	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
18.	154c	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
19.	157d	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
20.	157a	O-Ring	3	12	3	9	3	6	1	1	28
21.	153	Ball	2	8	3	9	4	8	2	2	27
		Bearing									
22.	154	Ball	2	8	3	9	4	8	2	2	27
		Bearing									

Sehingga didapatkan empat komponen sebagai komponen kritisnya yaitu *mechanical seal* – 105 dengan nilai total 38, *seal bushing* – 104a dengan nilai total 34, *seal ring* – 104 dengan nilai total 34, dan *seal ring* – 154b dengan nilai total 34.

3.2. Diagram *Fishbone* Penyebab Kerusakan Komponen Kritis

Diagram *fishbone* pada Gambar 2 kemudian dibuat untuk mengetahui akar permasalahan dari akibat terjadinya kerusakan pada komponen-komponen kritis tersebut



Gambar 2. Diagram *Fishbone* Penyebab Kerusakan Komponen *Mechanical Seal*, *Seal Bushing*, dan *Seal Ring*

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

3.3.1 Penentuan *Probability Plot* untuk Setiap Kerusakan Komponen

Pemilihan distribusi yang akan digunakan untuk menentukan MTTF dan nilai kehandalan dari sebuah komponen memerlukan nilai *A-D* terkecil dan nilai koefisien korelasi terbesar. Setelah nilai dari *Anderson-Darling* dan koefisien korelasi setiap komponen yang mengalami kerusakan diketahui, maka diperlukan nilai *P-Value* untuk mendukung bukti bahwa suatu data mengikuti distribusi tertentu dengan syarat $P\text{-Value} \geq 0,05$. Distribusi terpilih untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Probability Plot* Setiap Kerusakan Komponen

No	Part Number	Description	Anderson-Darling	Correlation Coefficient	P-Value	Distribusi Terpilih
1.	105	Mechanical Seal	2,815	0,979	0,604	Lognormal
2.	104a	Seal Bushing	2,774	0,991	>0,250	Weibull
3.	104	Seal Ring	2,774	0,991	>0,250	Weibull
4.	154b	Seal Ring	2,774	0,991	>0,250	Weibull
5.	O-Ring Kit	O-Ring	3,537	0,916	0,144	Lognormal
6.	153	Ball Bearing	4,569	1,000	>0,250	Weibull
7.	154	Ball Bearing	4,569	1,000	>0,250	Weibull

3.4. Perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*) Komponen Kritis

Dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 dan menggunakan bantuan *software* Minitab 19 maka didapatkan nilai MTTF untuk masing-masing komponen yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Perhitungan MTTF Distribusi Lognormal Menggunakan Minitab 19

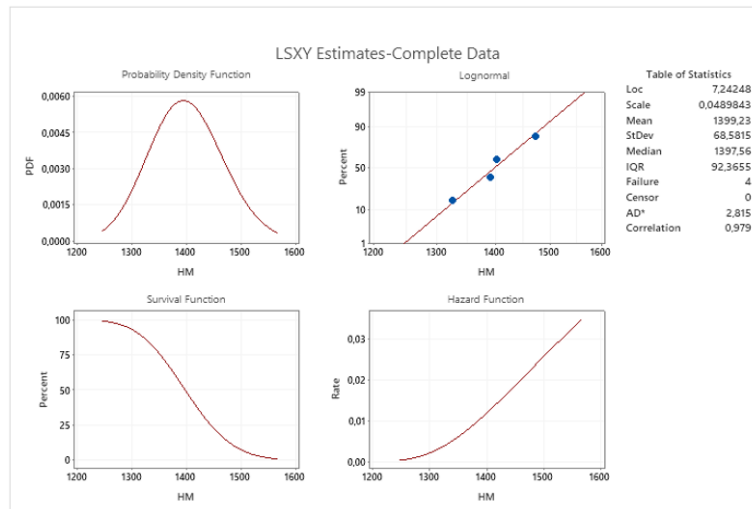
No	Part Number	Description	μ	σ	MTTF
1.	105	Mechanical Seal	7,24248	0,0489843	1399,23
2.	O-Ring Kit	O-Ring	7,52443	0,0219278	1853,21

