

Perhitungan *Lifetime Prediction* pada Komponen Kritis *Centrifugal Pump* Menggunakan Metode *Weibull*

Gunawan Dwi Haryadi¹, Agus Suprihanto¹, Martin Butarbutar^{2,*}

¹Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*Email:butarbutar.m@gmail.com

Abstract

The main natural disaster facing the city of Semarang is flooding with prolonged inundation. One of the efforts to prevent and reduce the impact of flood disasters is by using pumps in flood-prone areas in Semarang City. The pump converts the mechanical energy from an actuator into potential energy in the form of a head, so that the liquid fluid moves and has a pressure according to the head it has. The pump used is a centrifugal pump. Also required proper maintenance to maximize the performance of the Centrifugal Pump. With the aim of maximizing performance, a proper maintenance system is needed to minimize downtime. Weibull is an appropriate method to determine which includes critical and non-critical parts and is often used in determining the failure or damage rate of the formed data patterns. The results obtained from testing using this method there are 3 critical components that are the same, namely the mechanical seal, bearing, shaft. The MTTF value of mechanical seal, bearing, and shaft is 194.18 hours, 194.37 hours, 194.24 hours. The reliability values of mechanical seal 1, bearing 1, and shaft 1 are 50%, 47%, and 47%. Periodic Maintenance which is obtained based on the hour meter (HM) of each pump.

Keyword: centrifugal pump, critical component, weibull, lifetime prediction, reliability.

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. Diperlukan juga *maintenance* yang tepat untuk memaksimalkan performa dari *Centrifugal Pump*. Dengan tujuan memaksimalkan performa, diperlukan sistem perawatan yang tepat untuk meminimalisir *downtime*. *Weibull* adalah metode yang tepat untuk menentukan yang termasuk bagian kritis dan bagian tidak kritis dan sering digunakan dalam menentukan tingkat kegagalan atau kerusakan dari pola data yang terbentuk. Hasil yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode ini terdapat 3 komponen kritis yang sama yaitu pada *mechanical seal*, *bearing*, *shaft*. Nilai MTTF dari *mechanical seal*, *bearing*, *shaft* adalah 194.18 jam, 194.37 jam, 194.24jam. Nilai keandalan *mechanical seal* 1, *bearing* 1, *shaft* 1 adalah 50%, 47%, dan 47%. *Periodic Maintenance* yang diperoleh berdasarkan *hour meter* (HM) dari tiap pompa.

Kata kunci: centrifugal pump, komponen kritis, weibull, lifetime prediction, reliability.

1. Pendahuluan

Bencana alam merupakan salah satu fenomena yang dapat terjadi setiap saat kapan pun dan dimana pun. Bencana alam dapat menimbulkan risiko terhadap kehidupan manusia baik korban jiwa maupun kerugian harta benda [1]. Salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia adalah 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 [2].

Pompa sentrifugal merupakan pompa yang bekerja dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh sudu *impeller*. Fluida dialirkan oleh pompa sentrifugal dengan menggunakan energi hidrodinamik yang dikonversi dari energi kinetik rotasi dari aliran fluida. Fluida mengalir dari tekanan tinggi melalui *impeller*. Pompa sentrifugal banyak digunakan untuk berbagai aplikasi seperti irigasi air, sistem desalinasi, pembangkit listrik, kapal, dan penyedot banjir [3].

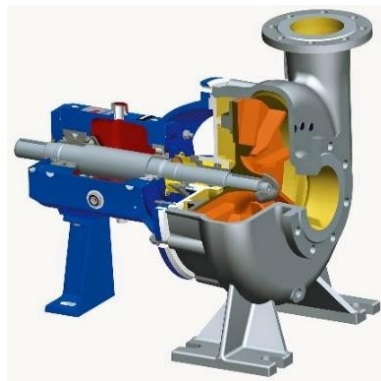
Dengan tujuan memaksimalkan performa, diperlukan sistem perawatan yang tepat untuk meminimalisir *downtime* [4]. Penggunaan analisis *Weibull* adalah metode yang tepat untuk menentukan bagian kritis dan bagian tidak kritis [5]. Selama ini perusahaan belum memiliki peranan sistem perawatan yang baik, sehingga *Centrifugal 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 memonitor komponen – komponen kritis agar segera dilakukan *preventive maintenance* dan untuk mempersiapkan *spare part* komponen sebelum komponen itu rusak untuk mengurangi *downtime* unit.

