

**TESIS**

**ANALISIS MAINTENANCE OPTIMIZATION PADA**

**KOMPONEN ALAT BERAT DI SEKTOR**

**PERTAMBANGAN**



**INDRA ANSYARI**

**18916117**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK INDUSTRI**

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**YOGYAKARTA**

**2023**

## **Pernyataan Keaslian Tulisan**

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini merupakan tulisan asli dari penulis, dan tidak berisi material yang telah diterbitkan sebelumnya atau tulisan dari penulis lain terkecuali referensi atas material tersebut telah disebutkan dalam tesis. Apabila ada kontribusi dari penulis lain dalam tesis ini, maka penulis lain tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam tesis ini.

Dengan ini saya juga menyatakan bahwa segala kontribusi dari pihak lain terhadap tesis ini, termasuk bantuan analisis statistik, desain survei, analisis data, prosedur teknis yang bersifat signifikan, dan segala bentuk aktivitas penelitian yang dipergunakan atau dilaporkan dalam tesis ini telah secara eksplisit disebutkan dalam tesis ini.

Segala bentuk hak cipta yang terdapat dalam material dokumen tesis ini berada dalam kepemilikan pemilik hak cipta masing-masing. Apabila dibutuhkan, penulis juga telah mendapatkan izin dari pemilik hak cipta untuk menggunakan ulang materialnya dalam tesis ini.

Yogyakarta, 14 Februari 2023



Indra Ansyari

**ANALISIS MAINTENANCE OPTIMIZATION PADA  
KOMPONEN ALAT BERAT DI SEKTOR  
PERTAMBANGAN**

**Tesis untuk memperoleh Gelar Magister pada Program  
Studi Teknik Industri Program Magister  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam  
Indonesia**

**INDRA ANSYARI  
18916117**

**PROGRAM STUDI TEKNIK  
INDUSTRI PROGRAM MAGISTER  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA**

**2023**

# LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

## ANALISIS MAINTENANCE OPTIMIZATION PADA KOMPONEN ALAT BERAT DI SEKTOR PERTAMBANGAN

Tesis telah disetujui pada tanggal

Jumat, 10 Februari 2023

Pembimbing



**Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D**

**NIP. 015220101**

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Magister

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



**Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D**

**NIP. 025200519**

# LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

## ANALISIS MAINTENANCE OPTIMIZATION PADA KOMPONEN ALAT BERAT DI SEKTOR PERTAMBANGAN

**INDRA ANSYARI**

**18916117**

Tesis Telah Diuji dan Dinilai Oleh Panitia Penguji  
Program Studi Teknik Industri Program Magister  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia  
Pada Tanggal 10 Februari 2023

**Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D**

Ketua

**Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M**

Anggota I

**Dr. Dwi Handayani, S.T., M.Sc**

Anggota II



Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Magister  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia



**Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D**

**NIP. 025200519**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Penelitian ini saya persembahkan kepada  
Seluruh pelaku di bidang alat berat dunia pertambangan  
Semoga bermanfaat,

Untuk teman-teman yang masih menempuh bangku kuliah  
Di Universitas yang kita cintai  
Semoga bisa menginspirasi,

Untuk istriku yg tak terkira lagi ketulusan, kelembutan dan cinta kasihmu  
Terima kasih atas segala cahaya, kekuatan, kesabaran serta keikhlasan  
Yang kau panjatkan untuk kita dunia akhirat,

Untuk kedua orang tuaku & adik-adikku  
Terima kasih atas doa-doa, kasih sayang dan spiritnya  
Semoga dengan segala kebaikan yang kuperbuat akan menjadi ladang  
pahala untuk kalian,

Teman-teman sejawat 091 cabang jogja yang menjadi sumber ilmuku  
Teman-teman MTI 25 terkhusus Kosentrasi Teknik Industri terima kasih  
atas segala kebaikan dan keceriaannya.

Sekali lagi Terima Kasih.

## HALAMAN MOTTO

*“There is no wealth like knowledge, no poverty like ignorance”*

“Tidak ada kekayaan yang sebanding dengan ilmu, tidak ada kemiskinan yang sebanding dengan kebodohan”

**Ali bin Abi Thalib**

“Kau menyadarkan aku

Kita bukan makhluk sempurna mendekatipun tidak

Tanpa kau melengkapi”

**“Beruntungnya Aku” by Sheila On 7**

## KATA PENGANTAR

**Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh**

*Alhamdulillahirrobbil'aalamiin*, Segala puji serta rasa penuh kesyukuran penulis junjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan berkah kesehatan, rahmat dan hidayah-Nya. Sehingga pelaksanaan pengambilan data sekaligus penyusunan laporan tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Serta tidak lupa menghaturkan shalawat serta salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW dan para sahabatnya yang telah membawa kita dari alam gelap gulita menuju alam yang terang benderang. Alhamdulillah atas izin-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tesis yang berjudul **“ANALISIS MAINTENANCE OPTIMIZATION PADA KOMPONEN ALAT BERAT DI SEKTOR PERTAMBANGAN”**.

Laporan tesis ini disusun sebagai salah satu syarat guna memperoleh Gelar Magister pada Program Studi Teknik Industri, Program Magister Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Keberhasilan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia,
2. Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri, Program Magister Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia,
3. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, pengetahuan, bimbingan serta arahnya dalam penyusunan laporan Tesis ini,



4. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Industri, Program Magister Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, yang telah banyak memberikan bantuan serta ilmu selama menempuh pendidikan,
5. Kepada istriku tercinta atas ketulusan, kelembutan, kesabaran serta doa-doanya yang menemani di setiap langkah,
6. Kedua orang tuaku dan kedua adikku tercinta atas segala doa, gagasan, spirit dan kasih sayang yang tak henti-hentinya menghujaniku.
7. Teman-teman sejawat, sejiwa, semajelis 091 cabang jogja yang menjadi sumber segala pengetahuanku. Thanks for all.
8. Serta semua pihak yang terlibat dalam membantu penulis menyelesaikan tesis ini dari awal hingga akhir.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini jauh dari kata sempurna, apabila terdapat kekeliruan dalam tesis ini penulis sangat mengharapkan untuk kritik dan Saranya

Yogyakarta, 14 Februari 2023



Indra Ansyari

## ABSTRAK

Perusahaan seperti PT. XYZ yang bergerak dibidang *geological and mining services-contractor* malakukan kegiatan *maintenance* hanya satu bulan sekali, hal ini dilakukan karena perusahaan sulit menentukan waktu terbaik dalam melakukan kegiatan tersebut. Fokus yang menjadi penelitian ini adalah kegiatan *maintenance* alat berat pada perusahaan yang paling sering mengalami *breakdown* yaitu *excavator*. Selama periode April 2022 dari empat puluh lima (45) unit *excavator* yang dimiliki perusahaan, unit tersebut telah mengalami *breakdown* sebanyak 208 kali. Semakin tingginya frekuensi *breakdown* maka semakin tinggi pula biaya dalam melakukan *maintenance*. Untuk itu penelitian ini bertujuan dalam mengetahui kapan interval waktu terbaik dalam melakukan *maintenance* dengan ekspektasi biaya serendah mungkin. Berdasarkan hasil analisis dari 45 unit *excavator*, dapat dilihat bahwa semua kurva dari grafik distribusi Weibull lebih condong miring ke arah kiri. Hal tersebut menunjukkan bahwa semua unit tersebut lebih tepat dan lebih murah diperlakukan sebagai *preventive maintenance*. Analisis ini dibuktikan dengan melihat rata-rata plot yang dicoba dari hari ke 17 hingga hari ke 38. Total *cost* yang paling minimum rata-rata dari 45 unit tersebut berada pada plot hari ke 19 dan 20. Dimana hal ini menunjukkan bahwa total *cost* akan lebih kecil jika *maintenance* dilakukan sebelum hari ke 38.

**Kata kunci:**

*Maintenance Optimization, Distribusi Weibull, Total Cost Maintenance, Excavator*

## ABSTRACT

Companies like PT. XYZ, which is engaged in geological and mining services-contractors, conducts maintenance activities only once a month, this is done because the company finds it difficult to determine the best time to carry out these activities. The focus of this research is heavy equipment maintenance activities in companies that most often experience breakdowns, namely excavators. During the period of April 2022 out of forty-five (45) excavator units owned by the company, the unit has experienced a breakdown of 208 times. The higher the frequency of breakdowns, the higher the costs of carrying out maintenance. For this reason, this study aims to find out when the best time interval in carrying out maintenance with the lowest possible cost expectations. Based on the results of the analysis of 45 excavator units, it can be seen that all the curves of the Weibull distribution chart are more inclined to the left direction. This shows that all these units are more appropriate and cheaper to be treated as preventive maintenance. This analysis was substantiated by looking at the average of the plots tried from day 17 to day 38. The minimum total cost of the average of the 45 units is on the plot of days 19 and 20. Where this shows that the total cost will be smaller if maintenance is carried out before the 38th day.

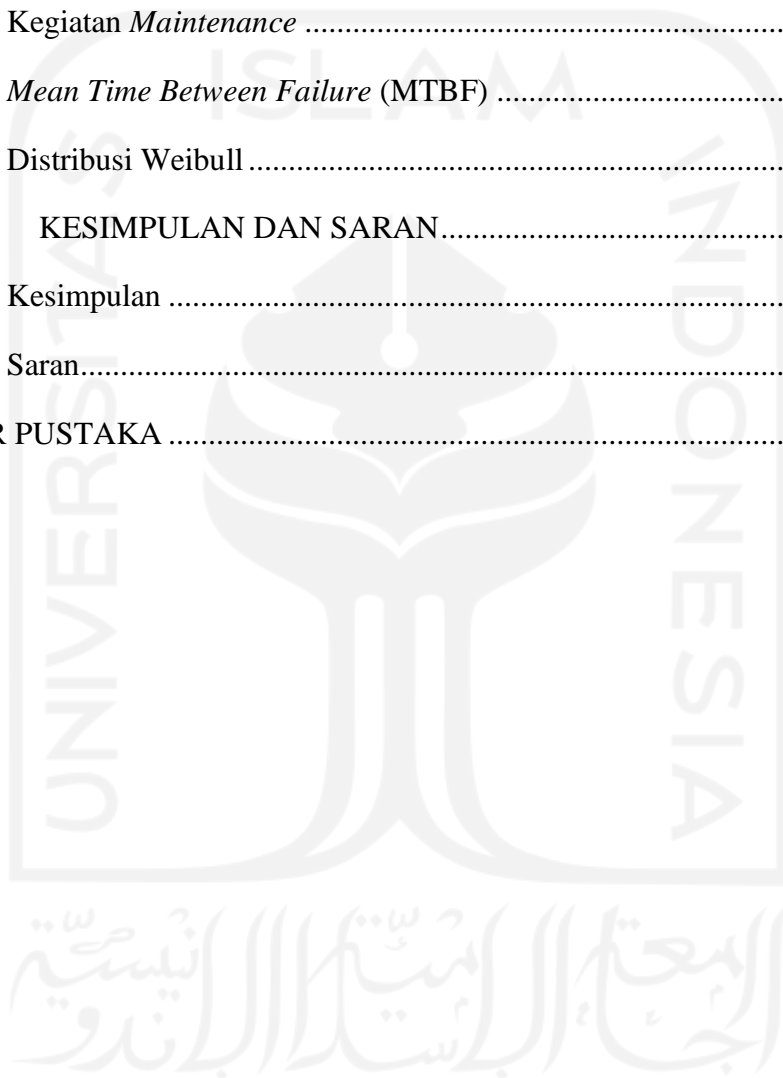
**Keywords:**

Maintenance Optimization, Weibull Distribution, Total Cost Maintenance, Excavator

## Daftar Isi

Daftar Isi .....	i
Daftar Tabel .....	iv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Kajian Induktif (Penelitian Terdahulu) .....	5
2.2 Kajian Deduktif.....	22
II.2.1 <i>Maintenance</i> .....	22
II.2.2 <i>Mean Time Beetwen Failure (MTBF)</i> .....	22
II.2.3 Distribusi Weibull .....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1 Obyek Penelitian .....	25
3.2 Jenis Data .....	25
3.3 Pengumpulan Data .....	26
3.4 Metode Pengolahan Data .....	27
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	30
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>31</b>

4.1	Pengumpulan Data .....	31
4.2	Pengolahan Data .....	67
BAB V	PEMBAHASAN .....	82
5.1	Kegiatan <i>Maintenance</i> .....	82
5.2	<i>Mean Time Between Failure</i> (MTBF) .....	82
5.3	Distribusi Weibull .....	83
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN .....	85
6.1	Kesimpulan .....	85
6.2	Saran .....	86
DAFTAR PUSTAKA	.....	87