Tabel 4. Perhitungan MTTF Distribusi Weibull Menggunakan Minitab 19

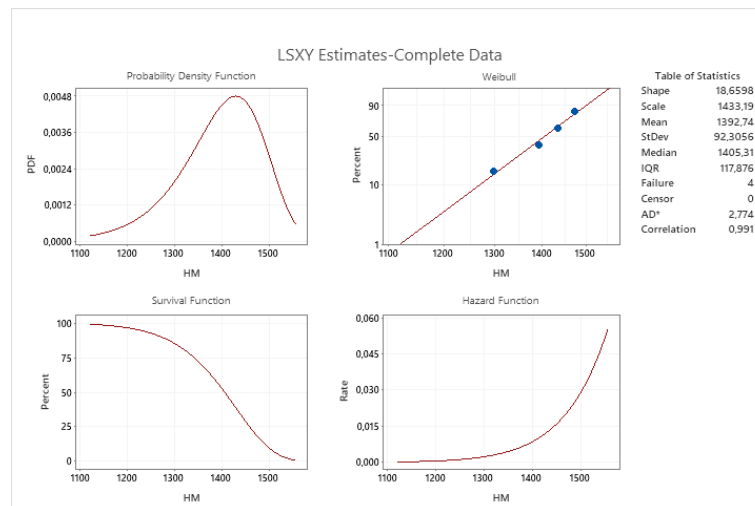
No	Part Number	Description	β	θ	$(1+1/\beta)$	$\Gamma(1+1/\beta)$	MTTF
1.	104a	Seal Bushing	18,6598	1433,19	1,05	0,973504	1392,74
2.	154b	Seal Ring	18,6598	1433,19	1,05	0,973504	1392,74
3.	104	Seal Ring	18,6598	1433,19	1,05	0,973504	1392,74
4.	153	Ball Bearing	32,7357	2604,34	1,03	0,98355	2560,76
5.	154	Ball Bearing	32,7357	2604,34	1,03	0,98355	2560,76

3.5. Analisa Grafik *Probability Plot* Komponen Kritis

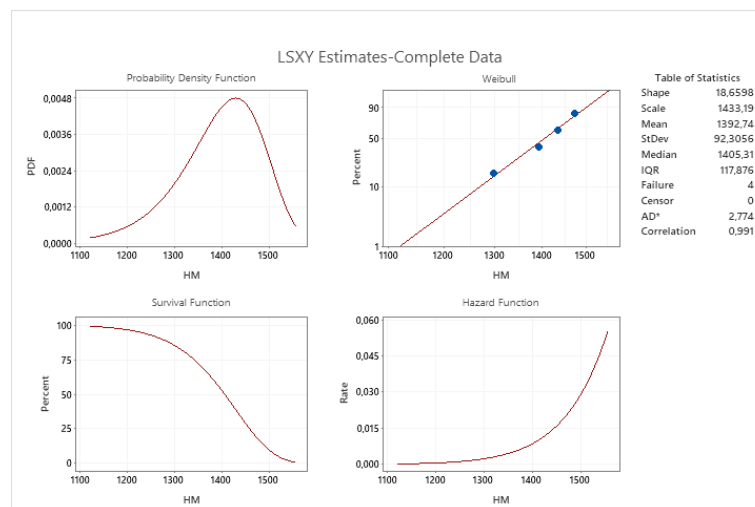
Pada grafik *probability density function* (PDF) merepresentasikan laju probabilitas terjadinya kerusakan pada komponen. Grafik *survival function* merepresentasikan keandalan dari setiap komponen berdasarkan HM-nya. Titik tertinggi pada grafik PDF sesuai dengan penurunan tertinggi pada grafik *survival function* komponen. Kemudian pada grafik *Weibull* dan Lognormal terlihat titik-titik yang merepresentasikan waktu terjadinya kerusakan pada komponen berdasarkan HM-nya. Pada grafik *hazard function* merepresentasikan laju terjadinya kerusakan komponen berdasarkan HM-nya. Semakin tinggi HM maka laju kerusakan dari komponen akan semakin tinggi karena umur dari komponen juga semakin bertambah. *Probability plot* masing-masing komponen kritis dapat dilihat pada Gambar 3 – 6.



