

Evaluasi Keandalan Rantai Submerged Scraper Conveyor (SSC) pada Sistem Bottom Ash di PLTU PT XYZ Berdasarkan Distribusi Weibull

Muhammad Hamdi¹, Cecep Slamet Abadi^{2*}, Bayun Matsaany³

^{1,2}Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³Program Studi Rekayasa Teknologi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

E-mail address: cecep.slametabadi@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Sistem bottom ash handling pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berperan penting dalam pembuangan abu dasar hasil pembakaran batubara, dengan Submerged Scraper Conveyor (SSC) sebagai komponen utamanya. Rantai (chain) SSC merupakan komponen kritis yang sering gagal akibat keausan sehingga berpotensi menimbulkan downtime. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keandalan rantai SSC Unit 2 PLTU PT XYZ menggunakan distribusi Weibull dua parameter sebagai dasar penentuan interval preventive maintenance yang optimal. Data berupa 45 nilai Time To Failure (TTF) valid dari catatan Work Order periode Januari 2021–Januari 2026. Estimasi parameter dilakukan dengan metode Maximum Likelihood Estimation (MLE) menggunakan Python. Hasil menunjukkan parameter bentuk $\beta = 1,1979$ dan parameter skala $\eta = 43,4449$ hari; nilai $\beta > 1$ menandakan rantai berada pada fase wear-out dengan laju kegagalan meningkat. Nilai Mean Time To Failure (MTTF) sebesar 40,89 hari. Interval preventive maintenance optimal adalah 21 hari pada keandalan 65,80%, meningkatkan keandalan saat perawatan sebesar 26,46% dibanding kondisi eksisting (39,34%). Penerapan interval ini diharapkan menurunkan probabilitas kegagalan mendadak dan mengurangi downtime sistem.

Kata-kata kunci: keandalan, preventive maintenance, rantai SSC, distribusi Weibull, MTTF

Abstract

The bottom ash handling system in a coal-fired Steam Power Plant (PLTU) plays a vital role in discharging combustion bottom ash, with the Submerged Scraper Conveyor (SSC) as its main component. The SSC chain is a critical component that frequently fails due to wear, potentially causing downtime. This study aims to evaluate the reliability of the SSC chain of Unit 2 at PLTU PT XYZ using the two-parameter Weibull distribution as a basis for determining the optimal preventive maintenance interval. The data comprise 45 valid Time To Failure (TTF) values from Work Order records covering January 2021 to January 2026. Parameter estimation was performed using Maximum Likelihood Estimation (MLE) in Python. The results yield a shape parameter $\beta = 1.1979$ and a scale parameter $\eta = 43.4449$ days; $\beta > 1$ indicates that the chain is in the wear-out phase with an increasing failure rate. The Mean Time To Failure (MTTF) is 40.89 days. The optimal preventive maintenance interval is 21 days at 65.80% reliability, improving reliability at maintenance by 26.46% compared with the existing condition (39.34%). Implementing this interval is expected to reduce the probability of sudden failure and minimise system downtime.

Keywords: reliability, preventive maintenance, SSC chain, Weibull distribution, MTTF

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memegang peranan vital dalam menjamin ketersediaan pasokan listrik nasional. Kelancaran operasi PLTU sangat bergantung pada keandalan sistem pendukungnya, salah satunya *bottom ash handling system* yang menangani abu panas dari dasar *boiler*. Karakteristik *bottom ash* yang kasar, abrasif, dan bervolume besar menuntut sistem penanganan yang tangguh. Interaksi langsung antara partikel keras abu dengan komponen mekanis bergerak dapat mempercepat degradasi peralatan, sehingga keandalan sistem ini menjadi faktor kunci dalam menjaga kontinuitas operasi pembangkit [1].

Dalam sistem penanganan abu, *Submerged Scraper Conveyor* (SSC) merupakan peralatan utama, dengan rantai (*chain*) sebagai elemen kritis penarik *scraper*. Rantai beroperasi pada lingkungan ekstrem: terendam air panas dan terus bergesekan dengan partikel abu, sehingga memicu keausan abrasif dan adhesif yang mempercepat degradasi fisik. Keausan progresif pada rantai sering menjadi penyebab utama kegagalan tak terduga yang berujung pada *shutdown* unit. Gangguan pada rantai SSC tidak hanya menghentikan pembuangan abu, tetapi juga berpotensi mematikan operasional *boiler* secara keseluruhan [2].