## Daftar Gambar

Gambar III.1 Distribusi Weibull ( $\alpha = 1$ ).....	29
Gambar III.2 Diagram Alir Penelitian .....	30
Gambar IV.1 Grafik Minimum Total <i>Cost Maintenance</i> CAT 320 D2-GC 01 .....	71
Gambar IV.2 Grafik Distribusi Weibul Unit CAT 320 D2-GC 01 .....	71
Gambar IV.3 Grafik Minimum Total <i>Cost Maintenance</i> CAT 320 D2-GC 02.....	76
Gambar IV.4 Grafik Distribusi Weibul Unit CAT 320 D2-GC 02.....	76
Gambar IV.5 Grafik Minimum Total <i>Cost Maintenance</i> CAT 320 G C 01 .....	81
Gambar IV.6 Grafik Distribusi Weibul Unit CAT 320 GC 01 .....	81



## Daftar Tabel

Tabel II.1 <i>Literature Review</i> .....	15
Tabel IV.1 Data Hasil Perhitungan MTBF Pada PT. XYZ April 2022 .....	31
Tabel IV.2 Data <i>Preventive Maintenance Cost Excavator</i> April 2022.....	34
Tabel IV.3 Data <i>Corrective Maintenance Excavator</i> April 2022.....	48
Tabel IV.4 Analisis Dist. Weibull Pada Unit CAT 320 D2-GC 01 .....	67
Tabel IV.5 Analisis <i>Maintenance Cost</i> Unit CAT 320 D2-GC 01 .....	70
Tabel IV.6 Analisis Distribusi Weibull Unit CAT 320 D2-GC (02).....	72
Tabel IV.7 Analisis <i>Maintenance Cost</i> Unit CAT 320 D2-GC (02).....	75
Tabel IV.8 Analisis Distribusi Weibull Unit CAT 320 GC (01) .....	77
Tabel IV.9 Analisis <i>Maintenance Cost</i> Unit CAT 320 GC (01).....	80

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kementerian Perindustrian Republik Indonesia mengungkapkan peningkatan penjualan terbesar pada bulan Januari-Agustus 2021 terjadi pada alat berat di sektor pertambangan yang mencapai 206% menjadi 3062 unit, dari 1.001 unit di periode yang sama pada tahun 2020. Hal ini didorong karena situasi harga batubara dan nikel yang masih sangat tinggi, serta meningkatnya jumlah *smelter* nikel yang beroperasi (Kemenperin, 2021). Industri *heavy civil and mining construction* sangat bergantung pada penggunaan alat berat. Mengelola kendaraan alat berat dengan biaya yang kecil adalah kunci dari *profitability* untuk jangka panjang (Liu et al., 2020). Industri pertambangan sangat membutuhkan peralatan yang besar dan mahal. Diketahui biaya transportasi tambang membutuhkan 50%-60% dari total biaya operasional (Chaowasakoo et al., 2017).

Masa pakai kendaraan alat berat sangat dipengaruhi oleh cara penggunaannya, serta informasi dalam penggunaannya sangat penting untuk memprediksi kondisi alat berat tersebut di masa depan (Jakobsson et al., 2020). Salah satu mesin utama dalam pemindah tanah adalah *excavator*. Alat berat tersebut sering bekerja di bawah kondisi berbahaya seperti tambang terbuka dan tambang kimia beracun (Eraliev et al., 2022). Armada besar kendaraan industri sangat memerlukan kegiatan perawatan secara rutin dan berkala untuk mencapai kondisi yang optimal (Markudova et al., 2021). Kegiatan *maintenance* harus direncanakan sedemikian rupa agar keseimbangan tercapai dalam menetapkan rencana pemeliharaan secara optimal (Sánchez-Herguedas et al., 2021).



Sebagaimana dalam literatur terdahulu menjelaskan bahwa, industri pertambangan saat ini telah dihadapkan dengan kewajiban untuk meningkatkan keselamatan pekerja dan memberikan perawatan yang efektif pada *mining machineries* (Buddhan et al., 2019). Pemeliharaan merupakan *cost* dalam dunia industri tetapi juga merupakan *strategic function* yang diperlukan untuk menjadi *competitive in the market* (Sgarbossa et al., 2018). Berdasarkan pernyataan tersebut bahwa dengan melakukan kegiatan *maintenance* secara rutin, maka dapat mengurangi kerusakan serta gangguan pada jalur produksi (Sajid et al., 2021). Kegagalan dari *mining machinery* merupakan kejadian hampir setiap hari terjadi. Biasanya konsekuensi yang ditimbulkan memerlukan biaya tambahan untuk memulihkan sistem tersebut ke kondisi normal (Petrović et al., 2020).

Penurunan fungsi yang tidak terduga dari suatu mesin dan peralatan dapat menyebabkan peningkatan biaya produksi dan mengurangi keuntungan pada suatu industri (Roosefert Mohan et al., 2021). Dalam literatur, secara umum *maintenance* dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu: *Preventive Maintenance* (PM) dan *Corrective Maintenance* (CM). PM adalah tindakan yang dilakukan pada waktu yang direncanakan sebelum kegagalan terjadi, sedangkan CM adalah tindakan yang tidak direncanakan setelah kegagalan terjadi (Hashemi et al., 2022). Tantangan dari penjadwalan kegiatan *maintenance* pada armada besar kendaraan industri sangat tergantung pada karakteristik dan penggunaan dari kendaraan armada itu sendiri (Markudova et al., 2021).

Sejalan dengan latar belakang di atas maka perlu dilakukan analisis terhadap *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* pada komponen alat berat di sektor pertambangan menggunakan distribusi Weibull untuk menentukan waktu terbaik dalam melakukan *maintenance* dengan ekspektasi *total maintenance cost* yang paling rendah. Sebagaimana dalam literatur menjelaskan bahwa distribusi Weibull adalah model yang paling *diffused* agar sesuai dengan *lifetime* pada *spareparts*, sehingga dalam menentukan interval waktu penggantian secara berkala dapat lebih optimal (Sgarbossa et al., 2018). Distribusi Weibull yang diusulkan oleh Waloddi

Weibull pada tahun 1939 adalah *lifetime distribution* yang telah banyak digunakan di berbagai bidang (He et al., 2016).

Terdapat beberapa hasil penelitian sebelumnya mengenai *preventive maintenance*, *corrective maintenance* dan distribusi Weibull. Diantaranya penelitian dari Shuto & Amemiya, (2022) menjelaskan bagaimana teknik distribusi Weibull digunakan untuk mengurangi biaya pemeliharaan dan meningkatkan keandalan sistem pada *the Prognostics and Health Management (PHM)*. Kemudian Dui et al., (2022) mengusulkan beberapa tindakan dalam melakukan kegiatan *preventive maintenance* berdasarkan pertimbangan biaya. Tiga skenario *maintenance cost* dianalisis untuk kebijakan *maintenance* yang berbeda. Selanjutnya de Pater & Mitici, (2021) melakukan analisis *preventive maintenance* multi-komponen pada sistem pendingin pesawat terbang. Penelitian dari Kovacs et al., (2021) bermaksud untuk meningkatkan produktivitas dan ketersediaan alat berat sekaligus di saat yang sama mengurangi *maintenance cost* pada alat berat. Penelitian dari Souza et al., (2022) menyajikan pendekatan pemodelan dan solusi untuk masalah *Job-shop Scheduling Problem (JSP)* pada ketidaktersediaan mesin secara deterministik dan stokastik yang disebabkan oleh *Preventive Maintenance (PM)* yang direncanakan dan *Corrective Maintenance (CM)* yang tidak direncanakan setelah kerusakan secara acak terjadi.

Hasil survei awal menunjukkan bahwa *excavator* milik perusahaan cukup sering mengalami kerusakan. Secara umum kerusakan *excavator* yang sering terjadi di lapangan ialah gangguan komponen pada beberapa sistem seperti: sistem *undercarriage*, elektrik/*starter*, bahan bakar, pelumasan, pendinginan, *intake/exhaust* udara dan sebagainya. Menurut Riski Arianda et al., (2022) kerusakan yang sering terjadi khususnya pada komponen *bucket hydraulic cylinder* ialah kebocoran oli, kerusakan *cylinder* piston dan *seal leakage*. Hal tersebut kemungkinan akan berdampak pada data awal dari *Mean Time Between Failure (MTBF)*, dimana data MTBF biasanya tidak konstan dikarenakan data tersebut memiliki sifat yang bervariasi sesuai dengan kondisi pada mesin (Muhammad Ridwan Andi Purnomo, 2022).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat dirumuskan masalah untuk penelitian ini yaitu kapan waktu terbaik dalam melakukan perawatan komponen alat berat dengan ekspektasi *total maintenance cost* yang paling rendah.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah penelitian ini ialah:

1. Tidak melakukan analisis terhadap perbaikan secara teknis pada kerusakan komponen alat berat,
2. Tidak melakukan analisis ketersediaan sumber daya dalam melakukan kegiatan *maintenance*.
3. Analisis yang dilakukan hanya pada unit atau komponen dari alat berat yang paling sering mengalami *breakdown* yaitu *excavator*.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini sesuai dengan rumusan masalah di atas yaitu mengetahui waktu yang terbaik dalam melakukan *maintenance* unit atau komponen alat berat dengan ekspektasi *total maintenance cost* yang paling rendah.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Dengan dilaksanakannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat bagi beberapa pihak yang terlibat dalam penelitian ini. Manfaat yang diharapkan antara lain sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan peneliti dan perusahaan tentang wawasan apa saja yang dapat diketahui dalam suatu data pada *maintenance* alat berat,
2. Mengetahui waktu yang tepat dalam melakukan kegiatan *maintenance* pada alat berat,
3. Memberikan saran dalam mengelola kegiatan *maintenance* pada alat berat.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Induktif (Penelitian Terdahulu)

Telah menjadi perhatian yang luas bahwa *preventive maintenance* dapat meningkatkan *the structure reliability* sekaligus memiliki kemampuan untuk melakukan *balance the cost* (Shi et al., 2022). Mengoptimalkan *maintenance and missions schedule* pada kendaraan berat telah menjadi prioritas untuk meningkatkan profitabilitas kendaraan berat secara komersial (Robert et al., 2018).

Muhammad Ridwan Andi Purnomo, (2022) menggunakan teknik *deep learning* dalam mengoptimalkan *capacitated planned maintenance*. Penelitian ini membahas dua analisis yang mendalam, yaitu: prediksi akurat dari kerusakan *binding machines* berdasarkan data *Mean Time Between Failure* (MTBF) dengan menggunakan teknik analisis data *deep learning* dan mengoptimalkan *total cost maintenance* dalam waktu *capacitated* yang tersedia. Penelitian ini dilakukan pada industri manufaktur di Indonesia. Dimana penerapan kustomisasi massal perusahaan diadakan dalam bentuk produk setengah jadi. Perusahaan ini memproduksi dua belas jenis barang yang berbeda, dengan *separate production line* terdiri dari dua mesin yang menangani penyesuaian barang setengah jadi menjadi barang jadi. Temuan dan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknik analisis data *deep learning* yang diusulkan dapat meningkatkan akurasi prediksi MTBF hingga 66,12% dan mengurangi *total cost maintenance* hingga 4% dibandingkan dengan model aslinya.

Penelitian dari Shuto & Amemiya, (2022) menjelaskan bagaimana teknik *Weibull Distribution* (WD) digunakan untuk mengurangi biaya pemeliharaan dan meningkatkan keandalan sistem pada *the Prognostics and Health Management* (PHM). Penelitian ini mengusulkan sebuah *framework* sederhana dalam menggabungkan data laboratorium dan data lapangan guna menyimpulkan *reliability* dari suatu komponen

yang memiliki *lifetime* sesuai dengan WD. Kemudian *output* dari *framework* tersebut akan digunakan dalam memperkirakan *Remaining Useful Life* (RUL). Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan *Sequential Bayesian inference with Optimized Prior Distribution* (SBOPD) menggunakan simulasi *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) yang dilakukan dengan *R and RStan programming tools*. Dengan hasil optimalisasi dari *hyperparameters*, estimasi dari parameter SBOPD dapat memberikan estimasi yang lebih baik dari pada metode konvensional.

Selanjutnya penelitian dari Zhou et al., (2022) yang menjelaskan tentang *maintenance optimisation of multicomponent systems* dengan mengembangkan algoritma *Hierarchical Coordinated Reinforcement Learning* (HCRL) untuk mengoptimalkan *condition based maintenance* (CBM) skala besar. Objek penelitian ini perumusan masalah optimasi pemeliharaan 12 mesin dan 11 *buffer* pada *natural gas plant*. Kontribusi dari penelitian ini ialah: (1) Algoritma HCRL dikembangkan dengan menggabungkan mekanisme koordinasi dan *hierarchical structure of agents* ke dalam *Distributed Q Learning* (DQL), (2) *Framework* yang diusulkan untuk optimasi pemeliharaan sistem multikomponen menggunakan HCRL, dan (3) Metode *discrete event simulation* secara efisien disajikan sebagai degradasi komponen yang saling bergantung. Hasil menunjukkan bahwa HCRL yang diusulkan dapat memperoleh kebijakan pemeliharaan yang lebih hemat biaya dibandingkan dengan metode *benchmark*.