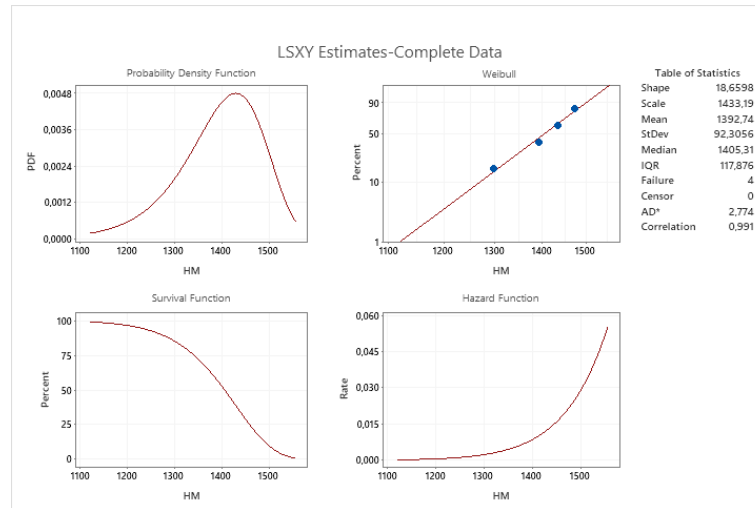
Gambar 3. Probability Plot Mechanical Seal – 105



Gambar 4. Probability Plot Seal Bushing – 104a



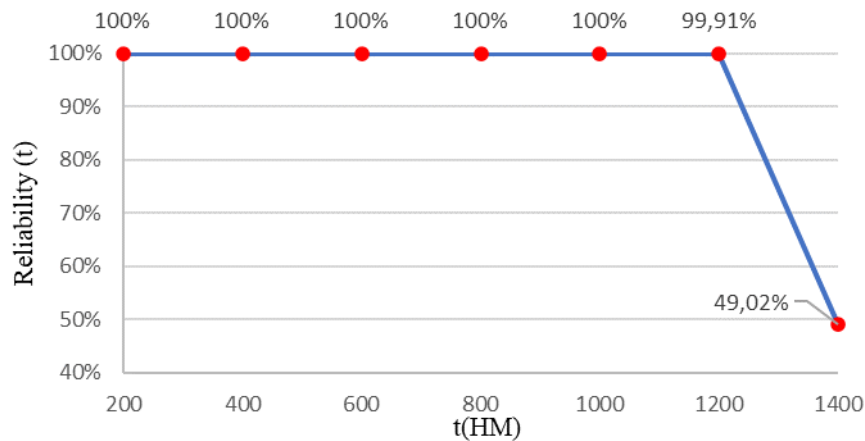
Gambar 5. Probability Plot Seal Ring – 154b



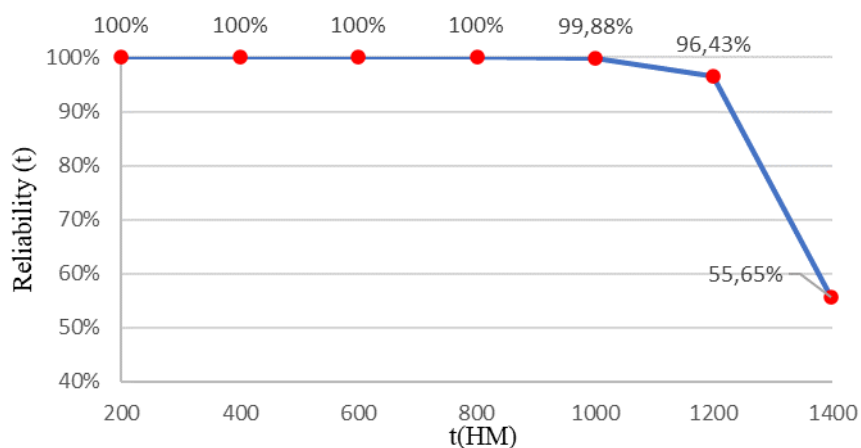
Gambar 6. Probability Plot Seal Ring – 104

