

Penerapan Metode *Weibull* pada Penentuan Umur dan Keandalan *Ripper Tip Bulldozer* Caterpillar Tipe D10T

Fadhilah Akmal Rofiq Arifin¹, Braam Delfian Prihadianto^{2*}, Sugiyanto³,
Irfan Bahiuddin⁴

^{1,2*,3,4} Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

*Email: braam.delfian@ugm.ac.id

Abstract

Ripper tip is one of the hard steel-based components on heavy equipment with a function to protect the ripper tip when breaking the density of soil and rock material (ripping). Friction between rock surfaces and ripper tips results in wear on ripper tips that require periodic replacement. Caterpillar D10T bulldozer owned by PT. XYZ underwent replacement ripper tip components that did not match the recommended age. This study aims to improve the accuracy of replacement planning and analyze the reliability level of ripper tip components. This study used the Weibull distribution method in analyzing the data. The data used is data on ordering and replacing ripper tip components from 2019 to 2021. The object of research was carried out on three units of Caterpillar D10T bulldozers used by PT. XYZ in an open pit mining project in Batu lacin District, Tanah Bumbu Regency, South Kalimantan Province. This study shows that the average age of components in the three research objects has differences from the average life of ripper tip components on bulldozers A, B, and C is 369.75 hours, 329.63 hours, and 291.39 hours. The reliability of ripper tip components on the three bulldozers showed a decrease with the increase in operating time while the failure rate of the ripper tip components of the three bulldozers showed an increase with the increased operating time.

Keywords: Lifetime prediction, reliability, bulldozer, ripper tip, weibull

Abstrak

Ripper tip merupakan salah satu komponen berbahan dasar logam baja yang keras pada alat berat dengan fungsi untuk melindungi ujung ripper ketika memecah kepadatan material tanah dan batuan (ripping). Gesekan antar permukaan batuan dan ripper tip mengakibatkan keausan pada ripper tip sehingga memerlukan penggantian secara berkala. Bulldozer Caterpillar D10T milik PT. XYZ mengalami penggantian komponen ripper tip yang tidak sesuai dengan umur yang telah direkomendasikan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan ketepatan perencanaan penggantian dan menganalisis tingkat keandalan komponen ripper tip. Penelitian ini menggunakan metode distribusi Weibull dalam menganalisis data. Data yang digunakan merupakan data pemesanan dan penggantian komponen ripper tip dari tahun 2019 hingga 2021. Objek penelitian dilakukan terhadap tiga unit bulldozer Caterpillar D10T yang digunakan oleh PT. XYZ dalam proyek pertambangan terbuka di Kecamatan Batulicin Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan. Penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata umur komponen pada ketiga objek penelitian memiliki perbedaan dengan nilai rata-rata umur komponen ripper tip pada bulldozer A, B, dan C yaitu 369.75 jam, 329.63 jam, dan 291.39 jam. Tingkat keandalan komponen ripper tip pada ketiga bulldozer menunjukkan penurunan seiring bertambahnya waktu pengoperasian sedangkan failure rate (tingkat kegagalan) komponen ripper tip dari ketiga bulldozer menunjukkan peningkatan seiring waktu pengoperasian yang bertambah.

Kata kunci: Prediksi umur, keandalan, bulldozer, ripper tip, weibull

1. Pendahuluan

Pertambangan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memperoleh sumber energi dengan cara mengekstraksi bahan galian dari dalam kulit bumi. Salah satu bahan galian hasil pertambangan yaitu batubara. Batubara dapat ditemukan di segala penjuru dunia dengan kuantitas yang besar. Terdapat dua jenis pertambangan batubara yaitu penambangan pada permukaan atau terbuka (*surface or open pit*) dan penambangan pada bawah tanah (*underground*) [1].

Pada kegiatan pertambangan batubara, terdapat beberapa tahapan yang dilakukan diantaranya pembersihan lahan (*land clearing*), pengelolaan *top soil* serta pengupasan *overburden*, penggalian serta pemuatan, pengangkutan (*hauling*), pemrosesan, dan berakhir dengan reklamasi lahan bekas tambang [2].