Penelitian dari Zhang et al., (2022) mencoba mengoptimalkan *imperfect preventive maintenance* dalam sistem multi-komponen yang *repairable*, terhadap *system under s-dependent competing risk*. Penelitian ini mengembangkan model *maintenance optimization* yang berpusat pada keandalan baru untuk *Multicomponent Repairable Systems* (MCRS). Tujuannya strategi *maintenance* yang diusulkan untuk menentukan optimalisasi dari *reliability threshold* yang meminimalkan *total expected maintenance cost* sesuai dengan yang diharapkan. Objek penelitian ini ialah *ball screw system* yang merupakan bagian dari *NC machine tools*. Dalam *machine* tersebut, terdapat komponen yang memiliki dampak penting dalam proses operasi yaitu: *the steel*

*ball, the ball nut* dan *the screw shaft*. Komponen-komponen tersebut berada di bawah risiko kegagalan yang masing-masing bersifat stokastik. Waktu *failure* dari komponen tersebut dipresentasikan ke dalam model *Weibull Probability Plot* (WPP). Dimana *time to failure* dari komponen tersebut dapat diatur dengan baik oleh distribusi Weibull. Hasil yang diperoleh dari eksperimen menunjukkan bahwa model *reliability* dan *maintenance* yang diusulkan dapat memberikan solusi lebih efektif dalam hal estimasi *reliability* yang akurat.

Dalam praktik industri, kegiatan *maintenance* merupakan kebutuhan mutlak untuk merestorasi *aged system* ke kondisi yang diinginkan serta menjaga kinerja sistem tersebut ke level yang tinggi (Ghorbani et al., 2022). Penelitian ini menerapkan pendekatan *stochastic programming* untuk model ketidakpastian dalam *selective maintenance optimization*. Penelitian ini bermaksud mencari solusi optimal untuk menentukan strategi yang tepat dalam masalah *selective maintenance optimization* dengan mempertimbangkan ketidakpastian. Objek dari penelitian ini ialah komponen dari *the gas turbine engine* pada pesawat terbang. Distribusi Weibull digunakan untuk menghitung keandalan dari komponen. Semua eksperimen dijalankan pada laptop Intel i7 3,4 GHz dengan RAM 16 GB dengan operasi Windows 10. Eksperimen yang dilakukan sebagai berikut: (1) validasi model yang diusulkan, (2) menganalisis dampak pada perubahan *changing failure penalty*, (3) analisis dampak perubahan kondisi operasi di masa depan, (4) mengevaluasi kinerja *stochastic solutions* dan (5) menganalisis dampak *maintenance* yang tidak sempurna. Hasil yang diperoleh tidak hanya dapat memvalidasi model, tetapi juga memberikan wawasan yang lebih mendalam untuk mencapai keputusan yang optimal.

Distribusi Weibull yang diusulkan oleh Waloddi Weibull pada tahun 1939 adalah *lifetime distribution* yang telah banyak digunakan di berbagai bidang (He et al., 2016). Penelitian ini memberikan definisi dan interpretasi dari distribusi yang diusulkan yaitu *additive modified Weibull* (AMW). Pada penelitian ini dua dataset dianalisis untuk menggambarkan keunggulan distribusi AMW. Dataset pertama berasal dari Aarset dan dataset kedua berasal dari Meeker dan Escobar. Kemudian dilakukan perbandingan

dari dua dataset tersebut menggunakan statistik Kolmogorov-Smirnov serta *Akaike Information Criterion* (AIC). Hasil penelitian menunjukkan keunggulan dari distribusi AMW memiliki keunggulan dalam menyesuaikan dua dataset.

Penelitian dari Shakhathreh et al., (2019) memperkenalkan *The log-normal modified Weibull* (LNMW4) *distribution* dan implikasinya terhadap *reliability*. Fokus utama dari penelitian ini ialah pada hubungan mendasar antara tingkat failure dan rata-rata *lifetime* mengenai titik perubahannya. Metode *maximum likelihood* digunakan untuk memperkirakan parameter model. Tujuan utama dari memperkenalkan model *lifetime* ini adalah untuk: (i) mengusulkan distribusi *lifetime* yang fleksibel dan dapat digunakan untuk memodelkan data *lifetime* dalam masalah *reliability* yang lebih luas, (ii) memperluas *The log-normal modified Weibull* (LNMW4) *distribution*, (iii) mengakomodasikan *broad class* pada fungsi *failure rate* (FR) seperti FR berbentuk *bathtub-shaped* dan FR berbentuk *bathtub-shaped* yang dimodifikasi, (iv) mempelajari hubungan yang mendasar antara FR dan *Mean Residual Life* (MRL). Penelitian ini menegaskan bahwa distribusi LNMW4 adalah model terbaik untuk menyesuaikan data saat ini.

Di zaman modern saat ini, meningkatnya kompleksitas dan ketergantungan dari suatu proses produksi, *downtime* sekecil apapun dalam satu mesin dapat menurunkan nilai efisiensi keseluruhan sistem produksi dan dapat menyebabkan kerugian yang besar (Souza et al., 2022). Penelitian ini menyajikan pendekatan pemodelan dan solusi untuk masalah *Job-shop Scheduling Problem* (JSP) pada ketidakterediaan mesin secara deterministik dan stokastik yang disebabkan oleh *Preventive Maintenance* (PM) yang direncanakan dan *Corrective Maintenance* (CM) yang tidak direncanakan setelah kerusakan secara acak terjadi. *Time to failure* untuk setiap mesin diasumsikan mengikuti *Weibull distribution*. Penelitian ini mengembangkan dua *metaheuristic algorithms* dengan tujuan untuk memberikan keseimbangan antara kualitas kinerja dan solusi dari ketahanan. Algoritma pertama secara signifikan mampu meningkatkan jadwal awal dan mengakhiri dengan waktu yang singkat. Algoritma kedua *non-*

*improving solutions* dipertahankan menggunakan *stopping criterion*, menghasilkan peningkatan yang jauh lebih tinggi.

Mengurangi kerugian ekonomi yang disebabkan oleh *component failure* dengan melalui *maintenance* yang efektif adalah hal penting dalam *reliability engineering*. Melalui *preventive maintenance* hal tersebut dapat dicapai dan juga dapat memperpanjang umur suatu sistem. Mengoptimalkan *scheduling preventive maintenance* dapat memberikan dasar ilmiah bagi para *engineer* dalam membuat keputusan (Dui et al., 2022). Penelitian ini mengusulkan beberapa tindakan dalam melakukan kegiatan *preventive maintenance* berdasarkan pertimbangan biaya. Tiga skenario *maintenance cost* dianalisis untuk kebijakan *maintenance* yang berbeda. Objek penelitian ini ialah komponen dari sistem hidrolik pada pesawat terbang. Ada banyak komponen penting dalam sistem hidrolik, beberapa di antaranya akan sangat mempengaruhi *reliability* jika beberapa komponennya gagal bekerja. Terdapat 28 komponen penting dalam sistem hidrolik tersebut. Dengan demikian menjaga komponen tersebut tetap beroperasi dengan *preventive maintenance* sangat penting diperlukan untuk memaksimalkan kinerja sistem. Hasilnya, ketika komponen berkontribusi lebih besar pada *lifetime system*, maka akan lebih banyak biaya yang diperlukan untuk memulihkan kinerja darikomponen tersebut.

Tugas *maintenance* melibatkan tindakan *preventive* dan *corrective* yang dilakukan untuk menjaga *asset* dalam kondisi operasi yang diinginkan serta mengembalikan ke kondisi semula jika terjadi *failure*. Kebijakan dalam *maintenance* bertujuan untuk memberikan *reliability, availability and safety performance* yang optimal dengan *maintenance cost* serendah mungkin serta memberikan manfaat setinggi mungkin bagi organisasi (Sánchez-Herguedas et al., 2021). Penelitian ini memperbarui program *preventive maintenance* berkala untuk komponen baling-baling mesin kapal patroli yang bertanggung jawab atas kontrol di pantai negara Eropa selatan. Komponen tersebut mengalami *thermal* yang menyebabkan efek keausan dengan cepat sehingga mengalami *failure* secara berulang. Melalui pengembangan model semi-Markov penelitian menunjukkan bahwa perhitungan akumulasi



pengembalian rata-rata untuk jumlah transisi yang terbatas dapat dihitung dengan menggunakan sistem persamaan perbedaan. Dengan menentukan *probability distribution function* penelitian ini membandingkan penyesuaian antara fungsi Weibull dan Log-normal. Hasilnya pendekatan analitis ternyata jauh lebih mudah dan hanya memerlukan waktu lebih sedikit, sementara simulasi Monte Carlo melelahkan dan membutuhkan pengujian banyak skenario.

Penelitian dari de Pater & Mitici, (2021), melakukan analisis pada *preventive maintenance* multi-komponen pada sistem pendingin pesawat terbang. Latar belakangnya ialah maskapai menghabiskan sekitar 9% dari total biaya *maintenance* yang diperkirakan mencapai 69 miliar dollar. Dalam penelitian ini mengusulkan perencanaan *rolling horizon maintenance* untuk beberapa sistem multi-komponen dari komponen yang diperbaiki. Model perencanaan *rolling horizon maintenance* ini mengintegrasikan (i) *model-based Remaining Useful Life (RUL) prognostics* untuk komponen, (ii) ketersediaan komponen cadangan, dan (iii) slot waktu *maintenance* yang tersedia saat pesawat dapat dilakukan pemeliharaan. Hasilnya dibandingkan dengan strategi *maintenance* lainnya, model *maintenance* berbasis prognostik yang diusulkan mampu mengurangi biaya sebesar 38% secara *preventive* dan sebesar 48% secara *corrective maintenance*.

Penelitian dari Kang et al., (2020) menyelidiki model pengambilan keputusan terintegrasi multi-periode untuk pemeliharaan pada alat berat yang melibatkan *disassembly*, *inspection* dan *assembly* dengan jumlah suku cadang yang diganti dan jangka waktu tertentu. Latar belakang dari penelitian ini yaitu terdapat sejumlah besar *subways cars* yang diekspor dari negara lain dan perawatannya sulit dilakukan di negara Hong Kong (HK) karena *spaces*, *machinery* dan *technical supporting team* yang terbatas. Tujuannya ialah untuk mengembangkan model *disassembly* dan *assembly* yang terintegrasi untuk menghitung solusi *globally optimal* dalam perawatan alat berat. Model ini mengadopsi strategi *zero inventory* untuk mengelola *inventory*. Penelitian ini dimotivasi dari perusahaan *Mass Transit Railway (MTR)* Hong Kong di mana operasi pemeliharaan dilakukan di salah satu depot terbesarnya Kowloon Bay. Dua

biaya yang menjadi fokus penelitian ialah biaya pembelian dan biaya perbaikan. Model *deterministic mixed integer optimization* dibuat dengan tujuan meminimalkan *total cost*. Kontribusi dari penelitian ini pertama, seluruh pandangan tentang *maintenance* alat berat disajikan dengan tiga tahap: *disassembly*, *inspection* dan *assembly*. Kedua dengan mempertimbangkan biaya, penelitian ini memperkenalkan model dengan fungsi objektif untuk meminimalkan biaya dari masalah di lapangan.

Kegagalan pada *industrial equipment* tidak hanya mengakibatkan hilangnya produktivitas tetapi juga keterlambatan pada *customer service* dan dapat menyebabkan masalah keamanan serta lingkungan (Mehmeti et al., 2018). Penelitian ini menyajikan pentingnya kegiatan *maintenance* di perusahaan manufaktur. Objek penelitian ini ialah perusahaan di Kosovo yang tidak memiliki perangkat lunak khusus dalam menjalankan manajemen pemeliharaan. Menurut penelitian terlihat bahwa perusahaan tidak menerapkan standar apa pun untuk manajemen pemeliharaan dan kebanyakan sekitar 90% tidak disertifikasi oleh standar apa pun untuk sistem manajemen seperti ISO 9001, ISO 55000, dll. Menurut penelitian, di perusahaan manufaktur *failures* yang paling sering adalah dalam sistem listrik dan elektronik dengan 69%, *failures* mekanik 26% dan 5% hidrolik dan pneumatik. Dengan demikian, kebutuhan terbesar untuk pelatihan tenaga ahli dan staf adalah dalam pemeliharaan terhadap sistem kelistrikan dan elektronik.

Penelitian dari Markudova et al., (2021) menyajikan hasil penelitian industri yang dilakukan dengan perusahaan penyedia layanan telematika kepada produsen kendaraan industri dan kontriksi. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk memberikan pendekatan berbasis *machine learning* kepada manajer armada dalam mengoptimalkan operasi kegiatan *maintenance*. Data terkait yang dianalisis 2.239 armada besar dari 10 tipe yang berbeda dan berlokasi di 151 negara yang tersebar di seluruh dunia. Dataset tersebut diperoleh dalam jangka waktu 4 tahun dari Januari 2015 sampai September 2018. Metode *ensemble* seperti Random Forrest dan Gradient Boosting efektif dalam melakukan prediksi kendaraan. Hasil menunjukkan bahwa model *machine learning*

mampu menangkap tren yang menggambarkan pola penggunaan kendaraan *non-stationary*. Pendekatan yang diusulkan mencapai kinerja prediksi yang cukup baik.