2. Objek Penelitian dan Metodologi

2.1 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal sebagai salah satu jenis pompa yang banyak dijumpai dalam industri, bekerja dengan prinsip putaran *impeller* sebagai elemen pemindah fluida yang digerakkan oleh suatu penggerak mula. Zat cair yang berada di dalam akan berputar akibat dorongan sudu-sudu dan menimbulkan gaya sentrifugal yang menyebabkan cairan mengalir dari tengah *impeller* dan keluar melalui saluran diantara sudu-sudu dan meninggalkan *impeller* dengan kecepatan tinggi [6].



Gambar 1. Pompa Sentrifugal

2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan wawancara langsung kepada pekerja dan buku petunjuk pengoperasian mengenai cara kerja unit pada pompa sentrifugal dengan kapasitas 250 liter per detik, serta rincian bentuk komponen dan jumlah pemakaian komponen pompa sentrifugal dalam suatu kurun waktu. Data lain juga berupa daftar kerusakan komponen mesin, waktu pemakaian/kerusakan komponen pompa sentrifugal dengan kapasitas 250 liter per detik.

2.3 Pemilihan Komponen Kritis Dengan Tabel *Weighting Factor*

Penentuan komponen kritis yang terdapat pada sistem turbin adalah dengan menggunakan metode pendekatan *Critical Analysis* yang merupakan metode untuk mengetahui nilai kekritisannya dari suatu komponen sehingga hasil penilaiannya dapat dijadikan *input* dalam perawatan mesin. Langkah-langkah yang harus dilakukan adalah:

- a. Estimasi komponen kritis pada sistem.
- b. Penyusunan tabel kekritisannya komponen.

2.4 Pengujian Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Dalam persoalan pengendalian persediaan komponen yang berhubungan dengan karakteristik umur komponen, maka pola waktu antar kerusakan komponen diestimasikan akan berbentuk distribusi *Weibull*. Terdapat dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini yaitu θ yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*) dan β yang disebut sebagai parameter bentuk (*shape parameter*). Distribusi *Weibull* ini sering digunakan dalam menentukan tingkat kegagalan atau kerusakan, yang menentukan tingkat kerusakan tersebut dari pola data yang terbentuk adalah nilai parameter β . Nilai-nilai β yang menunjukkan laju kerusakan terdapat dalam tabel berikut [7].

Tabel 1. Nilai-Nilai Parameter β Dalam Distribusi *Weibull*

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Pengurangan laju kerusakan (DFR)
$\beta = 1$	Distribusi Eksponensial
$1 < \beta < 2$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), <i>Konkaf</i>
$\beta = 2$	Distribusi <i>Rayleigh</i>
$\beta > 2$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), <i>Konveks</i>
$3 \leq \beta$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), mendekati kurva normal

Untuk menguji distribusi waktu antar kerusakan suatu komponen ini dilakukan dengan uji distribusi *Weibull* dua parameter yang dikembangkan oleh kelompok *Mann*. Uji distribusi dilakukan bertujuan untuk mengetahui apakah data interval waktu kerusakan (TTF) yang dipergunakan telah sesuai dengan distribusi kerusakan yang telah dipilih yaitu distribusi *Weibull*. Uji *Mann* digunakan karena dapat digunakan untuk sampel data yang kecil dan proses perhitungannya lebih sederhana. Tahapan uji ini adalah [7].