Dampak kegagalan rantai SSC tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga berimplikasi pada efisiensi operasional dan biaya perawatan. Strategi pemeliharaan yang kurang tepat dapat meningkatkan frekuensi kerusakan serta biaya akibat *downtime* tak terencana. Penerapan strategi pemeliharaan yang tepat mampu mengurangi biaya perawatan dan meningkatkan keandalan peralatan [3]. Oleh karena itu, diperlukan pergeseran dari strategi reaktif menuju strategi berbasis keandalan yang memprioritaskan komponen kritis seperti rantai SSC.

Untuk menyusun strategi pemeliharaan yang efektif, diperlukan evaluasi keandalan (*reliability*) yang akurat guna memprediksi perilaku kegagalan komponen. Distribusi *Weibull* dinilai relevan untuk menganalisis komponen yang mengalami degradasi bertahap seperti rantai konveyor, karena mampu memodelkan karakteristik penuaan (*aging*) dan laju kegagalan secara realistis dari fase kegagalan awal hingga fase keausan (*wear-out*) [4].

Sejumlah penelitian terdahulu telah menerapkan distribusi *Weibull* untuk evaluasi keandalan komponen mekanis pada berbagai sektor. Tamba dkk. [9] mengombinasikan distribusi *Weibull* dengan FMEA pada AC *package* kereta dan memperoleh interval perawatan optimal sebelum 52 hari; Haryadi dkk. [11] menggunakan *Weibull* untuk memprediksi umur komponen kritis *coal hauler truck*; sedangkan Risna dan Lutfi [16] memadukan FMECA, FTA, dan *Weibull* pada sistem bahan bakar kapal sebagai dasar perawatan berbasis keandalan. Adapun kajian pada objek SSC, Nicola dkk. [2] menganalisis keandalan rantai SSC PLTU menggunakan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang bersifat kualitatif, dan Sihotang dkk. [8] menelaah kegagalan *submerged chain conveyor* dari aspek metalurgi dengan fokus pada mekanisme fatik material.

Berdasarkan kajian tersebut, sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada analisis keandalan komponen mekanis di sektor transportasi, manufaktur, dan peralatan industri lainnya, atau masih mengandalkan pendekatan *Mean Time Between Failure* (MTBF) [10] dan FMEA yang hanya menggambarkan rata-rata kerusakan serta prioritas kegagalan, tetapi belum mampu menangkap perubahan karakteristik kegagalan seiring bertambahnya umur operasi. Kesenjangan penelitian (*research gap*) yang teridentifikasi adalah masih sangat

terbatasnya evaluasi keandalan rantai SSC pada sistem *bottom ash handling* PLTU secara kuantitatif, karena kajian yang ada bersifat kualitatif berbasis RCM [2] atau berfokus pada analisis material [8]. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut melalui analisis keandalan rantai SSC menggunakan distribusi *Weibull* dua parameter dengan estimasi *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) berdasarkan data *Work Order* selama lima tahun (Januari 2021–Januari 2026), sehingga interval *preventive maintenance* yang dihasilkan mencerminkan karakteristik kegagalan aktual komponen.

Penelitian ini bertujuan menentukan parameter distribusi *Weibull* (β dan η), menganalisis tingkat keandalan dan *Mean Time To Failure* (MTTF), serta menentukan interval *preventive maintenance* optimal pada rantai SSC Unit 2 PLTU PT XYZ.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis dan Objek Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-analitis yang berfokus pada evaluasi keandalan komponen rantai *Submerged Scraper Conveyor* (SSC) pada sistem *bottom ash* di PLTU PT XYZ. Pendekatan kuantitatif digunakan karena analisis dilakukan berdasarkan data numerik berupa waktu antar kegagalan (*time to failure*) dari data historis operasi dan perawatan. Objek penelitian adalah rantai (*chain*) SSC Unit 2 yang dipilih karena berperan sebagai komponen kritis dan bekerja pada kondisi operasional berat [5].