Pengupasan *overburden* pada material batuan dapat dilakukan dengan kegiatan *ripping* oleh *bulldozer* dalam memecah kepadatan material batuan. Kegiatan *ripping* ialah upaya penguraian massa batuan secara mekanis dengan prinsip kerja dengan menancapkan gigi *ripper* pada material batuan untuk memecahkannya pada kedalaman tertentu [3].

Dalam melakukan kegiatan *ripping* pertambangan, PT. XYZ menggunakan *bulldozer* Caterpillar D10T. Pada tahun 2018 hingga 2021, satu unit *bulldozer* Caterpillar D10T milik PT. XYZ dapat mengalami penggantian komponen *ripper tip* sebanyak 44 kali dan mengalami 10 kali kevakuman stok *spare part*. Pengalokasian *spare part* yang berlebih dapat menimbulkan biaya inventarisasi yang tidak diperlukan [4], [5]. Sedangkan kekurangan *spare part* dapat berdampak pada terganggunya sistem, berkurangnya jam operasional, serta kerugian dalam produksi [6]. Umur komponen *ripper tip* yang direkomendasikan perusahaan yaitu 400 jam sedangkan data penggantian komponen menunjukkan komponen *ripper tip* mengalami penggantian yang tidak sesuai dengan umur yang telah direkomendasikan.

Beberapa kajian terdahulu yang pernah dilakukan untuk memprediksi umur dan tingkat keandalan komponen kritis dilakukan pada *coal hauler truck* menghasilkan metode

weibull dapat memberikan hasil analisis dari pola data yang terbentuk. Penelitian ini menghasilkan komponen kritis yaitu *coupling cone* yang memiliki nilai MTTF 9553 Jam dengan tingkat keandalan 53% [7].

Kajian lain terkait kegagalan *dan life time* komponen dilakukan pada unit *centrifugal pump* menunjukkan metode *weibull* dapat menentukan tingkat kegagalan dari pola data yang terbentuk. Penelitian ini menghasilkan tingkat kegagalan pada 3 komponen kritis yaitu *mechanical seal, bearing, shaft* [8].

Permasalahan yang dihadapi oleh PT. XYZ pada kegiatan *ripping* dalam proyek pertambangan terbuka di Kecamatan Batulicin Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan adalah tingginya angka penggantian komponen *ripper tip* dan kekosongan stok komponen yang menyebabkan terganggunya proses produksi. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi *lifetime* komponen serta menganalisis tingkat keandalan komponen *ripper tip* berdasarkan data riwayat penggantian dan pemesanan dengan metode distribusi *weibull*.

2. Metode Penelitian

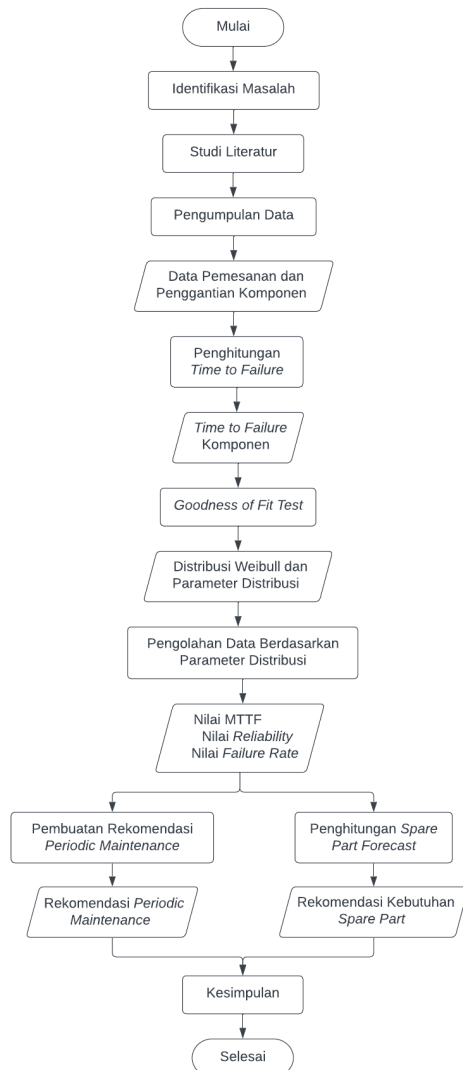
2.1. Objek Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pemesanan dan penggantian komponen *ripper tip bulldozer* Caterpillar D10T dengan *part number* 4T4502 yang digunakan pada tiga *bulldozer* Caterpillar D10T milik PT. XYZ. Area operasi *bulldozer* Caterpillar D10T milik PT. XYZ berada pada area tambang terbuka di Kecamatan Batulicin Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan.