Proses kegagalan dari sistem yang bersifat *repairable* dapat dipengaruhi oleh kondisi operasional dan kegiatan *maintenance* (Hu et al., 2021). Penelitian ini berfokus pada memodelkan *failure intensity* berbentuk *bathhtub-shaped* untuk peralatan mesin dengan pertimbangan pengaruh kondisi operasi dan pemeliharaan. Model tersebut mempertimbangkan *multiplicative and cumulative effects* dari kondisi operasional, yang menunjukkan skala dan parameter bentuk dari distribusi Weibull. Tujuannya untuk memperluas model *recurrent regression* untuk *failure intensity* berbentuk *bathhtub-shaped*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model tersebut memberikan kecocokan yang lebih baik daripada sub-model yang telah diterapkan sebelumnya.

Pemeliharaan merupakan *cost* dalam dunia industri tetapi juga merupakan *strategic function* yang diperlukan untuk menjadi *competitive in the market* (Sgarbossa et al., 2018). Latar belakang dari penelitian ini ialah distribusi Weibull untuk *failure events* dan *statistical tools* dalam memperkirakan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan  $\beta$  dengan data yang telah disensor. Fokus utamanya ialah pada konsekuensi estimasi parameter yang salah dalam hal biaya tambahan pada kegiatan *preventive maintenance*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampak dari estimasi parameter Weibull yang salah pada *Unit Expected Cost*. Hasil penelitian menyoroti bahwa perkiraan *shape parameter* yang berlebihan dari  $\beta$  sebagai biaya tambahan yang lebih rendah.

Penelitian dari Kovacs et al., (2021) bermaksud untuk meningkatkan produktivitas dan ketersediaan alat berat sementara pada saat yang sama mengurangi *maintenance cost*. Penelitian ini mengusulkan pendekatan berorientasi praktik baru untuk menuju *the next generation of modernized maintenance*. Fungsi dari *modified Weibull* dikembangkan untuk memprediksi dan memvisualisasikan *remaining service life* secara akurat dalam memperkirakan jumlah *spare parts* yang diperlukan. Tantangannya adalah untuk memberikan informasi tanpa beban kepada operator di *shop floor*. Model tersebut diterapkan pada *the heat treatment industry* dan telah

digunakan untuk dukungan keputusan *industrial maintenance* menggunakan *mobile assistance system*. Hasil menunjukkan bahwa pendekatan yang diterapkan memungkinkan penghematan yang konsisten dibandingkan dengan pendekatan lama. Visualisasi transparan dari *remaining service life* dan tindakan yang direkomendasikan menyebabkan kegiatan *maintenance* dilakukan pada waktu yang tepat. Dengan demikian, *machine downtimes* dan *system failures* yang tidak direncanakan dapat dikurangi.

Penelitian dari BULUT & ÖZCAN, (2021) berfokus pada penentuan periode *maintenance* pada *hydroelectric power plant* skala besar di Turki. Metode yang diusulkan yaitu *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) untuk tujuan mencapai hasil yang meyakinkan. Pada tahap pertama, 9 kriteria yang mempengaruhi *critical value* dilakukan pembobotan oleh para ahli dengan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Setelah nilai bobot diperoleh tingkat risiko setiap *equipment* dihitung menggunakan algoritma *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions* (TOPSIS). Pada tahap ini 16 kelompok *equipment* didapatkan sebagai kelompok risiko paling penting dari 2467 *mechanical* dan *electrical equipment*. Akibatnya jika 16 kelompok *equipment* ini mengalami *failure* maka akan mempengaruhi *reliability*, *availability* dan *maintainability* dari sistem. Program analisis statistik MINTAB digunakan dalam menghitung distribusi statistik *failure* dan *repair* data untuk menentukan parameter distribusi. Dalam prosesnya, data dari *distribution of failure* untuk *equipment* lain diteliti dan ditemukan bahwa semuanya sesuai dengan distribusi Weibull. Hasilnya penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi *hydroelectric power plant* dalam hal menentukan waktu *maintenance* yang tepat untuk *critical equipment*, *ensuring continuity in production* dan *minimizing costs*.

Penelitian dari Castro et al., (2020) mengevaluasi *maintenance cost* untuk *heterogeneous systems* yang kompleks. Untuk sistem yang kompleks ini diterapkan strategi *opportunistic maintenance* yaitu intervensi *maintenance* untuk suatu komponen dapat digunakan sebagai peluang untuk *preventive maintenance*. Jika

degradasi dari komponen mencapai ambang batas, maka komponen tersebut dipertahankan secara *preventive*. Dengan melakukan kegiatan *maintenance* seperti itu akan mengeluarkan biaya yang berbeda. Tujuan utamanya ialah untuk mengevaluasi tingkat biaya yang sesuai dengan ekspektasi. Dua metode dibandingkan dalam penelitian ini: *renewal* dan *semi-regenerative techniques*. Menggunakan *renewal techniques* evaluasi tingkat biaya yang sesuai dengan ekspektasi dan strategi *maintenance* akan membutuhkan waktu yang lama. Namun dengan menggunakan *semi-regenerative techniques* waktu komputasi akan dipersingkat secara drastis. Distribusi eksponensial digunakan untuk memodelkan *time to failure* komponen yang tidak dipantau. Untuk melakukan kedua teknik tersebut 5000 simulasi dilakukan untuk menghitung tingkat biaya yang diharapkan. Hasilnya contoh numerik diberikan untuk menunjukkan pertama, bahwa skala pendekatan yang digunakan jauh lebih baik dari pada pendekatan yang digunakan saat ini dan kedua, prosedur evaluasi yang disajikan dapat digunakan dalam mengoptimalkan kebijakan *maintenance*.

**Tabel II.1 Literature Review**

NO	PENULIS	JUDUL	Maintenance	Dist. Weibull	Mining Industry	Alat Berat
1	Shuto & Amemiy, (2022)	<i>Sequential Bayesian inference for Weibull distribution parameters with initial hyperparameter optimization for system reliability estimation.</i>	√	√	–	–
2	Zhou et al., (2022)	<i>Maintenance optimisation of multicomponent systems using hierarchical coordinated reinforcement learning.</i>	√	–	–	–
3	Zhang et al., (2022)	<i>Optimizing imperfect preventive maintenance in multi-component repairable systems under s-dependent competing risks.</i>	√	√	–	–
4	Ghorbani et al., (2022)	<i>A two-stage stochastic programming model for</i>	√	√	–	–

NO	PENULIS	JUDUL	Maintenance	Dist. Weibull	Mining Industry	Alat Berat
		<i>selective maintenance optimization.</i>				
5	He et al., (2016)	<i>An additive modified Weibull distribution.</i>	–	√	–	–
6	Shakhatreh et al., (2019)	<i>The log-normal modified Weibull distribution and its reliability implications.</i>	–	√	–	–
7	Souza et al., (2022)	<i>Robust job-shop scheduling under deterministic and stochastic unavailability constraints due to preventive and corrective maintenance.</i>	√	√	–	–
8	Dui et al., (2022)	<i>Different costs-informed component preventive maintenance with system lifetime changes.</i>	√	–	–	–
9	Sánchez-Herguedas et al., (2021)	<i>Diagnosis of quality management systems using data analytics – A case</i>	√	–	–	–

NO	PENULIS	JUDUL	Maintenance	Dist. Weibull	Mining Industry	Alat Berat
		<i>study in the manufacturing sector.</i>				
10	de Pater & Mitici, (2021)	<i>Predictive maintenance for multi-component systems of repairables with Remaining-Useful-Life prognostics and a limited stock of spare components.</i>	√	-	-	-
11	Kang et al., (2020)	<i>Integrated Disassembly and Assembly Model for Heavy Duty Equipment Maintenance.</i>	√	-	-	-
12	Mehmeti et al., (2018)	<i>The equipment maintenance management in manufacturing enterprises.</i>	√	-	-	-
13	Markudova et al., (2021)	<i>Preventive maintenance for heterogeneous industrial vehicles with incomplete usage data.</i>	√	-	-	√



NO	PENULIS	JUDUL	Maintenance	Dist. Weibull	Mining Industry	Alat Berat
14	Hu et al., (2021)	<i>A Weibull-based recurrent regression model for repairable systems considering double effects of operation and maintenance: A case study of machine tools. Impacts of weibull</i>	√	√	–	–
15	Sgarbossa et al., (2018)	<i>parameters estimation on preventive maintenance cost.</i>	√	√	–	–
16	Kovacs et al., (2021)	<i>A modified Weibull model for service life prediction and spare parts forecast in heat treatment industry.</i>	√	–	–	√
17	BULUT & ÖZCAN, (2021)	<i>A new approach to determine maintenance periods of the most critical hydroelectric power plant equipment.</i>	√	–	–	–

NO	PENULIS	JUDUL	Maintenance	Dist. Weibull	Mining Industry	Alat Berat
18	Castro et al., (2020)	<i>Maintenance cost evaluation for heterogeneous complex systems under continuous monitoring.</i>	√	–	–	–
19	Jakobsson et al., (2020)	<i>Automated Usage Characterization of Mining Vehicles for Lifetime Prediction.</i>	√	–	√	√
20	Ozdemir & Kumral, (2019)	<i>Simulation-based optimization of truck-shovel material handling systems in multi-pit surface mines.</i>	–	–	√	√
21	Markudova et al., (2021)	<i>Preventive maintenance for heterogeneous industrial vehicles with incomplete usage data.</i>	√	–	–	√
22	Buddhan et al., (2019)	<i>Even Driven Multimodal Augmented Reality based Command and Control</i>	–	–	√	–

NO	PENULIS	JUDUL	Maintenance	Dist. Weibull	Mining Industry	Alat Berat
		<i>Systems for Mining Industry.</i>				
23	Sajid et al., (2021)	<i>Data science applications for predictive maintenance and materials science in context to Industry 4.0.</i>	√	-	-	-
24	Petrović et al., (2020)	<i>Fuzzy expert analysis of the severity of mining machinery failure.</i>	-	-	√	-
25	Roosefert Mohan et al., (2021)	<i>Intelligent machine learning based total productive maintenance approach for achieving zero downtime in industrial machinery.</i>	√	-	-	-
26	Hashemi et al., (2022)	<i>Optimal maintenance strategies for coherent systems: A warranty dependent approach.</i>	√	-	-	-

NO	PENULIS	JUDUL	<i>Maintenance</i>	Dist. Weibull	<i>Mining Industry</i>	Alat Berat
27	Penelitian yang diusulkan	Analisis <i>maintenance optimization</i> pada komponen alat berat di sektor pertambangan.	√	√	√	√



## 2.2 Kajian Deduktif

### II.2.1 Maintenance

Filosofi dari *maintenance* dibagi menjadi 4 kategori, yaitu: (1) *breakdown or run to failure maintenance*, (2) *preventive or time-based maintenance*, (3) *predictive or condition-based maintenance*, (4) *proactive or prevention maintenance*. Filosofi tersebut dapat dijalankan dengan baik jika tidak mempengaruhi proses produksi dan biaya tenaga kerja (Girdhar & Scheffer, 2004).

Proses *maintenance* harus didanai dengan tepat untuk menghindari penundaan yang mengakibatkan penurunan kinerja aset. Penundaan pemeliharaan yang tertunda harus dianalisis terhadap berbagai parameter untuk menetapkan tolak ukur dalam perencanaan mendatang. Sebagai bagian dari proyeksi pendanaan pemeliharaan, perusahaan harus mempertimbangkan bagaimana *backlog* harus dikelola dan didanai. Pekerjaan pemeliharaan yang diproyeksikan seperti *major repairs*, *overhaul*, dan penggantian harus diidentifikasi, diukur, dan diprogram dalam jangka waktu 3 hingga 5 tahun. Komitmen pendanaan yang diperlukan harus diidentifikasi dengan jelas dan analisis arus kas disiapkan dalam mata uang saat ini (Galar et al., 2017).

### II.2.2 Mean Time Between Failure (MTBF)

MTBF merupakan salah satu teknik pengukuran pertama dan paling dasar yang dapat digunakan untuk mengukur keandalan dari suatu sistem Smith & Mobley, (2008). MTBF dapat diperoleh dengan mencari nilai yang diharapkan dari variabel acak  $T$ , *time to failure* (Ben-Daya et al., 2009). Oleh karena itu berikut penjabaran rumus dari MTBF,

$$MTBF = E(T) = \int_0^{\infty} t F(t) dt$$

Dimana  $T$  adalah variabel acak kontiniu.

### II.2.3 Distribusi Weibull

Studi awal oleh Weibull muncul di jurnal Skandinavia dengan membahas kekuatan suatu material pada tahun 1939. Sebuah studi Weibull berikutnya tahun 1951 dalam bahasa Inggris adalah sebuah karya penting di mana karya tersebut memodelkan kumpulan data dari berbagai keilmuan dan mempromosikannya dengan kegunaan model tersebut di berbagai disiplin ilmu. Model serupa telah diusulkan sebelumnya oleh Rosen dan Rammler 1933 dalam konteks pemodelan variabilitas. Publikasi paling awal yang diketahui berkaitan dengan distribusi Weibull adalah karya Fisher dan Tippet 1928 di mana distribusi ini diperoleh sebagai distribusi pembatas dari ekstrem terkecil di dalam sampel. Meskipun Weibull bukan orang pertama yang mengusulkan distribusi tersebut, dia berperan penting dalam promosinya sebagai model yang berguna dengan penerapan yang luas. Sebuah laporan oleh Weibull pada tahun 1977 mendaftar lebih dari 1000 referensi ke aplikasi model Weibull dasar, dan pencarian terbaru dari berbagai basis data menunjukkan bahwa ini telah meningkat dengan faktor 3 sampai 4 selama 30 tahun terakhir (Indira Puteri Kinasih, 2021).