Ho = Distribusi Weibull dua parameter H1 = Hipotesa awal (Ho) salah

$$S = \frac{\sum_{i=(\frac{r-1}{2})+1}^{r-1} \left[\frac{X_{i+1}-M_i}{M_i} \right]}{\sum_{i+1}^{r-1} \left[\frac{X_{i+1}-M_i}{M_i} \right]} \quad (1)$$

dimana :

- X_i = ln t_i
- r = Jumlah *sparepart* yang rusak
- r/2 = bilangan bulat yang ≤ r / 2
- S_α = Tabel distribusi *Weibull* dua parameter

Ho akan diterima bila nilai S_α tes < S_α tabel dan sebaliknya bila S_α test > S_α tabel maka Ho ditolak.

2.5 Penentuan Parameter Distribusi Waktu Antar Kerusakan dan Fungsi-Fungsi Keandalan

Apabila telah terbukti bahwa pola antar kerusakan berdistribusi weibull dua parameter, maka untuk selanjutnya ditentukan parameter distribusi antar kerusakannya, yaitu β dan α dengan cara regresi linier Y = a + bt. Setelah parameter β dan α diperoleh maka dapat ditentukan fungsi-fungsi keandalan weibull dua parameter. Secara sistematis, perhitungan dari setiap fungsi distribusi meliputi:

- a. Perhitungan fungsi kepadatan kegagalan.
- b. Fungsi keandalan.
- c. Fungsi laju kerusakan.
- d. Fungsi distribusi kumulatif.

2.6 Penentuan Keandalan/ Reliability Setiap Komponen Kritis

Untuk menentukan keandalan dalam kaitan operasional, diperlukan definisi yang lebih spesifik, yaitu deskripsi tentang kegagalan yang tidak membingungkan dan dapat diamati, identifikasi unit waktu, serta [7].

Ada terdapat empat elemen yang signifikan dalam konsep *reliability* diantaranya adalah:

- a. *Probability* (peluang). Setiap item memiliki umur pakai yang berbeda dengan item lainnya. Sekelompok item dapat memiliki umur rata-rata yang pasti. Hal ini memungkinkan untuk mengidentifikasi distribusi dari kerusakan item, sehingga dapat diperkirakan umur dari item tersebut.
- b. *Performance* (kinerja). Mendefinisikan keandalan sebagai suatu karakteristik kinerja sistem dimana suatu sistem yang baik harus dapat menunjukkan performansi yang memuaskan jika dioperasikan.
- c. Waktu. *Reliability* dinyatakan dalam suatu periode waktu. Peluang seseorang untuk hidup pada tahun depan akan berbeda dengan peluang seseorang untuk hidup pada sepuluh tahun yang akan datang. Demikian juga dengan *reliability* sebuah item, karenanya pengidentifikasian waktu yang jelas sangat diperlukan.
- d. Kondisi. Menjelaskan bahwa perlakuan yang diterima oleh suatu *system* akan memberikan pengaruh terhadap tingkat *reliability*.

2.7 Menentukan Mean Time to Failure (MTTF) Part Kritis

Mean time to failure (MTTF) merupakan rata-rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan dimana rata-rata waktu ini merupakan nilai yang diharapkan (*expected value*) dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal. MTTF yang sering digunakan untuk menyatakan angka ekspektasi E(t) didefinisikan oleh *probability distribution function* f(t) [5], yaitu sebagai berikut:

$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt; \text{ dimana } f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{iR(t)}{dt} \quad (2)$$

sehingga persamaan tersebut menjadi:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (3)$$

i. MTTF Distribusi *Weibull*

$$MTTF = \theta T(1 + \frac{1}{\beta}) \tag{4}$$

dimana $\Gamma(1+1/\beta) \rightarrow \Gamma(x)$ =tabel fungsi gamma

ii. MTTF Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \tag{5}$$

2.8 Penyusunan *Periodic Maintenance*

Setelah nilai *lifetime prediction* dianalisa maka dapat disusun *periodic maintenance* komponen kritis agar mengurangi *downtime unit*. Dengan menyusun *periodic maintenance* tersebut diharapkan mampu memaksimalkan pengoperasian pompa karena unit *Centrifugal Pump* dapat dikurangi waktu *downtimanya*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Kerusakan Komponen *Centrifugal Pump*

Komponen pada *Centrifugal Pump* yang tidak mengalami kerusakan tidak akan dimasukkan ke dalam pengolahan data. Data pada tabel 2. Digunakan untuk melakukan pemilihan komposisi kritis.