2.2. Alur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan pengumpulan data penelitian yaitu data pemesanan dan penggantian komponen *ripper tip bulldozer* Caterpillar D10T. Data yang dikumpulkan yaitu data dari tahun 2019 hingga tahun 2021. Data yang diperoleh masih berupa data mentah (*raw data*). Maka dari itu data dibersihkan (*cleaning*) dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel. Data yang telah dibersihkan selanjutnya dikelompokkan berdasarkan unit dan komponen *ripper tip* serta diurutkan berdasarkan *service meter unit* (SMU) untuk

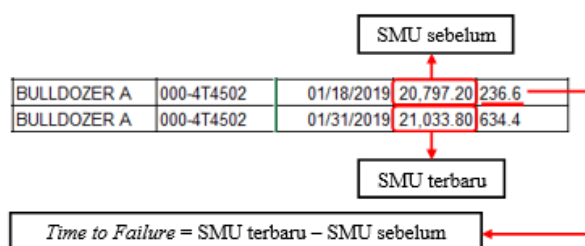
menentukan *time to failure* (TTF) komponen *ripper tip*. Alur penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.3. Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak Minitab 19. Data yang diolah yaitu TTF *ripper tip* berdasarkan data SMU penggantian komponen. Penghitungan TTF dilakukan dengan pengurangan SMU terbaru dengan SMU sebelumnya seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Penghitungan *Time to Failure*

Kemudian dilanjutkan dengan *goodness of fit test* Anderson-Darling dan *maximum likelihood estimation* (MLE) terhadap data TTF komponen *ripper tip*. Hipotesis dari uji Anderson-Darling sebagai berikut:

H_0 : Data mengikuti distribusi *Weibull*

H_1 : Data tidak mengikuti distribusi *Weibull*

Hasil dari *goodness of fit test* Anderson-Darling yaitu nilai AD dan P-Value. Distribusi dengan nilai AD terkecil dan nilai P-Value terbesar menunjukkan kecenderungan data mengikuti suatu distribusi sesuai hipotesis [8].

Distribusi *Weibull* yang terpilih kemudian dijadikan sebagai dasar penghitungan *mean time to failure*, *reliability*, *failure rate*, dan *spare part forecast* komponen *ripper tip* yang dirumuskan secara berurutan sebagai berikut:

1. Mean Time to Failure

Mean time to failure (MTTF) merupakan rata-rata umur hidup dari sebuah sistem atau komponen yang tidak dapat diperbaiki (*unrepairable*) dan sering digunakan untuk menentukan reliabilitas [9].

$$MTTF = \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

η = Parameter Skala

β = Parameter Bentuk

Γ = Fungsi Gamma

2. Fungsi Reliability

Reliability didefinisikan sebagai probabilitas benda dapat melakukan fungsi yang dibutuhkan di bawah keadaan yang telah ditentukan [10].

$$R(t) = \exp \left(-\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}$$

$R(t)$ = Reliability

t = Waktu

e = Bilangan Euler (2.71828...)