Buku yang ditulis oleh Indira Puteri Kinasih, (2021) menjelaskan tentang distribusi Weibull dengan tiga parameter dengan suatu fungsi sebagai berikut:

$$F(t; \theta) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right], t \geq \gamma$$

Parameter distribusi diberikan oleh himpunan  $\theta = \{\alpha, \beta, \gamma\}$  dengan persamaan  $\alpha \geq 0, \beta \geq 0$  dan  $\gamma \geq 0$ . Parameter  $\alpha, \beta, \gamma$  masing-masing adalah parameter skala, parameter bentuk dan parameter lokasi distribusi. Distribusi inilah yang dinamakan distribusi Waloddi Weibull yang merupakan orang pertama mempromosikan kegunaan distribusi ini untuk memodelkan suatu kumpulan data dengan karakter yang sangat berbeda.

Dalam bukunya Indira juga menjelaskan tentang distribusi dua parameter. Distribusi dengan dua parameter adalah kasus khusus dengan  $\gamma = 0$  sehingga

$$\mathcal{F}(t; \theta) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right], t \geq 0$$

Berdasarkan parameter di atas maka akan merujuk pada model Weibull standar dengan  $\alpha > 0, \beta > 0$  masing-masing menjadi parameter skala dan bentuk. Model dapat ditulis dalam bentuk parametrik alternatif seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

$$\mathcal{F}(t; \theta) = 1 - \exp [ -(\lambda t)^\beta ]$$

Dengan  $\lambda = 1/\alpha$ ;

$$\mathcal{F}(t; \theta) = 1 - \exp \left[ - \frac{t^\beta}{\alpha^\beta} \right]$$

Dengan  $\alpha^\beta = \alpha^\beta$ ;

$$\mathcal{F}(t; \theta) = 1 - \exp [ -\lambda^\beta t^\beta ]$$

Dengan  $\lambda^\beta = (1/\alpha)^\beta$

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Obyek Penelitian

Obyek pada penelitian ini dilakukan pada PT. XYZ yang bergerak dibidang *geological and mining services-contractor*. Perusahaan ini menyediakan layanan berupa *expertise, management* dan *drilling contracting* yang sesuai dengan *internasional standard of mining industry* yaitu *Joint Ore Reserves Committee (JORC)* dan Komite Cadangan Mineral Indonesia (KCMII). Fokus yang menjadi penelitian ini adalah kegiatan *maintenance* alat berat pada perusahaan yang paling sering mengalami *breakdown* yaitu *excavator*. Selama periode April 2022 dari empat puluh lima (45) unit *excavator* yang dimiliki perusahaan, unit tersebut telah mengalami *breakdown* sebanyak 208 kali. Kebijakan yang diambil perusahaan ialah dengan melakukan kegiatan *maintenance* satu bulan sekali baik itu *preventive* dan *corrective maintenance* akibatnya membutuhkan biaya yang sangat tinggi. Semakin tingginya frekuensi *breakdown* maka semakin tinggi pula biaya *maintenance cost* dari unit tersebut. Maka dari itu perlu mengetahui kapan interval waktu terbaik dalam melakukan *maintenance* dengan ekspektasi biaya serendah mungkin.

#### 3.2 Jenis Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Berikut adalah penjabaran dari data tersebut.

##### 1. Data Primer

Data primer yang akan diambil pada penelitian ini adalah data dari komponen alat berat yang *breakdown* lalu diperbaiki yaitu *Mean Time Between Failure (MTBF)*. Menurut Smith & Mobley, (2008) dalam bukunya menjelaskan bahwa MTBF adalah



salah satu teknik pengukuran pertama dan paling dasar yang dapat digunakan untuk mengukur keandalan dari suatu sistem.

## 2. Data Sekunder

Data sekunder yang akan diambil dalam penelitian ini diantaranya data umum perusahaan, data mengenai komponen alat berat serta studi literatur dari tesis, jurnal dan buku yang terkait dengan penelitian ini.

### 3.3 Pengumpulan Data

Adapun proses pengumpulan data dalam penelitian ini terbagi dalam tiga metode yaitu studi pustaka, observasi dan wawancara yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### 1. Studi Pustaka (*Literature Review*)

Tinjauan pustaka memainkan peran penting dalam landasan untuk semua jenis penelitian. Tinjauan pustaka juga dapat berfungsi sebagai dasar untuk pengembangan pengetahuan serta membuat pedoman untuk kebijakan dan praktik. Jika hal tersebut dilakukan dengan baik, maka tinjauan literatur bisa memiliki kapasitas untuk melahirkan ide-ide dan arahan baru untuk bidang tertentu (Snyder, 2019).

#### 2. Observasi

Dalam penelitian ini dilakukan observasi dengan melakukan pengamatan secara langsung pada lokasi tempat penelitian. Observasi dilakukan untuk mendapatkan data *breakdown* dan *maintenance cost* dari alat berat *excavator*.

#### 3. Studi Dokumen

Studi dokumen dilakukan dengan pemeriksaan dokumen-dokumen yang terkait dengan penelitian tentang *preventive* dan *corrective maintenance* dengan menggunakan distribusi Weibull. Studi dokumen ini dapat dilakukan dengan mempelajari dokumen dari perusahaan baik secara langsung maupun melalui media *online*.

#### 4. Wawancara

Wawancara yang terbaik dilakukan ialah dengan cara tatap muka secara langsung. Hal tersebut baik dilakukan karena ada interaksi kompleks yang terjadi selama proses wawancara berlangsung (Sebyan Black & Fennelly, 2021). Dalam penelitian ini wawancara dilakukan dengan narasumber dengan pihak *stakeholder* yang terlibat dalam proses *maintenance* yaitu operator dan mekanik dari *excavator*.

### 3.4 Metode Pengolahan Data

Sebelum menghitung *total cost maintenance*, perlu mengetahui besarnya efektivitas dari unit *excavator* ini secara keseluruhan sebelum dilakukan kegiatan *maintenance*. Untuk itu harus diperoleh nilai-nilai dari *availability ratio*, *performance ratio* dan *rate of quality product*. Data dari *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk unit *excavator* pada bulan April telah diketahui. Data tersebut diperoleh dari hasil perhitungan yang telah dilakukan perusahaan setiap tahunnya. Untuk tahun 2022, data OEE dari keseluruhan alat berat menunjukkan angka **78%**. Persentase tersebut menunjukkan OEE tersebut termasuk dalam kategori **SEDANG**, yang artinya menurut standar nilai OEE dari *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) jika persentase berada pada rentang 60% sampai 85%, maka perlu dilakukan perbaikan performa pada sistem agar OEE meningkat hingga dapat dikategorikan kelas dunia.

Berikut merupakan parameter untuk menentukan kategori OEE menurut standar JIPM:

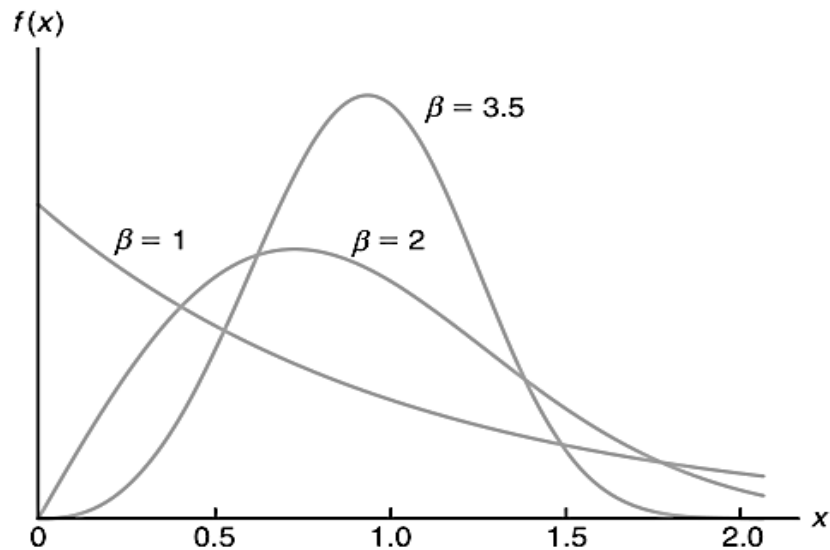
- 1) Persentase OEE lebih kecil dari 40% masuk ke dalam kategori **TIDAK DITERIMA**, menunjukkan bahwa sangat perlu dilakukan perbaikan karena menunjukkan daya saing perusahaan sangat rendah dan nilai OEE yang kecil dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang besar,
- 2) Persentase OEE yang berada pada rentang 40% sampai 59 % termasuk pada kategori **RENDAH**, yang artinya perlu dilakukan perbaikan performa system,

- 3) Persentase OEE yang berada pada rentang 60% sampai 84 % masuk pada kategori **SEDANG**, yang artinya perlu dilakukan perbaikan performa system agar performansi OEE meningkat hingga dapat dikategorikan **KELAS DUNIA**,
- 4) Persentase OEE yang berada pada rentang 85% sampai 99 % masuk pada kategori **KELAS DUNIA**, yang artinya perusahaan dapat di kategorikan kelas dunia baik dari segi daya saing maupun rendahnya kerugian ekonomi,
- 5) Persentase OEE 100% akan mendapat kategori **SEMPURNA**, yang artinya perusahaan sudah mencapai *zero defect* dan *zero accident*.

Penyebab persentase OEE yang belum optimal salah satunya disebabkan karena *rasio performance* pada unit yang masih rendah. Untuk itu perusahaan mengambil kebijakan melakukan *maintenance* pada seluruh unit alat berat yang sering mengalami *breakdown* yaitu *excavator* sebanyak 45 unit.

Selanjutnya setelah diketahui persentase dari OEE maka dilakukan pengkajian lebih jauh mengenai penjabaran dari rumusan masalah yang telah dibuat. Tahap pertama berfokus pada persiapan pengumpulan data yaitu data *up time (workinghour)*, data *down time (breakdown)* dan data frekuensi *breakdown* dari unit alat berat *excavator*. Tahap kedua, mencari nilai MTBF untuk setiap unit *excavator* dengan rumus: 
$$MTBF = \frac{Down\ Time - Up\ Time}{Breakdown\ Frequency}$$

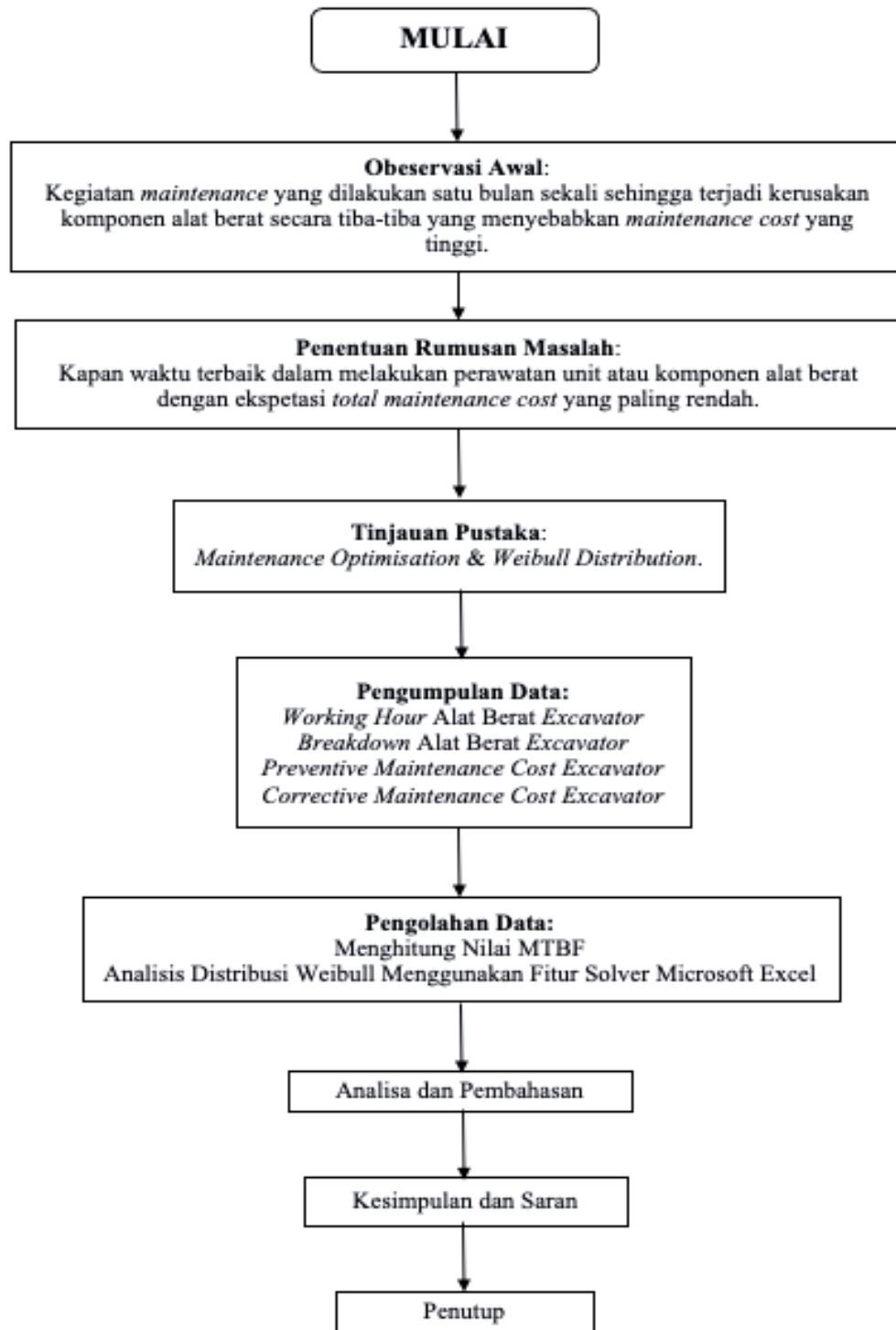
Kemudian tahap selanjutnya dilakukan analisis menggunakan distribusi Weibull. Distribusi Weibull yang diusulkan oleh Waloddi Weibull pada tahun 1939 adalah *lifetime distribution* yang telah banyak digunakan di berbagai bidang (He et al., 2016). Distribusi Weibull merupakan salah satu model statistik yang memiliki jangkauan luas dalam aplikasi teori *reliability* dengan kelebihan mampu menyajikan keakuratan dari kegagalan meskipun dengan sampel yang sangat kecil (Hossain & Zimmer, 2003). Distribusi ini biasanya digunakan untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan sejauh mana waktu (umur) dari suatu objek mampu bertahan dari baru hingga objek tersebut tidak lagi berfungsi sebagaimana mestinya (Walpole et al., 2012).