Tabel 2. Data Kerusakan Komponen *Centrifugal Pump* 250 liter per detik

<i>Part</i>	<i>Failure Frequency</i>
<i>Seal</i>	26
<i>Bearing</i>	14
<i>Shaft</i>	11
<i>Impeller</i>	5
<i>Casing</i>	9
<i>Drive Coupling</i>	2

3.2 Penentuan Komponen Kritis dengan Metode Pendekatan *Critical Analysis*

Dari data *part* dapat di pilih lagi *critical part* berdasarkan frekuensi kerusakan. Sehingga dapat dihasilkan data *critical part* sebagai berikut:

Tabel 3. Komponen Kritis

<i>Part</i>	<i>Failure Frequency</i>
<i>Seal</i>	26
<i>Bearing</i>	14
<i>Shaft</i>	11
<i>Impeller</i>	5
<i>Casing</i>	9

Dari tabel 3 dapat dilihat komponen yang mempunyai frekuensi kerusakan tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa komponen kritis dari *Centrifugal Pump* adalah *Seal, Bearing, dan Shaft*.

3.3 Uji Distribusi Kerusakan dan Penentuan Parameter Distribusi

3.3.1 *Index of Fit* dari TTF (*Time to Failure*) Komponen Kritis

Perhitungan *index of fit* dilakukan pada setiap komponen kritis dengan distribusi *Weibull* dan lognormal. Perhitungan *index of fit* menggunakan rumus *correlation coefficient* dengan metode *Least Square*. Distribusi yang terpilih adalah distribusi dengan nilai *index of fit* terbesar.

Selain dengan menggunakan perhitungan secara manual, untuk menghitung nilai *index of fit* (r) dari data waktu kerusakan, bisa juga dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 19. Tujuan dari Pengujian ini dilakukan untuk memudahkan dalam menentukan distribusi terpilih, yang akan menghasilkan nilai koefisien korelasi (*correlation coefficient*) dan nilai *Anderson-Darling* dari data waktu berdasarkan masing-masing distribusi. Distribusi terpilih adalah distribusi yang menghasilkan nilai *Anderson-Darling* terkecil. Dari tabel 4 merupakan distribusi terpilih setelah di proses dengan *software* MiniTab 19.

Tabel 4. Nilai Anderson-Darling tiap komponen kritis

Name of Part	Nilai AD (<i>Anderson Darling</i>)		Distribusi Terpilih
	Weibull	Lognormal	
MECH SEAL	1.494	1.612	weibull
BEARING	1.738	1.856	weibull
SHAFT	1.365	1.402	weibull
IMPELLER	2.503	2.659	weibull
CASING	1.573	1.632	weibull

Dari Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa semua komponen kritis menggunakan distribusi *Weibull*.

3.3.2 Penentuan Parameter Distribusi *Weibull*

Penentuan waktu kerusakan dan parameter distribusi *Weibull* untuk menentukan nilai keandalan komponen kritis pompa, penentuan parameter menggunakan bantuan *software* MiniTab19. Tabel 5 merupakan parameter distribusi *Weibull* yang di proses menggunakan bantuan *software* MiniTab19.

Tabel 5. Parameter Distribusi *Weibull*

No	Nama Spare Part	Scale	Shape
1	Seal	215.996	3.39876
2	Bearing	219.294	2.33765
3	Shaft	220.461	2.17744
4	Impeller	216.805	1.85962
5	Casing	228.591	2.31645

3.4 Analisa MMTF (*Mean Time to Failure*) Komponen Kritis

MTTF yang sering digunakan untuk menyatakan angka ekspektasi $E(t)$ didefinisikan oleh *probability distribution function* $f(t)$ [5] sesuai dengan persamaan (4).