3.6. Analisa Fungsi Reliability Komponen Kritis

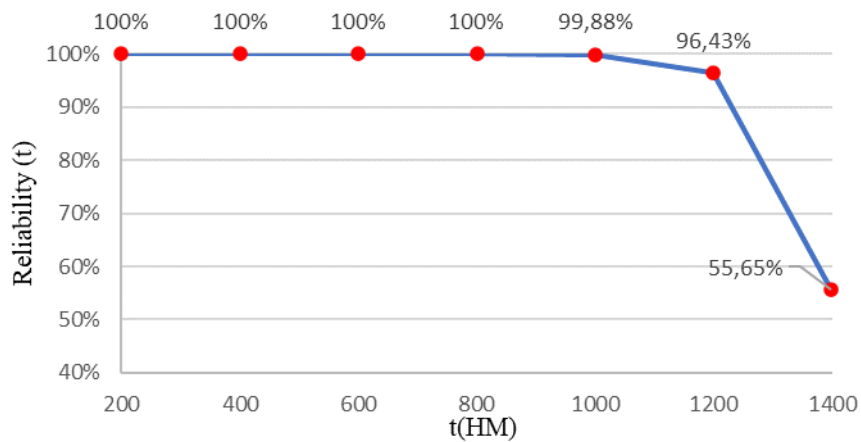
Nilai keandalan dari masing-masing komponen kritis dihitung setiap 200 jam operasi dengan menggunakan persamaan 3 dan 4. Nilai keandalan dari masing-masing komponen kritis dihitung sebagai validasi terhadap nilai MTTF yang telah didapatkan. Pada Gambar 7 – 10 terlihat bahwa penurunan tertinggi keandalan setiap komponen berada pada titik MTTFnya.



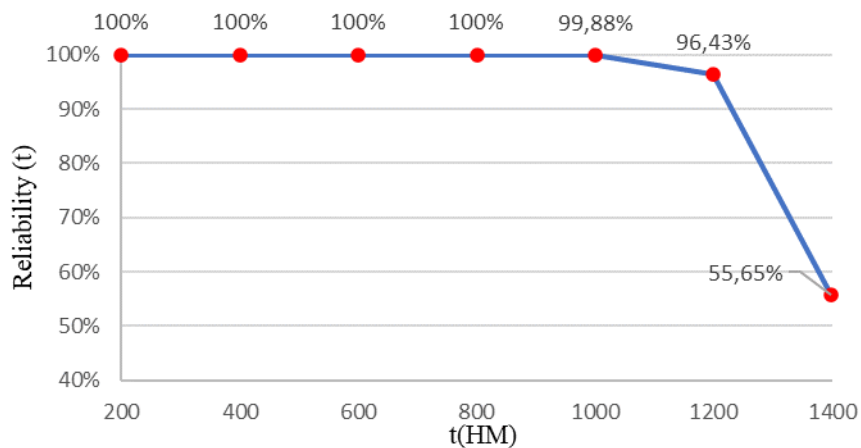
Gambar 7. Analisa Keandalan Komponen Mechanical Seal – 105



Gambar 8. Analisa Keandalan Komponen Seal Bushing – 104a



Gambar 9. Analisa Keandalan Komponen *Seal Ring* – 154b



Gambar 10. Analisa Keandalan Komponen *Seal Ring* – 104

3.7. Penyusunan *Periodic Maintenance* Komponen Kritis

Jadwal *periodic maintenance* dibuat untuk menentukan kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala dalam suatu jangka waktu tertentu. Jadwal *periodic maintenance* dibuat untuk setiap komponen kritis dan komponen lainnya yang mengalami kerusakan berdasarkan nilai MTTF masing-masing komponen. Berdasarkan MTTF, interval penggantian keempat komponen kritis berada pada 1300 jam, semua komponen *o-ring* berada pada 1800 jam, dan kedua *ball bearing* berada pada 2500 jam. Tetapi dengan mempertimbangkan bahwa penggantian keempat komponen kritis yang kedua berada pada 2600 jam yang hanya berbeda 100 jam setelah penggantian *ball bearing* yang pertama, maka harus diadakan penyesuaian ulang terhadap jadwal *periodic maintenance* yang telah dibuat.