3. Failure Rate

Failure rate adalah probabilitas suatu komponen tidak bisa memenuhi fungsi yang telah ditentukan dalam kondisi tertentu [11].

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

$\lambda(t)$ = failure rate

4. Spare Part Forecast

Spare part forecasting merupakan kegiatan peramalan kebutuhan *spare part* di masa depan. Tingkat *spare part* yang diprediksi akan mengalami kegagalan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$n = \frac{4\sqrt{2}t^{\frac{\beta}{2}}}{\eta} \exp\left(-\frac{t^{\beta}}{\eta^2}\right)$$

n = Tingkat *predicted spare part failure*

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^{\beta}}{\eta^2}\right)$$

$F(t)$ = Cumulative Distribution Function (CDF)

Jumlah *spare part* yang dibutuhkan untuk berada dalam ruang penyimpanan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$q = \frac{F(t)}{n}$$

q = jumlah *storage spare part*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Goodness of Fit Test dan Estimasi Parameter

Dari perhitungan didapatkan nilai *P-Value* hasil *goodness of fit test ripper tip bulldozer* A, B, dan C dengan *part number* 4T4502. Sedangkan nilai *P-Value* distribusi *weibull ripper tip bulldozer* A sebesar 0.219 serta *ripper tip bulldozer* B dan C memiliki nilai >0.250 . Sedangkan nilai *P-Value* distribusi normal *ripper tip bulldozer* A dan C sebesar <0.005 serta *ripper tip bulldozer* B bernilai 0.049. Nilai *P-Value* hasil *goodness of fit test ripper tip bulldozer* tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. *P-Value* Hasil *Goodness of Fit Test*

No	Unit	P-Value	
		Weibull	Normal
1	A	0.219	<0.005
2	B	>0.250	0.049
3	C	>0.250	<0.005

Tabel 2. Nilai AD Hasil *Goodness of Fit Test*

No	Unit	Nilai AD	
		Weibull	Normal
1	A	0.485	1.741
2	B	0.138	0.730
3	C	0.730	1.243

Pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai AD hasil *goodness of fit test* distribusi *weibull ripper tip bulldozer* A, B, dan C berurutan yaitu 0.485, 0.138, dan 0.290 sedangkan nilai AD distribusi normal 1.741, 0.730, dan 1.243. Hasil *goodness of fit test* menampilkan nilai *P-Value* distribusi *Weibull ripper tip bulldozer* A, B, dan C lebih besar dibandingkan nilai *P-Value* distribusi normal dan nilai AD distribusi *weibull* ketiga *bulldozer* lebih kecil dibandingkan nilai AD distribusi normal. Berdasarkan hasil *goodness of fit test*, dapat disimpulkan bahwa data TTF *ripper tip bulldozer* A, B, dan C mengikuti distribusi Weibull yang memiliki nilai *P-Value* lebih besar dan nilai AD lebih kecil.

Nilai hasil *maximum likelihood estimation* (MLE) Minitab 19 memberikan parameter distribusi *weibull* dengan dua parameter distribusi yaitu parameter bentuk (*shape parameter*) dan parameter skala (*scale parameter*). Parameter bentuk *ripper tip bulldozer* A, B, dan C secara berurutan yaitu 1.114, 1.123, dan 1.235 sedangkan parameter skala secara berurutan 385.919, 342.958, dan 312.716. Nilai hasil *maximum likelihood estimation* selengkapnya terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil *Maximum Likelihood Estimation*

No	Unit	Distribusi Weibull	
		Parameter Bentuk	Parameter Skala
1	A	1.114	385.919
2	B	1.123	342.958
3	C	1.235	312.716

Nilai parameter bentuk mempengaruhi kemiringan garis pada plot *probability density function* (PDF) sedangkan nilai parameter skala mempengaruhi peregangan keluar pada kurva yang terbentuk dari plot PDF [12].