Tabel 6. Hasil Perhitungan MMTF Tiap Komponen

Komponen	θ	β	MTTF (jam)
Seal	215.996	3.39876	194.18
Bearing	219.294	2.33765	194.37
Shaft	220.461	2.17744	194.24
Impeller	216.805	1.85962	192.42
Casing	228.591	2.31645	202.54

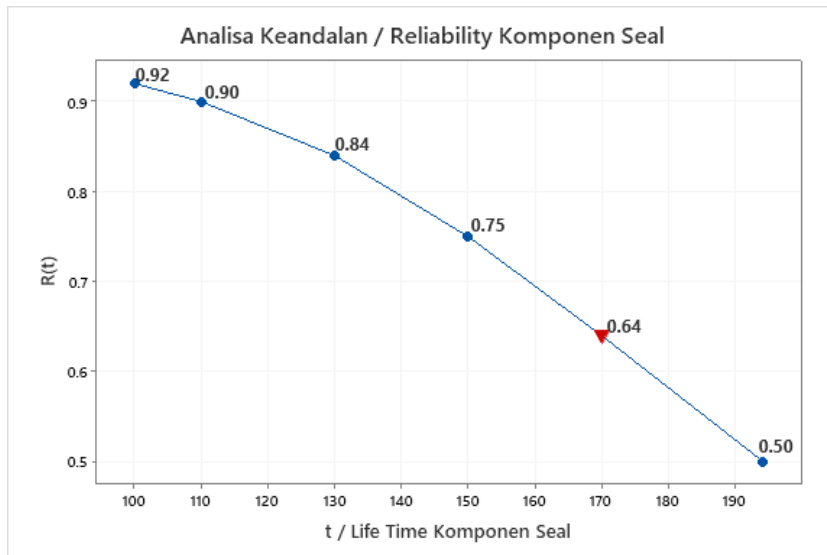
3.5 Analisa Fungsi Keandalan/ *Reliability* Komponen Kritis

Berdasarkan uji distribusi data TTF komponen kritis distribusi terpilih adalah distribusi *Weibull*. Maka rumus yang digunakan untuk menentukan *Reliability* yaitu:

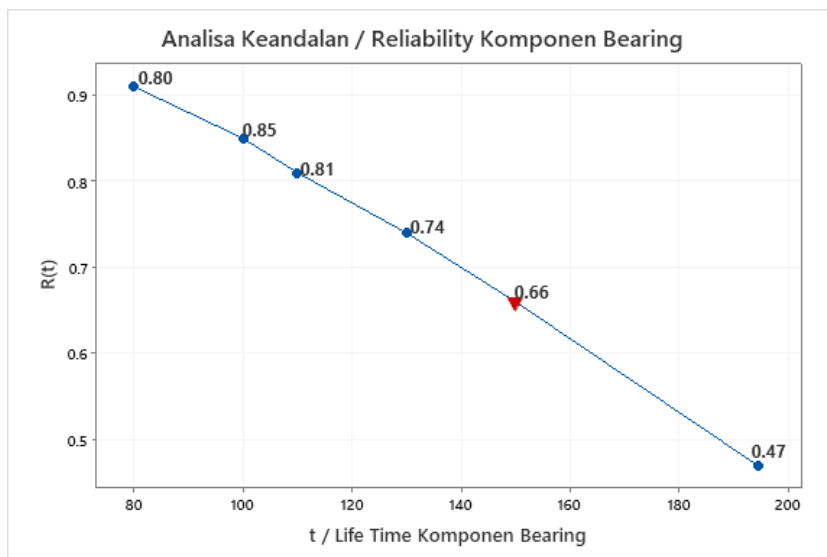
$$R(t) = \text{Exp}\left(-\frac{t}{\theta}\right)^\beta \quad (6)$$

dimana t = waktu komponen saat *failure*.