**Gambar III.1 Distribusi Weibull ( $\alpha = 1$ )**

Menurut Walpole et al., (2012) dalam bukunya menjelaskan bahwa grafik dari distribusi Weibull dengan nilai  $\alpha = 1$  dan berbagai nilai  $\beta$  dapat diilustrasikan pada Gambar 1. Dapat dilihat bahwa kurva dapat berubah bentuk dengan nilai parameter  $\beta$  yang berbeda. Jika tetap memberikan nilai  $\beta = 1$ , distribusi Weibull akan menjadi distribusi eksponensial. Jika menetapkan nilai  $\beta > 1$ , kurva menjadi agak berbentuk lonceng dan menyerupai kurva normal tetapi menunjukkan sedikit kemencengan.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar III.2 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Pengumpulan Data

Berikut ini adalah data *up time*, data *down time* dan data frekuensi *downtime* dari unit alat berat *excavator* yang digunakan untuk mencari nilai *Mean Time Between Failure* (MTBF). Dimana rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari MTBF ialah  $Total\ Downtime - Up\ time / Breakdown\ Frequency$ .

**Tabel IV.1 Data Hasil Perhitungan MTBF Pada PT. XYZ April 2022**

NO.	UNIT	UP TIME	DOWN TIME	FREK	MTBF
1	CAT 320 D2-GC (01)	120	60	3	20
2	CAT 320 D2-GC (02)	130	42	6	20
3	CAT 320 GC (01)	130	42	6	20
4	HITACHI ZX 330 LC-5G (01)	145	57	4	21
5	HYUNDAI HX-210S (04)	160	48	6	21
6	HYUNDAI HX-210S (11)	120	42	6	22
7	HITACHI ZX 330 LC-5G (02)	150	72	3	22
8	HYUNDAI HX-210S (02)	90	52	3	22
9	HYUNDAI R330 LC 9S(02)	90	45	4	23
10	HITACHI (06)	90	45	4	23
11	CAT 320 GC (02)	130	55	4	23
12	HITACHI (05)	170	66	4	24
13	HITACHI ZX 210 MF (01)	170	66	4	24
14	HYUNDAI HX-210S (06)	130	57	4	25
15	CAT 320 (08)	150	62	4	25
16	HYUNDAI HX-210S (07)	150	62	4	25
17	CAT 320 (12)	130	47	6	25

18	HYUNDAI HX-210S (09)	150	46	7	25
19	HYUNDAI R330 LC 9S(01)	170	46	8	25
20	HYUNDAI HX-210S (03)	110	80	2	25
21	HITACHI (03)	180	45	9	25
22	SANY SY215C (01)	160	45	8	25
23	CAT 320 (11)	100	75	2	25
24	CAT 329 (04)	100	76	2	26
25	HITACHI (04)	150	56	5	26
26	HYUNDAI HX-210S (05)	100	76	2	26
27	HITACHI ZX 330 LC-5G (03)	150	56	5	26
28	CAT 320 D2-GC (03)	150	57	5	27
29	HYUNDAI HX-210S (10)	150	58	5	28
30	CAT 320 (07)	130	51	6	29
31	CAT 320 (01)	170	64	5	30
32	HYUNDAI HX-210S (08)	155	70	4	31
33	CAT 320 (03)	150	68	4	31
34	HYUNDAI HX-210S (01)	170	59	6	31
35	HITACHI (07)	84	48	5	31
36	HITACHI (02)	140	78	3	31
37	HITACHI (08)	120	56	5	32
38	SANY SY215C (02)	155	52	8	33
39	CAT 320 (04)	100	58	4	33
40	HITACHI (01)	100	58	4	33
41	CAT 320 (05)	100	59	4	34
42	CAT 320 (10)	140	69	4	34
43	CAT 320 (06)	100	60	4	35
44	CAT 320 (09)	100	60	4	35
45	CAT 320 (02)	80	62	3	35
	<b>TOTAL</b>			<b>208</b>	<b>1209</b>

Berdasarkan data di atas, dapat diketahui bahwa *excavator* tersebut cukup sering mengalami kerusakan. Semakin tinggi intensitas pemakaian *excavator*, maka kemungkinan besar *spare part* atau komponen tersebut akan mengalami gangguan. Hal ini tentu saja akan menghambat kegiatan proyek dan menyebabkan kerugian. Kerusakan dari *excavator* tersebut dapat disebabkan antara lain guncangan, faktor cuaca dan operator / *human error*. Kemudian di bawah ini data total *preventive maintenance cost* dan *corrective maintenance cost* dari masing-masing unit *excavator* pada periode April 2022.





**Tabel IV.2 Data Preventive Maintenance Cost Excavator April 2022**

<b>PREVENTIVE MAINTENANCE COST</b>						
<b>NO.</b>	<b>UNIT</b>	<b>NAMA BARANG</b>	<b>ITEM</b>	<b>KATEGORI</b>	<b>HARGA</b>	<b>COST</b>
1	CAT 320 D2-GC (01)	Hydroulic Oil Filter PN.093-7521 CAT	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419
		Oil Filter 3155 CAT 320 D2	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Element Hydroulic PN.179-9806 CAT	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 2.548.395</b>
2	CAT 320 D2-GC (02)	Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Element Main Fuel Filter PN.11E1-70210 CAT	1	SRV	Rp 195.000	Rp 195.000
		Hydroulic Oil Filter PN.093-7521 CAT	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 1.888.395</b>
3	CAT 320 GC (01)	Hydroulic Oil Filter PN.093-7521 CAT	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419
		Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Element Main Fuel Filter PN.11E1-70210 CAT	1	SRV	Rp 195.000	Rp 195.000
		Filter Cabin AC Excavator CAT	1	SRV	Rp 300.000	Rp 300.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
<b>TOTAL</b>				<b>Rp 2.188.395</b>		
4	HITACHI ZX 330 LC-5G (01)	Hydroulic Oil Filter PN.093-7521 HITACHI	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419

		Oil Filter 3155 HITACHI	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Element Hydroulic PN.179-9806 HITACHI	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 HITACHI	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Filter Hydraulic Drain HITACHI	1	SRV	Rp 380.000	Rp 380.000
		Periodical Service Track Link	1	SRV	Rp 250.000	Rp 250.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 3.823.395</b>
5	HYUNDAI HX-210S (04)	Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Oil Filter Hyundai HL740	1	SRV	Rp 385.000	Rp 385.000
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 Hyundai HX210S	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Hyundai Hygen Reliable Engine Oil 10L	1	SRV	Rp 650.000	Rp 650.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 2.130.000</b>
6	HYUNDAI HX-210S (11)	Engine Oil Filter PN.11E1-70140 Hyundai HX210S	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Hyundai Hygen Reliable Engine Oil 10L	1	SRV	Rp 650.000	Rp 650.000
		Hyundai Hygen Reliable Gear Oil	1	SRV	Rp 750.000	Rp 750.000
		Oil Filter Hyundai HL740	1	SRV	Rp 385.000	Rp 385.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		Check Up Cabin Body Hyundai	1	SRV	Rp 50.000	Rp 50.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 2.480.000</b>
7	HITACHI ZX 330 LC-5G (02)	Hydroulic Oil Filter PN.093-7521 HITACHI	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419
		Oil Filter 3155 HITACHI	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976

		Element Hydroulic PN.179-9806 HITACHI	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 HITACHI	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Filter Hydraulic Drain HITACHI	1	SRV	Rp 380.000	Rp 380.000
		Periodical Service Track Link	1	SRV	Rp 250.000	Rp 250.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 3.323.395</b>
8	HYUNDAI HX-210S (02)	Hyundai Hygen Reliable Engine Oil 10L	1	SRV	Rp 650.000	Rp 650.000
		Hydraulic Oil AW-68 Hydroplus Power+ 10L	1	SRV	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Hyundai Hygen Reliable Gear Oil	1	SRV	Rp 750.000	Rp 750.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 4.519.200</b>
9	HYUNDAI R330 LC 9S(02)	Engine Oil Filter PN.J8619009 Hyundai R330 LC Donaldson	1	SRV	Rp 490.000	Rp 490.000
		Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Oil Filter Hyundai HL740	1	SRV	Rp 385.000	Rp 385.000
		Hyundai Hygen Reliable Gear Oil	1	SRV	Rp 750.000	Rp 750.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 3.544.200</b>
10	HITACHI (06)	Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200

		Oil Filter 3155 HITACHI	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 HITACHI	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 1.435.176</b>
11	CAT 320 GC (02)	Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Element Main Fuel Filter PN.11E1-70210 CAT	1	SRV	Rp 195.000	Rp 195.000
		Element Pre Fuel Filter PN. 11NA-72011 CAT	1	SRV	Rp 159.000	Rp 159.000
		Element-SEP PN.5234987 CAT 320 NGH	1	SRV	Rp 725.472	Rp 725.472
		Element-Fuel PN.5095694 CAT 320 NGH	1	SRV	Rp 551.376	Rp 551.376
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 2.096.824</b>
12	HITACHI (05)	Check Up Cabin Body HITACHI	1	SRV	Rp 50.000	Rp 50.000
		<b>TOTAL</b>				Rp 50.000
13	HITACHI ZX 210 MF (01)	Hydraulic Oil Primo Hicom ISO 46 4L	1	SRV	Rp 295.000	Rp 295.000
		Oli Transmisi Vulcan S10W 1L	4	SRV	Rp 75.000	Rp 300.000
		Oil Filter 3155 HITACHI	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Filter Hydraulic Drain HITACHI	1	SRV	Rp 380.000	Rp 380.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 35.000	Rp 35.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 1.330.976</b>
14	HYUNDAI HX-210S (06)	Hydraulic Oil AW-68 Hydroplus Power+ 10L	1	SRV	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Hyundai Hygen Reliable Engine Oil 10L	1	SRV	Rp 650.000	Rp 650.000

		Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Hyundai Hygen Reliable Gear Oil	1	SRV	Rp 750.000	Rp 750.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 35.000	Rp 35.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 4.554.200</b>
15	CAT 320 (08)	Element Hydroulic PN.179-9806 CAT	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Hydroulic Oil Filter PN.093-7521 CAT	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419
		Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Filter Cabin AC Excavator CAT	1	SRV	Rp 300.000	Rp 300.000
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Element Main Fuel Filter PN.11E1-70210 CAT	1	SRV	Rp 195.000	Rp 195.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 35.000	Rp 35.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 3.223.395</b>
16	HYUNDAI HX-210S (07)	Element Hydroulic PN.179-9806 Hyundai	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Hyundai Hygen Reliable Gear Oil	1	SRV	Rp 750.000	Rp 750.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 35.000	Rp 35.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 3.704.200</b>
17	CAT 320 (12)	Hydroulic Oil Filter PN.093-7521 CAT	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419