3.2. Mean Time to Failure

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai *mean time to failure* (MTTF) *ripper tip bulldozer* A, B, dan C secara berurutan yaitu 369.753, 329.633, dan 291.390. Nilai MTTF komponen *ripper tip* dari ketiga unit *bulldozer* yang tersaji pada Tabel 4 menunjukkan nilai yang tidak sama. Berdasarkan keterangan pada data pemesanan dan penggantian *ripper tip* menunjukkan

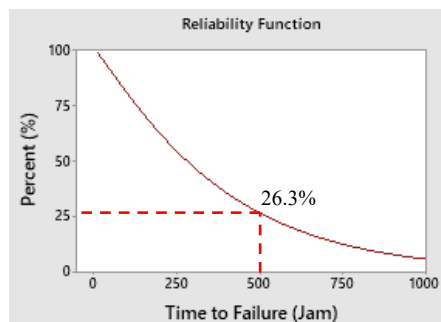
penggantian komponen dilakukan karena *ripper tip* mengalami *worn out* (aus).

Tabel 4. Nilai *Mean Time to Failure*

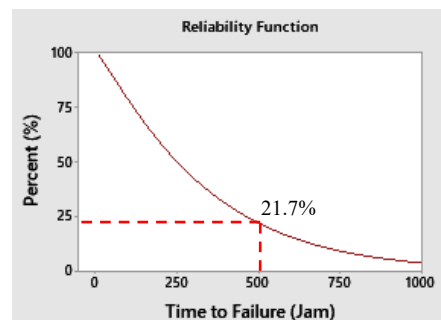
No	Unit	Part Number	MTTF (Jam)
1	A	4T4502	369.753
2	B	4T4502	329.633
3	C	4T4502	291.390

Laju keausan *ripper tip* dapat berbeda berdasarkan karakteristik material batuan yang dilakukan kegiatan *ripping*. Perbedaan karakteristik material batuan dapat mempengaruhi laju keausan *ripper tip* sehingga berdampak pada umur komponen *ripper tip* [13].

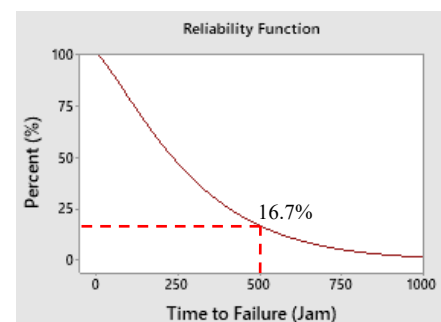
3.3. Nilai Reliability



Gambar 3. Reliability Ripper Tip Bulldozer A



Gambar 4. Reliability Ripper Tip Bulldozer B



Gambar 5. Reliability Ripper Tip Bulldozer C

Grafik *reliability ripper tip* bulldozer A, B, dan C ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5 secara berurutan. Grafik persentase *reliability* komponen *ripper tip* mengalami penurunan seiring bertambahnya

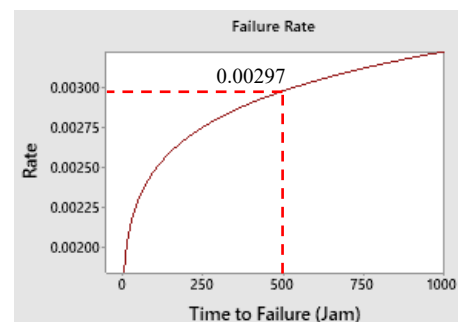
waktu. Hasil penghitungan persentase *reliability* komponen *ripper tip bulldozer* A, B, dan C pada *mean time to failure* secara berurutan yaitu 38.5%, 38.4%, dan 39.9%.

Pada TTF sama dengan 500 jam didapatkan hasil persentase *reliability ripper tip bulldozer* A sebesar 26.3%, *ripper tip bulldozer* B sebesar 21.7%, dan *ripper tip bulldozer* C sebesar 16.7%. Dalam waktu yang sama, *ripper tip bulldozer* C memiliki persentase *reliability* terendah yaitu 16.7% sedangkan persentase *reliability* tertinggi yaitu 26.3% dimiliki oleh *ripper tip bulldozer* A.