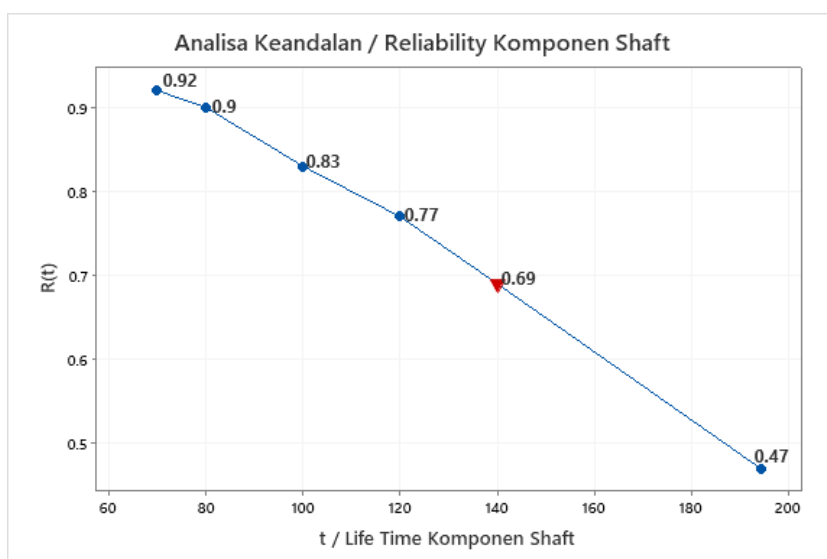
Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (6) dilakukan perhitungan untuk beberapa HM (*Hour Meter*). Berikut grafik fungsi keandalan/ *reliability* tiap komponen.



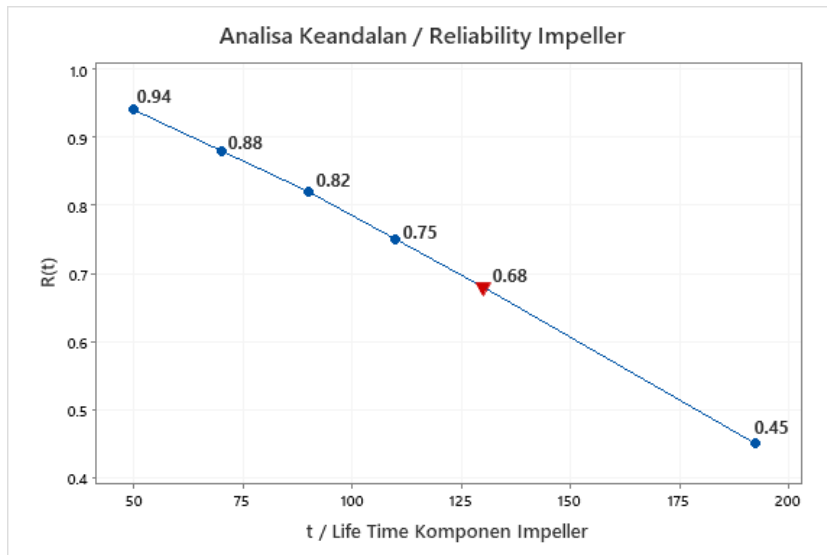
(a)