2.2 Sumber dan Pengumpulan Data

Data yang digunakan adalah data sekunder berupa *Time To Failure* (TTF), yaitu selang waktu antar kegagalan rantai SSC Unit 2 dalam satuan hari, yang diperoleh melalui studi dokumentasi catatan *Work Order* (WO) pada *Computerized Maintenance Management System* (CMMS). Pemilihan sampel menggunakan *purposive sampling* dengan kriteria: WO terkait kegagalan rantai SSC Unit 2 yang tercatat lengkap, memiliki tanggal laporan valid, berasal dari periode Januari 2021–Januari 2026, dan bukan kegiatan *overhaul* terjadwal. Nilai TTF dihitung sebagai selisih hari antara dua kejadian kegagalan berurutan [6], [7].

Dari 46 WO yang terkumpul, satu data dijadikan titik awal observasi sehingga diperoleh 45 data TTF valid. Karakteristik data dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik data penelitian

Karakteristik Data	Keterangan
Jenis data	TTF — data kuantitatif kontinu
Sumber data	Data sekunder WO (CMMS)
Periode data	Januari 2021 – Januari 2026
Objek	Rantai (chain) SSC Unit 2
Jumlah WO	46 data Work Order
TTF valid	45 data TTF
TTF minimum	2 hari
TTF maksimum	152 hari
Rata-rata TTF	40,78 hari
Median TTF	28 hari

2.3 Kecukupan Data

Kecukupan data dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan kelengkapan data *Time To Failure* (TTF) aktual dan kesesuaian distribusi (*goodness of fit*). Seluruh 45 data TTF valid yang diperoleh dari catatan *Work*

Order periode Januari 2021–Januari 2026 telah merepresentasikan riwayat kegagalan rantai SSC secara lengkap, sehingga dinilai memadai untuk analisis keandalan berbasis distribusi Weibull. Estimasi parameter dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) yang bersifat konsisten dan efisien pada ukuran sampel kecil hingga menengah [12].

2.4 Variabel Penelitian

Tabel 2. Variabel dan parameter penelitian

Simbol	Nama Variabel	Satuan	Keterangan
T	Waktu operasi	Hari	Nilai TTF dari WO terurut
R(t)	Keandalan	–	Prob. tidak gagal hingga t
h(t)	Laju kegagalan	Keg./hari	Hazard rate sesaat
MTTF	Mean Time To Failure	Hari	Rata-rata waktu antar kegagalan
B	Parameter bentuk	–	$\beta > 1$ = fase wear-out
H	Parameter skala	Hari	Waktu karakteristik Weibull

2.5 Metode Analisis Data

Analisis diawali penyusunan data TTF secara kronologis, dilanjutkan estimasi parameter distribusi *Weibull* dua parameter (β dan η) dengan metode MLE yang memaksimalkan fungsi *log-likelihood* [12]:

$$\ln L(\beta, \eta) = n \ln \beta - n \beta \ln \eta + (\beta - 1) \sum \ln(t_i) - \sum (t_i / \eta)^\beta \quad (1)$$

Berdasarkan parameter yang diperoleh, dihitung fungsi keandalan R(t), fungsi laju kegagalan h(t), dan MTTF:

$$R(t) = \exp[-(t/\eta)^\beta] \quad (2)$$

$$h(t) = (\beta/\eta) \times (t/\eta)^{(\beta-1)} \quad (3)$$

$$MTTF = \eta \cdot \Gamma(1 + 1/\beta) \quad (4)$$

Interval *preventive maintenance* optimal ditentukan dengan pendekatan *reliability threshold*, yaitu waktu t saat R(t) turun ke batas minimum yang dapat diterima:

$$t_p M = \eta \times [-\ln(R_{target})]^{(1/\beta)} \quad (5)$$

Estimasi parameter dilakukan secara numerik dengan Python (*scipy.stats.weibull_min.fit*), sedangkan perhitungan tabel dan visualisasi menggunakan Microsoft Excel dan *matplotlib*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Statistik Deskriptif Data TTF

Dari 45 data TTF valid diperoleh nilai minimum 2 hari, maksimum 152 hari, rata-rata 40,78 hari, dan median 28 hari. Nilai median yang lebih rendah dari rata-rata menunjukkan distribusi condong ke kanan (*right-skewed*), konsisten dengan karakteristik distribusi *Weibull* dengan $\beta > 1$.