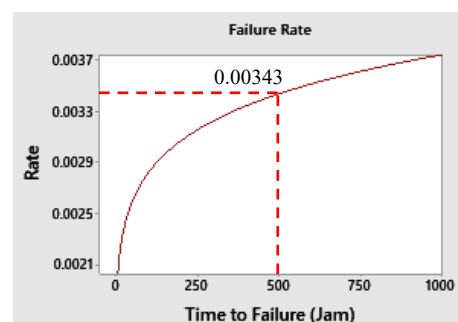
Reliability sistem utamanya bergantung pada pembuatan barang tanpa cacat, praktik manajerial yang lebih baik, keterampilan operator dan kru pemeliharaan, kontrol inventaris suku cadang dan kondisi lingkungan kerja, dll. Kegagalan yang sering terjadi serta kesenjangan antara kegagalan berturut-turut dapat menyebabkan penurunan tingkat persentase *reliability* [14].

3.4. Failure Rate

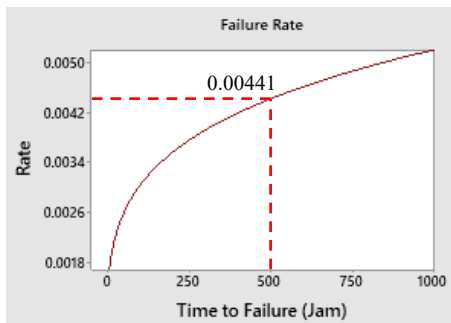
Pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 menunjukkan grafik *failure rate ripper tip bulldozer* A, B, dan C secara berurutan. Pada waktu sama dengan 500 jam, *failure rate ripper tip bulldozer* A, B, dan C yaitu 0.00297, 0.00343, dan 0.00441.



Gambar 6. Failure Rate Ripper Tip Bulldozer A



Gambar 7. Failure Rate Ripper Tip Bulldozer B



Gambar 8. Failure Rate Ripper Tip Bulldozer C

Ripper tip bulldozer C memiliki failure rate tertinggi sebesar 0.00441 pada waktu sama dengan 500 jam serta ripper tip bulldozer A memiliki failure rate terendah sebesar 0.00297. Failure rate ketiga bulldozer menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu.

Peningkatan failure rate seiring dengan bertambahnya waktu berkaitan dengan kegagalan yang disebabkan oleh kerusakan (*deterioration*), penuaan, dan lainnya [15]. Berdasarkan keterangan penggantian komponen ripper tip, penggantian komponen dilatarbelakangi oleh *worn out* (keausan) yang dapat disimpulkan menjadi penyebab peningkatan failure rate.

3.5. Rekomendasi Periodic Maintenance

Periodic maintenance merupakan dasar dari sebuah sistem perawatan yang terdiri dari beberapa tahapan yang teratur serta terjadwal (*scheduled*). Maintenance ini ditetapkan sebelumnya sebagai langkah pencegahan terhadap kegagalan.

Penelitian ini menggunakan distribusi terpilih yaitu distribusi *weibull* dengan nilai MTTF ripper tip bulldozer A, B, dan C secara berurutan yaitu 369.753, 329.633, dan 291.390. Lifetime komponen ripper tip yang direkomendasikan sebelumnya yaitu 400 *hour meter* (HM). Sedangkan data historis komponen ripper tip menunjukkan rata-rata umur komponen ripper tip bulldozer A, B, dan C memiliki masa pakai lebih cepat dari umur yang direkomendasikan (<400 HM).

Tabel 5. Rekomendasi Periodic Maintenance

No	Unit	MTTF (Jam)	Rekomendasi Periodic Maintenance (HM)		
			250	300	350
1	A	369.753			v
2	B	329.633		v	
3	C	291.390	v		

Pada Tabel 5 ditampilkan rekomendasi *periodic maintenance* yang disusun sebelum komponen mengalami kerusakan atau kegagalan (*before failure*) berdasarkan MTTF. Rekomendasi *periodic maintenance ripper tip bulldozer A* pada 350 HM, *ripper tip bulldozer B* pada 300 HM, dan *ripper tip bulldozer C* pada 250 HM.