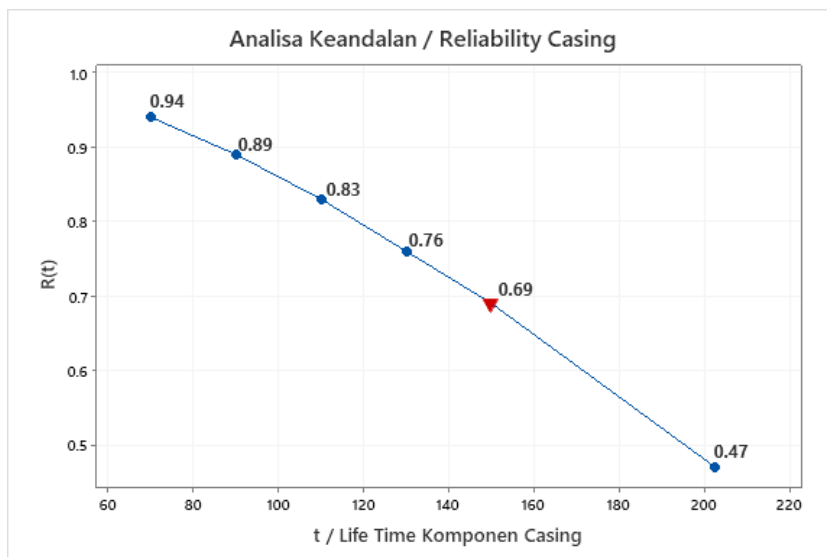
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 2. Grafik Fungsi Keandalan/Reliability Komponen (a) *Seal*, (b) *Bearing*, (c) *Shaft*, (d) *Impeller*, (e) *Casing*

3.1 Penyusunan *Periodic Maintenance* Komponen Kritis

Kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala atau dalam jangka waktu tertentu. Penentuan jangka waktu *periodic maintenance* dapat dilakukan berdasarkan interval waktu (seperti, melakukan perawatan setiap satu bulan, setiap empat bulan atau setiap satu tahun), dan berdasarkan lamanya jam kerja mesin produk tersebut sebagai jadwal kegiatan misalnya setiap seratus jam sekali. Penyusunan *Periodic Maintenance* Komponen Kritis berdasarkan nilai MTTF (*Mean Time to Failure*) tiap komponen kritis seperti pada tabel 6.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini didapat beberapa kesimpulan mengenai Analisa keandalan dan *prediction lifetime critical part Centrifugal Pump* dengan kapasitas 250 liter per detik menggunakan metode *Weibull* yaitu: (1) Pemilihan komponen dengan metode *Critical Analysis* menggunakan tabel *critical part* untuk mengetahui tingkatkekritisan tiap komponen. Maka dihasilkan beberapa komponen kritis yang sama pada tiap pompa yaitu: *Mechanical Seal*, *Bearing*, *Shaft*; (2) Dengan menggunakan metode *Weibull* maka diperoleh *lifetime prediction* setiap komponen dengan menghitung MTTF (*Mean Time to Failure*) yaitu komponen kritis *Seal* adalah 194.18 jam, *Bearing* adalah 194.37 jam, *Shaft* adalah 194.24 jam; (3) Berdasarkan nilai MTTF (*Mean Time to Failure*) maka dapat disusun jadwal *periodic maintenance* untuk setiap komponen kritis yaitu *seal pump* pada HM 150, 300, 450, 600, 750, 900, 1050, 1200, 1350, 1500, 1650, 1800, 1950, 2100, dan 2300. Berdasarkan nilai MTTF (*Mean Time to Failure*) maka dapat disusun jadwal *periodic maintenance* untuk setiap komponen kritis yaitu *bearing* pada HM 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 1950, dan 2300. Berdasarkan nilai MTTF

(*Mean Time to Failure*) maka dapat disusun jadwal *periodic maintenance* untuk setiap komponen kritis yaitu *shaft* pada HM 750, 1500, dan 2300; (4) Dengan menggunakan metode *Weibull* maka diperoleh *lifetime prediction* setiap komponen dengan menghitung Keandalan/*Reliability* yaitu komponen kritis *Seal* adalah 0,50 atau 50%, *Bearing* adalah 0,47 atau 47%, *Shaft* adalah 0,47 atau 47%.