3.2 Estimasi dan Interpretasi Parameter Weibull

Penyelesaian fungsi *log-likelihood* secara numerik terhadap 45 data TTF menghasilkan parameter bentuk $\beta = 1,1979$ dan parameter skala $\eta = 43,4449$ hari. Nilai $\beta = 1,1979 > 1$ mengindikasikan rantai SSC berada pada

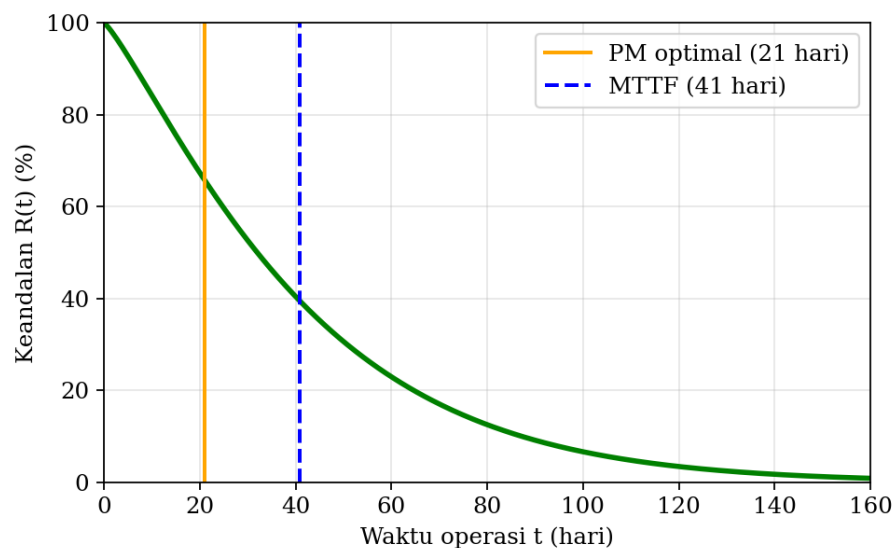
fase *wear-out* (keausan), di mana laju kegagalan meningkat seiring bertambahnya waktu operasi. Kondisi ini konsisten dengan mekanisme kerusakan dominan rantai SSC, yaitu keausan abrasif akibat paparan abu batubara [2], [8]. Parameter skala $\eta = 43,4449$ hari merupakan waktu karakteristik, yaitu saat probabilitas kegagalan kumulatif mencapai $\approx 63,2\%$.

3.3 Analisis Keandalan Rantai SSC

Fungsi keandalan $R(t)$ menyatakan probabilitas rantai SSC beroperasi tanpa kegagalan hingga waktu t . Nilai keandalan, probabilitas kegagalan, dan laju kegagalan pada berbagai titik waktu disajikan pada Tabel 3, sedangkan kurva keandalan ditunjukkan pada Gambar 1.

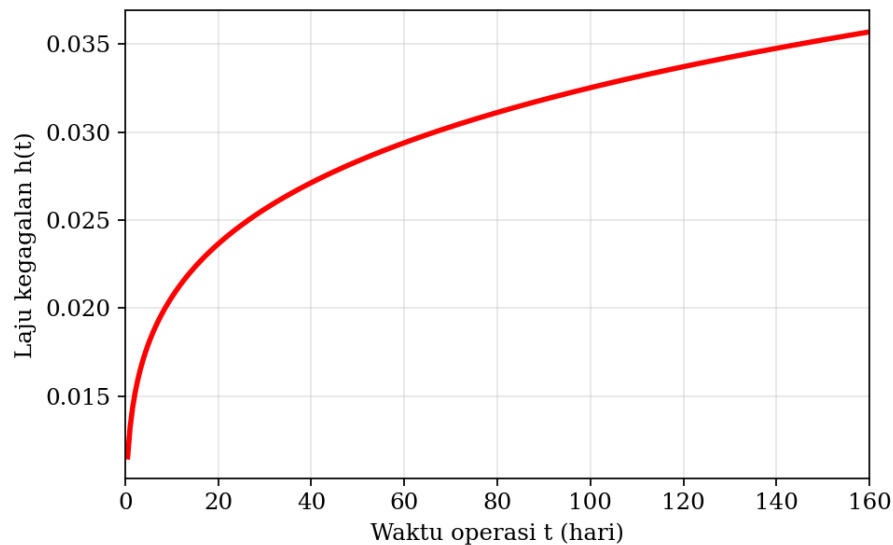
Tabel 3. Nilai $R(t)$, $F(t)$, dan $h(t)$ rantai SSC