3.6. Spare Part Forecast

Terkait dengan keausan komponen ripper tip yang memerlukan komponen pengganti, maka dibutuhkan prediksi dan persediaan komponen supaya unit dapat memiliki nilai produktivitas yang tinggi. Pada Tabel 6 terlihat bahwa tingkat spare part ripper tip bulldozer A, B, dan C yang diperkirakan akan mengalami kegagalan secara berurutan yaitu 0.082, 0.093, dan 0.120. Tingkat spare part ripper tip yang diprediksi mengalami kegagalan pada bulldozer A, B, dan C memiliki peningkatan seiring bertambahnya waktu pengoperasian.

Tabel 6. Predicted Spare Part Failure

No	Unit	Asumsi Waktu (Jam)	Predicted Spare Part Failure
1	A	500	0.082
2	B	500	0.093
3	C	500	0.120

Ripper tip bulldozer C memiliki tingkat spare part yang diprediksi mengalami kegagalan tertinggi sebesar 0.120 sedangkan ripper tip bulldozer A memiliki tingkat spare part diprediksi mengalami kegagalan terendah sebesar 0.082.

Tabel 7. Total Storage Spare Part

No	Unit	Asumsi Waktu (Jam)	Total Storage Spare Part (Pcs)
1	A	500	9
2	B	500	9
3	C	500	7

Hasil penghitungan jumlah spare part yang dibutuhkan berada di penyimpanan (*storage spare part*) komponen ripper tip bulldozer A, B, dan C secara berurutan yaitu 8.95, 8.36, dan 6.90.

Dengan asumsi waktu operasi selama 500 Jam, total spare storage spare part bulldozer A dan B membutuhkan 9 buah spare part

untuk berada di penyimpanan sedangkan *bulldozer C* membutuhkan 7 buah *spare part* seperti tersaji pada Tabel 7.

Terdapat perbedaan antara jumlah *storage spare part ripper tip bulldozer C* terhadap *bulldozer A* dan *B*. Hal tersebut disebabkan oleh parameter bentuk dan parameter skala yang memiliki nilai yang tidak sama sehingga memberikan hasil penghitungan yang berbeda.

4. Kesimpulan

Hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan *life time* rata-rata komponen *ripper tip* pada unit *bulldozer* Caterpillar D10T adalah 330,268 jam jauh dibawah nilai *life time* rekomendasi perusahaan yaitu 400 jam. Tingkat keandalan komponen *ripper tip* pada ketiga *bulldozer* menunjukkan penurunan seiring bertambahnya waktu pengoperasian, sedangkan *failure rate* (tingkat kegagalan) komponen *ripper tip* dari ketiga *bulldozer* menunjukkan peningkatan.

5. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat bermanfaat bagi penelitian selanjutnya yaitu dibutuhkan data riwayat unit yang lengkap dan tepat Selain itu diperlukan analisa metode *ripping* dan *operator behavior* untuk meningkatkan tingkat keakuratan analisa terhadap umur komponen serta diperlukan analisa terhadap *reliability* dan *failure rate* komponen yang berhubungan secara langsung dengan komponen *ripper tip* untuk mengetahui korelasi dampak yang diterima oleh komponen lain.