Daftar Pustaka

- [1] Nugroho, J.A., Sukojo, B.M., dan Sari, I., 2009, “*Pemetaan Daerah Rawan Longsor dengan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis*,” ITS Library.
- [2] Ardian, A., 2010, “*Perawatan dan Perbaikan Mesin*,” Kementerian Pendidikan Nasional Universitas Yogyakarta Teknik Mesin, December, 1–77.
- [3] Selamat, F.E., Izhan, W.H.I., and Baharudin, B.S., 2018, “*Design and analysis of centrifugal pump impeller for performance enhancement*,” *Journal of Mechanical Engineering (JMEchE)*, 1: 36–53.
- [4] Chu, Y K., and Ke, J.C, 2011, “*Mathematical and Computational Applications*,” 16(3): 702–711.
- [5] Nugroho, A., Haryadi, G.D., Ismail, R., dan Kim, S.J., 2016, “*Risk based inspection for atmospheric storagetank. AIP Conference Proceedings*,” 1725.
- [6] Hariady, S., 2014, “*Analisa Kerusakan Pompa Sentrifugal 53-101C Wtu Sungai Gerong Pt. Pertamina Ru Iii Plaju*,” *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 2(1): 29–42.
- [7] Ebeling, C.E., 1997, “*Intro to Reliability & Maintainability Engineering*,” 486.
- [8] Aryoseto, J, 2010, “*Pembuatan alat peraga sistem hidolik*”.
- [9] Kim, J.J., and Lee, J.D., *Kor. J. Met. Mater*, 2008, 46, 809.
- [10] Gio, P.U., Rosmaini, Elly., 2018, “*Belajar Olah Data dengan SPSS, MINITAB, R, MICROSOFT EXCEL, EVIEWS, LISREL, AMOS, dan SMARTPLS*.”
- [11] Hidayat, R., Ansori, N., dan Imron, A., 2010, “*Perencanaan Kegiatan Maintenance Dengan Metode Reability Centered Maintenance (Rcm) Ii*,” *MAKARA of Technology Series*, 14(1): 7–14.
- [12] Karrasik, I.J., Krutzsch, W., Fraser, W.H., dan Messina, J.P., 1976, “*Pump Handbook*.”
- [13] Kurniawan, H., 2016, “_____,” <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>.
- [14] Liao, M., dan Shimokawa, T., 1999, “*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(1): 23–48.
- [15] Mekonnen, Y., Aburbu, H., dan Sarwat, A., 2018, “*Life cycle prediction of Sealed Lead Acid batteries based on a Weibull model*,” *Journal of Energy Storage*, 18(March): 467–475.
- [16] Musyafa, A.A., & Siregar, I.H., 2015, “*Pengaruh Jumlah Sudu Sentrifugal Impeller Terhadap Kapasitas Dan Efisiensi Pompa Sentrifugal*,” *Jurnal Teknik Mesin*, 03(03): 136–144.
- [17] Peng, C.Y., 2014, “*Part II Reliability Analysis*,” 2010.
- [18] Rizal, M.S., 2015, “*Perancangan Mesin Hidraulik Press Bearing Dengan Kapasitas 20 Ton*,” 3: 5–28.
- [19] Pandi, H.S. Santosa, J.M., 2014, “*Perancangan Preventive Maintenance Pada Mesin Corrugating dan Messin FLEXO di PT. Surindo Teguh Gemilang*,” *Jurnal IlmiahWidya Teknik*, 13(1): 54–57.
- [20] Subbarao, B., Ramjee, D.E., Devaiah, D.M. and Prasad, D.T.S., 2017, “*Investigation into Flow Field of Centrifugal Pump Impeller*,” *International Journal of Engineering and Manufacturing Science*, 7(2): 309–318.
- [21] Tupan, J.M., Camerling, B.J., dan Amin, M., 2019, “*Penentuan Jadwal Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Mtu 12v2000g65 Di Pltd Tersebar Pt Pln (Persero) Area Tual (StudiKasus : Pltd Wonreli)*,” *Arika*, 13(1): 33–48.
- [22] Wahyuningtyas, N., dan Suryanto, H., 2017, “*Analysis of Biodegradation of Bioplastics Made of Cassava Starch*,” *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 1(1): 24–31.
- [23] Zhang, D.Z., dan Prosperetti, A., 1994, “*Ensemble phase-averaged equations for bubbly flows. Physics of Fluids*.”