Waktu t (hari)	$R(t)$	$F(t)$	$h(t)$	Interpretasi
7	89,38%	10,62%	0,019212	Sangat andal
14	77,29%	22,71%	0,022037	Cukup andal
21	65,80%	34,20%	0,023878	PM optimal
28	55,39%	44,61%	0,025277	Mulai menurun
35	46,21%	53,79%	0,026418	Mulai menurun
41 ($\approx$ MTTF)	39,34%	60,66%	0,027259	Kritis – segera PM
60	22,94%	77,06%	0,029392	Kritis – segera PM
90	9,14%	90,86%	0,031848	Kritis – segera PM



Gambar 1. Kurva fungsi keandalan $R(t)$ rantai SSC

Karena $\beta = 1,1979 > 1$, fungsi laju kegagalan $h(t)$ bersifat meningkat monoton (*increasing hazard rate*) yang mencirikan fase *wear-out*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Laju kegagalan naik dari 0,019212 pada hari ke-7 menjadi 0,027259 pada hari ke-41, dan terus meningkat seiring waktu. Karakteristik ini mendukung perlunya perawatan preventif berbasis jadwal sebelum laju kegagalan mencapai nilai kritis [10].

Gambar 2. Kurva fungsi laju kegagalan $h(t)$ rantai SSC

Nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dihitung sebagai $MTTF = \eta \cdot \Gamma(1 + 1/\beta) = 43,4449 \times \Gamma(1,8348) = 43,4449 \times 0,9411 = 40,89 \text{ hari} \approx 41 \text{ hari}$. Nilai ini berdekatan dengan rata-rata TTF empiris (40,78 hari), menunjukkan konsistensi model *Weibull* dengan data aktual lapangan. Secara operasional, MTTF 41 hari berarti dalam satu bulan operasi probabilitas kegagalan telah melampaui 60%, sehingga perawatan preventif harus dilakukan sebelum mencapai nilai MTTF [13].

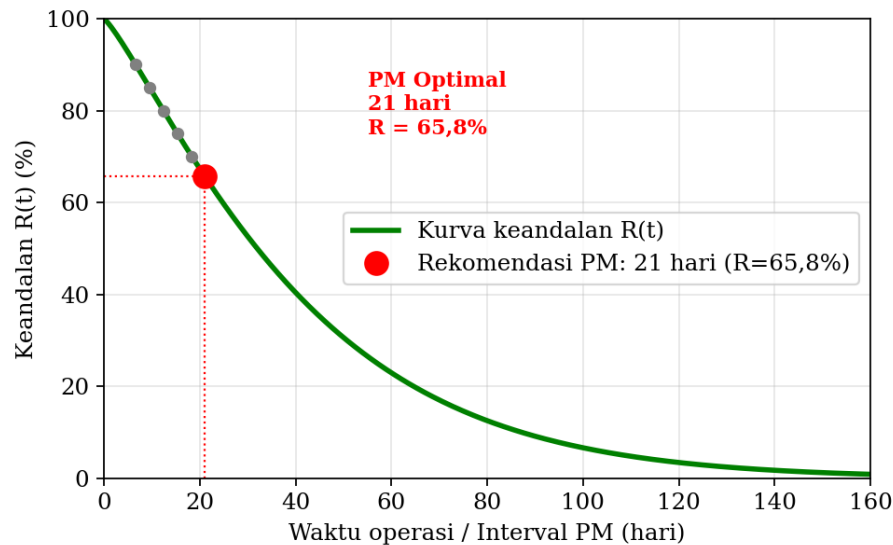
3.4 Penentuan Interval Preventive Maintenance Optimal

Interval PM optimal ditentukan dengan pendekatan *reliability threshold* pada berbagai target keandalan (Tabel 4).