6. Daftar Pustaka

- [1] M. F. Ullah *et al.*, "Coal mining trends, approaches, and safety hazards: a brief review," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 11, no. 21, p. 651, Nov. 2018, doi: 10.1007/s12517-018-3977-5.
- [2] R. Juniah, "Study of Carbon Value of the Allotment of Former Coal Mining Land of PT Samantaka Batubara for Sustainable Mining Environment," *J Sustain Dev*, vol. 11, no. 4, p. 213, Jul. 2018, doi: 10.5539/jsd.v11n4p213.
- [3] Sujiman, "Evaluation of Ripper Productivity (Caterpillar D8R) Based on Strengthness of Rock at PT Kitadin Embalut Site Tenggara Subdistrict Kutai Kartanegara East Kalimantan Province," *International Journal Of Accounting, Finance, And Economics*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2018.
- [4] J. Wang and X. Zhu, "Joint optimization of condition-based maintenance and inventory control for a k-out-of-n:F system of multi-state degrading components," *Eur J Oper Res*, vol. 290, no. 2, pp. 514–529, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.ejor.2020.08.016.
- [5] M. Zheng, H. Ye, D. Wang, and E. Pan, "Joint Optimization of Condition-Based Maintenance and Spare Parts Orders for Multi-Unit Systems with Dual Sourcing," *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 210, p. 107512, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.ress.2021.107512.
- [6] R. Wang and G. Chen, "Spare Parts Stocking Decision Strategy and Service Logistics Cost Optimization of Two-Echelon Service Logistics System considering Multifailure Mode," *Comput Intell Neurosci*, vol. 2022, pp. 1–12, Mar. 2022, doi: 10.1155/2022/7607985.
- [7] G. D. Haryadi, G. E. Siburian, N. Iskandar, and R. J. Pribadi, "Metode Perhitungan Critical Component Lifetime Prediction Dan Keandalan Dengan Menggunakan *weibull* Pada Coal Hauler Truck," *TRAKSI: Majalah Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 20, no. 1, pp. 24–44, 2020.
- [8] G. D. Haryadi, A. Suprihanto, M. Butarbutar, and J. H. Soedarto, "Perhitungan Lifetime Prediction pada Komponen Kritis Centrifugal Pump Menggunakan Metode *Weibull*," *ROTASI*, vol. 23, no. 3, pp. 1–8, 2021.
- [9] L. Opyrchał, "Is Mean Time to Failure (MTTF) Equal to Mean Time of Life for Unrepairable Systems?," *Journal of KONBiN*, vol. 51, no. 1, pp. 255–264, Mar. 2021, doi: 10.2478/jok-2021-0017.
- [10] T. N. Sindhu and A. Atangana, "Reliability analysis incorporating

- exponentiated inverse *weibull* distribution and inverse power law,” *Qual Reliab Eng Int*, vol. 37, no. 6, pp. 2399–2422, Oct. 2021, doi: 10.1002/qre.2864.
- [11] L. Guo, Y. Liu, W. Zhang, P. Liu, T. Wang, and Q. Wu, “Research on Equipment RCM Maintenance Strategy Based on Importance Assessment and Online Fault Monitoring,” in *2022 Asia Power and Electrical Technology Conference (APET)*, IEEE, Nov. 2022, pp. 269–273. doi: 10.1109/APET56294.2022.10073244.
- [12] L. G. Otaia, “Distribusi Probabilitas Weibull Dan Aplikasinya (Pada Persoalan Keandalan (Reliability) Dan Analisis Rawatan (Mantainability),” *Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, vol. 4, no. 2, pp. 44–66, 2016.
- [13] R. Pebrianto, M. Asof, B. K. Susilo, and N. Gofar, “Evaluation of Factors Affecting Ripping Productivity in Open Pit Mining Excavation,” *EJGE*, vol. Vol. 19, pp. 10447–10456, 2014.
- [14] L. Ait El Maalem, M. E. H. Ech-Chhibat, Z. Znaidi, and A. Bahani, “Reliability study of welding robots,” in *2023 3rd International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)*, IEEE, May 2023, pp. 1–6. doi:10.1109/IRASET57153.2023.10152972.
- [15] J. Galliková, V. Stuchlý, R. Poprocký, and P. Volna, “Model calculations of posterior reliability indicators for the proposal of the maintenance system,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 157, p. 08003, Mar. 2018, doi: 10.1051/mateconf/201815708003.