		Oil Filter 3155 CAT 320 D2	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Element Hydroulic PN.179-9806 CAT	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Filter Cabin AC Excavator CAT	1	SRV	Rp 300.000	Rp 300.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Element Main Fuel Filter PN.11E1-70210 CAT	1	SRV	Rp 195.000	Rp 195.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 3.688.395</b>
18	HYUNDAI HX-210S (09)	Element Hydroulic PN.179-9806 Hyundai	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Hydraulic Oil AW-68 Hydroplus Power+ 10L	1	SRV	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Hyundai Hygen Reliable Engine Oil 10L	1	SRV	Rp 650.000	Rp 650.000
		Filter Hydraulic Drain Hyundai	1	SRV	Rp 380.000	Rp 380.000
		Air Zuur ACCU 1.5 L	4	SRV	Rp 10.800	Rp 43.200
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 4.723.200</b>
19	HYUNDAI R330 LC 9S(01)	Engine Oil Filter PN.J8619009 Hyundai R330 LC Donaldson	1	SRV	Rp 490.000	Rp 490.000
		Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Oil Filter Hyundai HL740	1	SRV	Rp 385.000	Rp 385.000
		Hydraulic Oil AW-68 Hydroplus Power+ 10L	1	SRV	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 4.075.000</b>

20	HYUNDAI HX-210S (03)	Element Hydraulic PN.179-9806 Hyundai	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Hydraulic Oil AW-68 Hydroplus Power+ 10L	1	SRV	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Hyundai Hygen Reliable Engine Oil 10L	1	SRV	Rp 650.000	Rp 650.000
		Filter Hydraulic Drain Hyundai	1	SRV	Rp 380.000	Rp 380.000
		Hyundai Hygen Reliable Gear Oil	1	SRV	Rp 750.000	Rp 750.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Oil Filter Hyundai HL740	1	SRV	Rp 385.000	Rp 385.000
		Air Zuur ACCU 1.5 L	4	SRV	Rp 10.800	Rp 43.200
						<b>TOTAL</b>
21	HITACHI (03)	Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Oil Filter 3155 HITACHI	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 HITACHI	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Filter Hydraulic Drain HITACHI	1	SRV	Rp 380.000	Rp 380.000
		Periodical Service Track Link	1	SRV	Rp 250.000	Rp 250.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		Air Zuur ACCU 1.5 L	4	SRV	Rp 10.800	Rp 43.200
				<b>TOTAL</b>	<b>Rp 2.108.376</b>	
22	SANY SY215C (01)	Oil Filter Hydraulic Sany SY55 Komai	1	SRV	Rp 450.000	Rp 450.000
		Hydraulic Oil Shell Tellus S2 MX 46 20L	1	SRV	Rp 855.000	Rp 855.000
		Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000

		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Periodical Service Track Link	1	SRV	Rp 250.000	Rp 250.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 3.874.200</b>
23	CAT 320 (11)	Hydroulic Oil Filter PN.093-7521 CAT	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419
		Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Air Zuur ACCU 1.5 L	4	SRV	Rp 15.000	Rp 60.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 1.253.395</b>
24	CAT 320 (04)	Element Hydroulic PN.179-9806 CAT	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Hydroulic Oil Filter PN.093-7521 CAT	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419
		Element Main Fuel Filter PN.11E1-70210 CAT	1	SRV	Rp 195.000	Rp 195.000
		Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 4.741.619</b>
25	HITACHI (04)	Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Oil Filter 3155 HITACHI	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 HITACHI	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 1.035.176</b>



26	HYUNDAI HX-210S (05)	Hydraulic Oil Filter PN.093-7521 Hyundai	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419
		Element Hydraulic PN.179-9806 Hyundai	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Filter Hydraulic Drain Hyundai	1	SRV	Rp 380.000	Rp 380.000
		Filter Cabin AC Excavator Hyundai	1	SRV	Rp 300.000	Rp 300.000
		Periodical Service Kuku Bucket	1	SRV	Rp 200.000	Rp 200.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 4.057.419</b>
27	HITACHI ZX 330 LC-5G (03)	Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Oil Filter 3155 HITACHI	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 HITACHI	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
<b>TOTAL</b>				<b>Rp 2.885.176</b>		
28	CAT 320 D2-GC (03)	Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Element Main Fuel Filter PN.11E1-70210 CAT	1	SRV	Rp 195.000	Rp 195.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
<b>TOTAL</b>				<b>Rp 1.730.176</b>		

29	HYUNDAI HX-210S (10)	Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 35.000	Rp 35.000
		Air Zuur ACCU 1.5 L	4	SRV	Rp 10.800	Rp 43.200
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 78.200</b>	
30	CAT 320 (07)	Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 2.885.176</b>	
31	CAT 320 (01)	Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 2.885.176</b>	
32	HYUNDAI HX-210S (08)	Oil Filter ZGAQ-02400 Hyundai	1	SRV	Rp 950.000	Rp 950.000
		Hyundai Hygen Reliable Engine Oil 10L	1	SRV	Rp 650.000	Rp 650.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
		Air Zuur ACCU 1.5 L	4	SRV	Rp 10.800	Rp 43.200

					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 1.743.200</b>
33	CAT 320 (03)	Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 565.976</b>
34	HYUNDAI HX-210S (01)	Hyundai Hygen Reliable Engine Oil 10L	1	SRV	Rp 650.000	Rp 650.000
		Filter Hydraulic Drain Hyundai	1	SRV	Rp 380.000	Rp 380.000
		Hyundai Hygen Reliable Gear Oil	1	SRV	Rp 750.000	Rp 750.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Oil Filter Hyundai HL740	1	SRV	Rp 385.000	Rp 385.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 2.634.200</b>
35	HITACHI (07)	Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Oil Filter 3155 HITACHI	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 HITACHI	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		Air Zuur ACCU 1.5 L	4	SRV	Rp 15.000	Rp 60.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 2.845.176</b>
36	HITACHI (02)	Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Element Hydroulic PN.179-9806 HITACHI	1	SRV	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Hydroulic Oil Filter PN.093-7521 HITACHI	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419

		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 HITACHI	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 4.222.419</b>
37	HITACHI (08)	Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 HITACHI	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 2.064.200</b>
38	SANY SY215C (02)	Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 1.819.200</b>
39	CAT 320 (04)	Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Hydraulic Oil Filter PN.093-7521 CAT	1	SRV	Rp 727.419	Rp 727.419
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 1.193.395</b>
40	HITACHI (01)	Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 HITACHI	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 1.964.200</b>
41	CAT 320 (05)	Oil Filter 3155 CAT 320	1	SRV	Rp 320.976	Rp 320.976
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000

		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 1.065.976</b>
42	CAT 320 (10)	Element Main Fuel Filter PN.11E1-70210 CAT	1	SRV	Rp 195.000	Rp 195.000
		Element Pre Fuel Filter PN. 11NA-72011 CAT	1	SRV	Rp 159.000	Rp 159.000
		Element-SEP PN.5234987 CAT 320 NGH	1	SRV	Rp 725.472	Rp 725.472
		Element-Fuel PN.5095694 CAT 320 NGH	1	SRV	Rp 551.376	Rp 551.376
		Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 3.450.048</b>
43	CAT 320 (06)	Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Oil Filter 1-R1807 CAT	1	SRV	Rp 2.054.000	Rp 2.054.000
		Engine Oil 3E-9901 CAT 15W-40 5L	2	SRV	Rp 383.922	Rp 767.844
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000	Rp 500.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 3.791.044</b>
44	CAT 320 (09)	Transmission Oil Vulcan S SAE 10 20L	1	SRV	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200	Rp 469.200
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000	Rp 145.000
		Engine Oil 3E-9901 CAT 15W-40 5L	2	SRV	Rp 383.922	Rp 767.844
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000	Rp 100.000
		Air Zuur ACCU 1.5 L	4	SRV	Rp 15.000	Rp 60.000

				<b>TOTAL</b>	<b>Rp 2.892.044</b>
45	CAT 320 (02)	Gear Oil EP-90 Autogear Power+ 10L	1	SRV	Rp 469.200
		Oil Filter 1-R1807 CAT	1	SRV	Rp 2.054.000
		Engine Oil 3E-9901 CAT 15W-40 5L	2	SRV	Rp 383.922
		Engine Oil Filter PN.11E1-70140 CAT	1	SRV	Rp 145.000
		Air Zuur ACCU 1.5 L	4	SRV	Rp 15.000
		Periodical Checking Sensor Unit	1	SRV	Rp 100.000
		Periodical Service AC	1	SRV	Rp 500.000
				<b>TOTAL</b>	<b>Rp 3.496.044</b>

Selama bulan April 2022 biaya yang telah dikeluarkan perusahaan mencapai **Rp122.935.352** untuk melakukan kegiatan *preventive maintenance* pada 45 unit *excavator*. Kemudian di bawah ini table IV. 3 disajikan data kegiatan *corrective maintenance cost* untuk masing-masing alat berat *excavator* pada bulan yang sama.

**Tabel IV.3 Data Corrective Maintenance Excavator April 2022**

<b>CORRECTIVE MAINTENANCE COST</b>						
<b>NO.</b>	<b>UNIT</b>	<b>NAMA BARANG</b>	<b>ITEM</b>	<b>KATEGORI</b>	<b>HARGA</b>	<b>COST</b>
1	CAT 320 D2-GC (01)	Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Bucket CAT	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Hose Arm Bawah Ke Control Valve	1	EHC	Rp 255.000	Rp 255.000
		Hose Control Valve ke Control Valve CAT	1	EHC	Rp 485.000	Rp 485.000
		Ring Cylinder Bucket CAT	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Ring Arm Cylinder CAT	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000
		Seal Kit Cylinder Boom Lift CAT	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket CAT	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 7.105.000</b>	
2	CAT 320 D2-GC (02)	Hose Bucket CAT	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Hose Arm Bawah Ke Control Valve	1	EHC	Rp 255.000	Rp 255.000
		Hose Control Valve ke Control Valve CAT	1	EHC	Rp 485.000	Rp 485.000
		Ring Cylinder Bucket CAT	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Pompa Grease	1	LUB	Rp 200.000	Rp 200.000
		Compressor AC Denco CAT	1	EHC	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
				<b>TOTAL</b>		
3	CAT 320 GC (01)	Hose Arm Bawah Ke Control Valve	1	EHC	Rp 255.000	Rp 255.000
		Ring Arm Cylinder CAT	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000

		Ring Cylinder Bucket CAT	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Compressor AC Denso CAT	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		Seal Kit Cylinder Boom Lift CAT	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket CAT	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 6.370.000</b>
4	HITACHI ZX 330 LC-5G (01)	Seal Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket HITACHI	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Ring Cylinder Bucket HITACHI	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Ring Arm Cylinder HITACHI	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000
		Compressor AC Denso HITACHI	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		Sprocket-Track 16 Lubang HITACHI	1	UCT	Rp 3.160.656	Rp 3.160.656
		Bohlam H3 24V	1	ELT	Rp 55.000	Rp 55.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 9.330.656</b>
5	HYUNDAI HX-210S (04)	Seal Kit Control Valve Hyundai	1	EHC	Rp 750.000	Rp 750.000
		Gasket Kit Cylinder Hyundai	1	EHC	Rp 1.800.000	Rp 1.800.000
		Water Pump PN.3285410 Hyundai	1	EHC	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Piston Kit Hyundai	1	EHC	Rp 1.700.000	Rp 1.700.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 5.750.000</b>
6	HYUNDAI HX-210S (11)	Cap Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Ring Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Hose Grease	1	LUB	Rp 35.000	Rp 35.000



		Pompa Grease	1	LUB	Rp 200.000	Rp 200.000
		Bohlam H3 24V	1	ELT	Rp 35.000	Rp 35.000
		Sekring 10 Ampere Taring	1	ELT	Rp 10.000	Rp 10.000
		Compressor AC Denso Hyundai	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		Repair Body Hyundai HX-210S	1	CBV	Rp 750.000	Rp 750.000
				<b>TOTAL</b>	<b>Rp 5.955.000</b>	
7	HITACHI ZX 330 LC-5G (02)	Seal Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket HITACHI	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Ring Cylinder Bucket HITACHI	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Ring Arm Cylinder HITACHI	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000
		Pin Track Link Regular HITACHI	1	UCT	Rp 145.000	Rp 145.000
		Sprocket-Track 16 Lubang HITACHI	1	UCT	Rp 3.160.656	Rp 3.160.656
		Bohlam H3 24V	1	ELT	Rp 55.000	Rp 55.000
		Compressor AC Denso HITACHI	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		Machinery bucket spindle rubber Oil Seal	1	EHC	Rp 493.495	Rp 493.495
				<b>TOTAL</b>	<b>Rp 9.969.151</b>	
8	HYUNDAI HX-210S (02)	Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Compressor AC Denso Hyundai	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		Evaporator Cooling AC Hyundai	1	ELT	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Dinamo Motor Blower Fan AC Hyundai	1	ELT	Rp 800.000	Rp 800.000