Dengan menurunkan interval penggantian keempat komponen kritis ke 1200 jam dan interval penggantian *ball bearing* ke 2400 jam, maka pada saat interval penggantian yang kedua pada keempat komponen kritis yaitu saat 2400 jam, penggantian dapat dilakukan bersamaan dengan penggantian kedua komponen *ball bearing* yang pertama. Tabel *periodic maintenance* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Jadwal *Periodic Maintenance* Komponen yang Telah Disesuaikan

No	Part Number	Description	MTTF	Penggantian Berdasarkan MTTF	Interval Penggantian Fix
1.	105	Mechanical Seal	1399,23	1300	
2.	104a	Seal Bushing	1392,74	1300	1200
3.	154b	Seal Ring	1392,74	1300	
4.	104	Seal Ring	1392,74	1300	
5.	72a	O-Ring	1853,21	1800	
6.	66b	O-Ring	1853,21	1800	
7.	49a	O-Ring	1853,21	1800	
8.	157	O-Ring	1853,21	1800	
9.	67b	O-Ring	1853,21	1800	
10.	165	O-Ring	1853,21	1800	
11.	195a	O-Ring	1853,21	1800	
12.	194	O-Ring	1853,21	1800	1800
13.	61d	O-Ring	1853,21	1800	
14.	488	O-Ring	1853,21	1800	
15.	66c	O-Ring	1853,21	1800	
16.	72	O-Ring	1853,21	1800	
17.	67c	O-Ring	1853,21	1800	
18.	154c	O-Ring	1853,21	1800	
19.	157d	O-Ring	1853,21	1800	
20.	157a	O-Ring	1853,21	1800	
21.	153	Ball Bearing	2560,76	2500	2400
22.	154	Ball Bearing	2560,76	2500	

4. Kesimpulan

Pada penelitian Analisis *Reliability* Komponen Kritis *Electric Submersible Axial Flow Pump* Berkapasitas 2000 Liter per Detik Menggunakan *Probability Plot* dan *Root Cause Analysis* terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil antara lain:

1. Terdapat empat komponen kritis yang terpilih menggunakan metode *critical analysis* yaitu: *mechanical seal* – 105 dengan nilai total 38, *seal bushing* – 104a dengan nilai total 34, *seal ring* – 154b dengan nilai total 34, dan *seal ring* – 104 dengan nilai total 34.
2. Menggunakan diagram *fishbone* didapatkan penyebab kerusakan komponen kritis dari faktor material ialah terdapat kotoran pada *mechanical seal*, keausan pada *mechanical seal*, dan spesifikasi material pada *mechanical seal* tidak memenuhi *requirement*. Dari faktor mesin ialah terdapat getaran pada bagian *seal*, pompa dibiarkan kering (*mechanical seal* tidak terendam air), dan desain *seal* yang tidak sesuai. Dari faktor manusia ialah proses instalasi *seal* yang tidak sesuai, kurang tanggapnya operator terhadap indikasi kerusakan (getaran), dan operator tidak mengikuti SOP penyalan pompa. Dari faktor metode ialah belum adanya SOP instalasi *mechanical seal*, identifikasi kerusakan masih menggunakan metode konvensional (belum menggunakan sensor), dan penyalan pompa langsung pada RPM yang tinggi.
3. Nilai MTTF masing-masing komponen yaitu: *mechanical seal* – 105 adalah 1399,23 jam, *seal bushing* – 104a adalah 1392,74 jam, *seal ring* – 154b adalah 1392,74 jam, *seal ring* – 104 adalah 1392,74 jam, *ball bearing* – 153 adalah 2560,76 jam, *ball bearing* – 154 adalah 2560,76 jam, dan *o-ring* yang berjumlah 16 *part* adalah 1853,21 jam.
4. Nilai keandalan masing-masing komponen yaitu, *mechanical seal* – 105 adalah 49,02% pada 1399,23 jam, *seal bushing* – 104a adalah 55,65% pada 1392,74 jam, *seal ring* – 154b adalah 55,65% pada 1392,74 jam, *seal ring* – 104 adalah 55,65% pada 1392,74 jam, *ball bearing* – 153 adalah 56,24% pada 2560,76 jam, *ball bearing* – 154 adalah 56,24% pada 2560,76 jam, dan *o-ring* yang berjumlah 16 *part* adalah 49,56% pada 1853,21 jam.
5. Jadwal *periodic maintenance* untuk setiap komponen yaitu pada interval 1200 HM: *mechanical seal* – 105, *seal bushing* – 104a, *seal ring* – 154b, *seal ring* – 104. Pada interval 1800 HM: *o-ring* – 72a, *o-ring* – 66b, *o-ring* – 49a, *o-ring* – 157, *o-ring* – 67b, *o-ring* – 165, *o-ring* – 195a, *o-ring* – 194, *o-ring* – 61d, *o-ring* – 488, *o-ring* – 66c, *o-ring* – 72, *o-ring* – 67c, *o-ring* – 154c, *o-ring* – 157d, *o-ring* – 157a. Pada interval 2400 HM: *ball bearing* – 153, *ball bearing* – 154.

5. Daftar Pustaka

- [1] Adigama, A. S., et. al., 2019, "Reliability Analysis and Critical Part Lifetime Prediction of Heavy Duty Articulated Dump Truck on Coal Mining Industry," *AIP Conference Proceedings*, 1: 030088-1-030088-6.
- [2] Ebeling, C. E., 1997, "An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering," McGraw-Hill Companies Inc., New York
- [3] Ilhami, F., Nugroho, D., & Rocchadi, B., 2014, "Pemetaan Tingkat Kerawanan ROB untuk Evaluasi Tata Ruang Pemukiman Daerah Pesisir Kabupaten Pekalongan Jawa Tengah," *Journal of Marine Research* 3: 508-515.
- [4] ILIE, G., & CIOCOIU, C. N., 2010, "Application of Fishbone Diagram to Determine The Risk of an Event with Multiple Causes," *MANAGEMENT RESEARCH AND PRACTICE*, 2: 1-20.
- [5] Kim, Y.-S., Heo, M.-W., Shim, H.-S., Lee, B.-S., & Kim, D.-H., 2020, "Hydrodynamic Optimization for Design of a Submersible Axial-Flow Pump with a Swept Impeller," *Energies*, 13: 1-18.
- [6] Kim, Y.-S., Heo, M.-W., Shim, H.-S., Lee, B.-S., & Kim, D.-H., 2018, "Hydraulic Performance Characteristics of a Submersible Axial-Flow Pump with Different Angles of Inlet Guide Vane," *Journal Korean Society Fluid Machinery Energies*, 21: 34-40.
- [7] Liao, M., & Shimokawa, T., 2007, "A New Goodness-of-Fit Test for Type-I Extreme-Value and 2-Parameter Weibull Distributions with Estimated Parameters," *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 64: 23-48.
- [8] Schober, P., & Boer, C., 2018, "Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation," *Wolters Kluwer Health, Inc.*, 126: 1763-1768.
- [9] Sedgwick, P., 2014, "Understanding P Values," *BMJ Clinical Research*, 349-350.
- [10] Sucipto, H., & Sigit Setya Wiwaha, I. R., 2018, "Instalasi ESP (Electric Submersible Pump) Sistem Tandem Pada Sumur Minyak Dengan Variable Speed Drive," *Jurnal ELTEK*, 16: 51-63.
- [11] Taufik, & Septyani, S., 2015, "Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Turbin di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin," *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 14: 238-258.