Tabel 4. Interval preventive maintenance berdasarkan target keandalan

Target R(t)	Interval PM (hari)	Interval PM (minggu)	Keterangan
90%	6,6	±1 minggu	Konservatif
85%	9,5	±1 minggu	Konservatif
80%	12,4	±2 minggu	Direkomendasikan
75%	15,4	±2 minggu	Direkomendasikan
70%	18,4	±3 minggu	Ekonomis
65%	21,5	±3 minggu	Rekomendasi utama

Dengan mempertimbangkan ketersediaan sistem yang tinggi dan kemudahan integrasi jadwal, interval PM yang direkomendasikan adalah setiap 21 hari (3 minggu) pada target keandalan 65%, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 3. Interval ini dipilih karena merupakan kelipatan 7 hari sehingga mudah diintegrasikan dalam siklus perawatan mingguan, dilakukan saat keandalan masih 65,80% (jauh lebih baik dari kondisi eksisting 39,34%), dan masih berada di bawah nilai MTTF 40,89 hari.



Gambar 3. Kurva penentuan interval PM optimal 21 hari

3.5 Perbandingan dengan Kondisi Eksisting

Berdasarkan data historis, rata-rata interval perawatan eksisting (rata-rata TTF aktual) adalah 40,78 hari, dengan keandalan saat perawatan $R(40,78) \approx 39,34\%$. Dengan penerapan interval rekomendasi 21 hari, keandalan saat perawatan menjadi $R(21) = 65,80\%$. Hal ini menunjukkan peningkatan keandalan saat PM sebesar +26,46% dibanding kondisi eksisting, yang berimplikasi langsung pada penurunan probabilitas *breakdown* mendadak dan *unplanned downtime* sistem SSC. Temuan ini konsisten dengan penelitian terdahulu bahwa rantai SSC pada PLTU umumnya gagal pada fase keausan ($\beta > 1$) dan mendukung penerapan strategi perawatan berbasis keandalan untuk meningkatkan ketersediaan sistem [2], [15].

4. KESIMPULAN

Karakteristik distribusi kegagalan rantai SSC Unit 2 PLTU PT XYZ mengikuti distribusi *Weibull* dua parameter dengan $\beta = 1,1979$ dan $\eta = 43,4449$ hari. Nilai $\beta > 1$ menunjukkan rantai berada pada fase *wear-out* (keausan), sehingga kegagalan didominasi oleh mekanisme keausan. Tingkat keandalan menurun progresif seiring waktu, yaitu 89,38% pada hari ke-7, 65,80% pada hari ke-21, dan 39,34% pada hari ke-41, dengan MTTF sebesar 40,89 hari yang berdekatan dengan rata-rata TTF empiris (40,78 hari).

Interval *preventive maintenance* yang paling optimal adalah setiap 21 hari (tiga minggu) pada target keandalan 65%. Penerapan interval ini meningkatkan keandalan saat perawatan dari 39,34% menjadi 65,80% (+26,46%), sehingga dapat menurunkan probabilitas kegagalan mendadak dan mengurangi *downtime* sistem *bottom ash handling* PLTU PT XYZ.

5. SARAN

Bagi perusahaan, disarankan menerapkan jadwal *preventive maintenance* rantai SSC Unit 2 setiap 21 hari agar tingkat keandalan tetap terjaga di atas 65% dan kegagalan mendadak dapat diminimalkan. Selain itu, pencatatan data kegagalan dan perawatan (*Work Order*) perlu dilakukan secara lengkap, konsisten, dan terstruktur agar memudahkan analisis keandalan pada periode berikutnya, serta perlu dipertimbangkan evaluasi material rantai yang lebih tahan terhadap keausan abrasif (*abrasive wear*) guna memperpanjang umur pakai komponen.

Bagi penelitian selanjutnya, disarankan mengembangkan analisis dengan mempertimbangkan aspek biaya perawatan (*maintenance cost*) sehingga interval yang diperoleh tidak hanya optimal dari sisi keandalan tetapi juga ekonomi. Penelitian lanjutan juga dapat menggabungkan distribusi *Weibull* dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) atau *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk memperoleh analisis kegagalan yang lebih komprehensif, serta memperluas objek penelitian pada komponen kritis lain di sistem *bottom ash handling* maupun unit pembangkit lainnya.

REFERENSI

- [1] A. K. James, R. W. Thring, S. Helle, and H. S. Ghuman, "Ash management review—Applications of biomass bottom ash," *Energies*, vol. 5, pp. 3856–3873, 2012, doi: 10.3390/en5103856.
- [2] H. A. Nicola, E. Ridwan, and G. Ramdhan, "Analisa keandalan chain submerged scraper conveyor pada PLTU menggunakan metode RCM di PT. ABC," pp. 1529–1537, 2022.
- [3] H. Wibowo, A. Sidiq, and Ariyanto, "Penjadwalan perawatan komponen kritis dengan pendekatan reliability centered maintenance (RCM) pada perusahaan karet," *J. Ilmiah Teknik Industri*, vol. 6, no. 2, pp. 79–87, 2018.
- [4] M. Aslam, M. Safari, N. Masseran, M. H. A. Majid, R. R. Ridzuan, and M. Tajuddin, "Robust estimation of the three parameter Weibull distribution for addressing outliers in reliability analysis," pp. 1–14, 2025.
- [5] F. Zabihian, *Power Plant Engineering*, 1st ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2021.
- [6] M. Onifade, A. Ismail, S. Oluwaseyi, and M. Khandelwal, "Predictive modelling for coal abrasive index: Unveiling influential factors through shallow and deep neural networks," *Fuel*, vol. 374, p. 132319, 2024, doi: 10.1016/j.fuel.2024.132319.
- [7] K. M. Ismail, N. I. Suwono, U. Al Qorni, A. R. P. Iswanto, N. M. S. Friskiana, and Y. A. Kapisa, "Kerusakan roller pada conveyor kedatangan," *J. Teknik Mekanikal Bandar Udara*, vol. 1, no. 3, pp. 152–157, 2023.
- [8] A. Sihotang, M. Nurbanasar, Abdurrachim, M. P. N. Sirod, and S. H. Mahaputra, "Metallurgical analysis of fatigue failure in submerge chain conveyor," *Int. J. Eng. Res. Technol. (IJERT)*, vol. 11, no. 1, pp. 1–18, 2020.
- [9] I. A. Tamba, A. S. Margana, and B. Y. Prasetyo, "Analisis manajemen perawatan menggunakan perhitungan distribusi Weibull dan metode FMEA pada AC package di gerbong PT. KCI Juanda," pp. 235–241, 2023.
- [10] I. Mujiarto, E. I. Asmoro, and Kundori, "Pengukuran laju kerusakan dengan mengindikasikan nilai MTBF dalam manajemen perawatan mesin pada PT. AIC," *J. Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika (JTMEI)*, vol. 1, no. 3, 2022.
- [11] G. D. Haryadi, G. E. Siburian, and N. Iskandar, "Metode perhitungan critical component lifetime prediction dan keandalan menggunakan Weibull pada coal hauler truck," *TRAKSI: Majalah Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 20, no. 1, pp. 24–44, 2020.
- [12] F. Yang, H. Ren, and Z. Hu, "Maximum likelihood estimation for three-parameter Weibull distribution using evolutionary strategy," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/6281781.
- [13] A. Subhan, H. N. Firmansyah, and H. Yudiono, "Analisis keandalan mesin CBF64S berdasarkan metode Weibull dan penentuan akar permasalahan menggunakan fault tree analysis," *Angkasa J. Ilmiah Bidang Teknologi*, vol. 17, no. 2, pp. 214–224, 2025, doi: 10.28989/angkasa.v17i2.2978.
- [14] S. D. Mutiara, A. Rahman, and I. Hamdala, "Perencanaan preventive maintenance komponen cane cutter I dengan pendekatan age replacement," pp. 396–405, 2021.
- [15] I. Pamungkas, H. T. Irawan, and T. M. A. Pandria, "Implementasi preventive maintenance untuk meningkatkan keandalan pada komponen kritis boiler di pembangkit listrik tenaga uap," *VOCATECH*, vol. 2, no. 2, pp. 73–79, 2021, doi: 10.38038/vocatech.v2i2.53.
- [16] Risna and M. Lutfi, "Analisa perawatan berbasis keandalan pada sistem bahan bakar mesin utama kapal motor penyeberangan Bontoharu," vol. 5, no. 1, 2019.