		Bohlam H4 24Volt	1	ELT	Rp 25.000	Rp 25.000
		Adaptor Kuku Hyundai HX210S	1	UCT	Rp 425.000	Rp 425.000
		Kuku Bucket Hyundai HX210S	1	UCT	Rp 270.000	Rp 270.000
		Seal Kit Cylinder Boom Lift Hyundai	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 11.445.000</b>	
9	HYUNDAI R330 LC 9S(02)	Adaptor Kuku Hyundai HX210S	1	UCT	Rp 425.000	Rp 425.000
		Kuku Bucket Hyundai HX210S	1	UCT	Rp 270.000	Rp 270.000
		Seal Kit Cylinder Boom Lift Hyundai	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Compressor AC Denso Hyundai	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		Evaporator Cooling AC Hyundai	1	ELT	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Dinamo Motor Blower Fan AC Hyundai	1	ELT	Rp 800.000	Rp 800.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 11.420.000</b>	
10	HITACHI (06)	Adaptor Kuku HITACHI	1	UCT	Rp 425.000	Rp 425.000
		Kuku Bucket Hyundai 06	1	UCT	Rp 270.000	Rp 270.000
		Adaptor Kuku Bucket HITACHI	1	UCT	Rp 950.000	Rp 950.000
		Kuku Bucket HITACHI	1	UCT	Rp 625.000	Rp 625.000
		Compressor AC Denso Hyundai	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000

		Evaporator Cooling AC Hyundai	1	ELT	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 6.320.000</b>
11	CAT 320 GC (02)	V-belt Kipas PN. KEGC-00038 CAT	1	EHC	Rp 663.100	Rp 663.100
		Water Pump PN.3285410 CAT	1	EHC	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Piston Ring Kit CAT	1	EHC	Rp 300.000	Rp 300.000
		Piston Kit CAT	1	EHC	Rp 1.300.000	Rp 1.300.000
		Bohlam H3 24V	1	ELT	Rp 35.000	Rp 35.000
		Sekring 10 Ampere Taring	1	ELT	Rp 10.000	Rp 10.000
		Hose Grease	1	LUB	Rp 35.000	Rp 35.000
		Pompa Grease	1	LUB	Rp 200.000	Rp 200.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 4.043.100</b>
12	HITACHI (05)	Repair Body HITACHI	1	CBV	Rp 750.000	Rp 750.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 750.000</b>
13	HITACHI ZX 210 MF (01)	Seal Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket HITACHI	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Ring Cylinder Bucket HITACHI	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Ring Arm Cylinder HITACHI	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000
		Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 3.500.000	Rp 3.500.000
		Oil Seal Swing ZX 210	1	EHC	Rp 250.000	Rp 250.000
		Jet Oil ZX HITACHI 210	1	EHC	Rp 285.000	Rp 285.000
		Pressure Switch Sensor 4436535	1	ELT	Rp 192.000	Rp 192.000

		Electric Pump 24V PN 4645227	1	ELT	Rp 337.000	Rp 337.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 7.829.000</b>
14	HYUNDAI HX-210S (06)	Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Adaptor Kuku Hyundai HX210S	1	UCT	Rp 425.000	Rp 425.000
		Kuku Bucket Hyundai HX210S	1	UCT	Rp 270.000	Rp 270.000
		Seal Kit Cylinder Boom Lift Hyundai	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Compressor AC Denso Hyundai	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		Evaporator Cooling AC Hyundai	1	ELT	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Dinamo Motor Blower Fan AC Hyundai	1	ELT	Rp 800.000	Rp 800.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
		Soket Konektor Sensor Temperatur Mesin	1	ELT	Rp 95.000	Rp 95.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 10.165.000</b>
15	CAT 320 (08)	V-belt Kipas PN. KEGC-00038 CAT	1	EHC	Rp 663.100	Rp 663.100
		Water Pump PN.3285410 CAT	1	EHC	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Piston Ring Kit CAT	1	EHC	Rp 300.000	Rp 300.000
		Piston Kit CAT	1	EHC	Rp 1.300.000	Rp 1.300.000
		Compressor AC Denso CAT	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		Sensor Pressure Main Pump CAT	1	ELT	Rp 1.050.000	Rp 1.050.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 8.063.100</b>

16	HYUNDAI HX-210S (07)	Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Seal Kit Cylinder Boom Lift Hyundai	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
		Soket Konektor Sensor Temperatur Mesin	1	ELT	Rp 95.000	Rp 95.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 6.370.000</b>
17	CAT 320 (12)	Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Bucket CAT	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Hose Arm Bawah Ke Control Valve	1	EHC	Rp 255.000	Rp 255.000
		Hose Control Valve ke Control Valve CAT	1	EHC	Rp 485.000	Rp 485.000
		Ring Cylinder Bucket CAT	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Ring Arm Cylinder CAT	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000
		Seal Kit Cylinder Boom Lift CAT	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket CAT	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Compressor AC Denco CAT	1	EHC	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		Bohlam H3 24V	1	ELT	Rp 35.000	Rp 35.000
		Sekring 10 Ampere Taring	1	ELT	Rp 10.000	Rp 10.000
		Roller GP-Track Carrier PN.8E-5600 CAT 320 D2	1	UCT	Rp 1.629.792	Rp 1.629.792
		Sprocket-Track 16 Lubang CAT 320 D2	1	UCT	Rp 3.160.656	Rp 3.160.656
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 14.790.448</b>

18	HYUNDAI HX-210S (09)	Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Seal Kit Cylinder Boom Lift Hyundai	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Hose Control Valve ke Control Valve Hyundai	1	EHC	Rp 485.000	Rp 485.000
		Ring Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Ring Arm Cylinder Hyundai	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000
		Aki INCOE N150 12 Volt	1	ELT	Rp 2.203.000	Rp 2.203.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 7.303.000</b>	
19	HYUNDAI R330 LC 9S(01)	Seal Kit Cylinder Boom Lift Hyundai	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 6.275.000</b>	
20	HYUNDAI HX-210S (03)	Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Seal Kit Cylinder Boom Lift Hyundai	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Hose Control Valve ke Control Valve Hyundai	1	EHC	Rp 485.000	Rp 485.000
		Ring Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Ring Arm Cylinder Hyundai	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000
		Adaptor Kuku Hyundai HX210S	1	UCT	Rp 425.000	Rp 425.000

	Kuku Bucket Hyundai HX210S	1	UCT	Rp 270.000	Rp 270.000
	Nipple Adjuster Track Hyundai HX 210S	2	UCT	Rp 75.000	Rp 150.000
	Papan Soe Hyundai HX 210S	5	UCT	Rp 1.218.240	Rp 6.091.200
	Hose Grease	1	LUB	Rp 35.000	Rp 35.000
	Nepple Grease Lurus 10mm	1	LUB	Rp 10.000	Rp 10.000
	Nepple Grease Lurus 11mm	1	LUB	Rp 5.000	Rp 5.000
	Nepple Grease L 11mm	1	LUB	Rp 7.500	Rp 7.500
	Aki INCOE N150 12 Volt	1	ELT	Rp 2.203.000	Rp 2.203.000
				<b>TOTAL</b>	<b>Rp 14.296.700</b>
21	HITACHI (03)				
	Seal Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
	Cap Cylinder Bucket HITACHI	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
	Ring Cylinder Bucket HITACHI	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
	Ring Arm Cylinder HITACHI	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000
	Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 3.500.000	Rp 3.500.000
	Adaptor Kuku HITACHI	1	UCT	Rp 425.000	Rp 425.000
	Kuku Bucket 06 HITACHI	1	UCT	Rp 270.000	Rp 270.000
	Adaptor Kuku Bucket HITACHI	1	UCT	Rp 950.000	Rp 950.000
	Kuku Bucket HITACHI	1	UCT	Rp 625.000	Rp 625.000
	Compressor AC Denso HITACHI	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
	Evaporator Cooling AC HITACHI	1	ELT	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
	Aki INCOE N150 12 Volt	1	ELT	Rp 2.203.000	Rp 2.203.000

						<b>TOTAL</b>	<b>Rp 15.288.000</b>
22	SANY SY215C (01)	Machinery bucket spindle rubber Oil Seal	1	EHC	Rp 493.495	Rp	493.495
		Oil Pump 1-13100277-0 SANY	1	EHC	Rp 3.500.000	Rp	3.500.000
		Pin Track Link Reguler Sany	1	UCT	Rp 145.000	Rp	145.000
		Nipple Adjuster Track SANY	2	UCT	Rp 75.000	Rp	150.000
		Papan Soe SANY	5	UCT	Rp 1.218.240	Rp	6.091.200
		Oil Level Gauge SANY SY75	1	UCT	Rp 200.000	Rp	200.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp	400.000
		Hose Grease	1	LUB	Rp 35.000	Rp	35.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp</b>	<b>11.014.695</b>
23	CAT 320 (11)	Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp	1.750.000
		Hose Bucket CAT	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp	1.350.000
		Hose Arm Bawah Ke Control Valve	1	EHC	Rp 255.000	Rp	255.000
		Hose Control Valve ke Control Valve CAT	1	EHC	Rp 485.000	Rp	485.000
		Ring Cylinder Bucket CAT	1	EHC	Rp 325.000	Rp	325.000
		Ring Arm Cylinder CAT	1	EHC	Rp 165.000	Rp	165.000
		Piston Kit CAT	1	EHC	Rp 1.300.000	Rp	1.300.000
		AKI GS Astra N 150 15 Ah 12 V	1	ELT	Rp 2.495.000	Rp	2.495.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp</b>	<b>8.125.000</b>
24	CAT 320 (04)	Water Pump PN.3285410 CAT	1	EHC	Rp 1.500.000	Rp	1.500.000
		Piston Ring Kit CAT	1	EHC	Rp 300.000	Rp	300.000



		Roller GP-Track Carrier PN.8E-5600 CAT 320 D2	1	UCT	Rp 1.629.792	Rp 1.629.792
		Sprocket-Track 16 Lubang CAT 320 D2	1	UCT	Rp 3.160.656	Rp 3.160.656
		Seal Kit Cylinder Boom Lift CAT	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket CAT	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Compressor AC Denco CAT	1	EHC	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 12.215.448</b>	
25	HITACHI (04)	Seal Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket HITACHI	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 3.500.000	Rp 3.500.000
		Pompa Grease	1	LUB	Rp 200.000	Rp 200.000
		Hose Grease	1	LUB	Rp 35.000	Rp 35.000
		Nepple Grease Lurus 10mm	1	LUB	Rp 10.000	Rp 10.000
		Elektric Fuel Pump HITACHI	1	ELT	Rp 95.000	Rp 95.000
		Kabel Injection Hydraulic Pump	1	ELT	Rp 150.000	Rp 150.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 6.765.000</b>	
26	HYUNDAI HX-210S (05)	Hose Breaker	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Hose Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
		Hose Arm Bawah Ke Control Valve	1	EHC	Rp 255.000	Rp 255.000
		Hose Control Valve ke Control Valve Hyundai	1	EHC	Rp 485.000	Rp 485.000
		Ring Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Ring Arm Cylinder Hyundai	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000

		Seal Kit Cylinder Boom Lift Hyundai	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Evaporator Cooling AC Hyundai	1	ELT	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Dinamo Motor Blower Fan AC Hyundai	1	ELT	Rp 800.000	Rp 800.000
		Bohlam H3 24V	1	ELT	Rp 55.000	Rp 55.000
		Bohlam H4 24Volt	1	ELT	Rp 25.000	Rp 25.000
		Adaptor Kuku Hyundai HX210S	1	UCT	Rp 425.000	Rp 425.000
		Kuku Bucket Hyundai HX210S	1	UCT	Rp 270.000	Rp 270.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 9.880.000</b>
27	HITACHI ZX 330 LC-5G (03)	Adaptor Kuku Bucket HITACHI	1	UCT	Rp 950.000	Rp 950.000
		Roller GP-Track Carrier PN.8E-5600 HITACHI	1	UCT	Rp 1.629.792	Rp 1.629.792
		Elektric Fuel Pump HITACHI	1	ELT	Rp 95.000	Rp 95.000
		Kabel Injection Hydraulic Pump	1	ELT	Rp 150.000	Rp 150.000
		Dinamo Motor Blower Fan AC HITACHI	1	ELT	Rp 800.000	Rp 800.000
		Evaporator Cooling AC HITACHI	1	ELT	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Elektric Fuel Pump HITACHI	1	ELT	Rp 95.000	Rp 95.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 5.319.792</b>
28	CAT 320 D2-GC (03)	Ring Cylinder Bucket CAT	1	EHC	Rp 325.000	Rp 325.000
		Ring Arm Cylinder CAT	1	EHC	Rp 165.000	Rp 165.000
		Pulley Water Pump 1-13641165-0	1	EHC	Rp 1.250.000	Rp 1.250.000

		Seal Kit Bucket CAT	1	EHC	Rp 450.000	Rp 450.000
		Solenoid Switch Starter CAT	1	ELT	Rp 375.000	Rp 375.000
		Sensor Pressure Main Pump	1	ELT	Rp 1.050.000	Rp 1.050.000
		Bendix Starter / Pinion Starter CAT	1	ELT	Rp 475.000	Rp 475.000
		Compressor AC Denso CAT	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 6.940.000</b>	
29	HYUNDAI HX-210S (10)	Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
		Soket Konektor Sensor Temperatur Mesin	1	ELT	Rp 95.000	Rp 95.000
		Aki INCOE N150 12 Volt	1	ELT	Rp 2.203.000	Rp 2.203.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 2.698.000</b>	
30	CAT 320 (07)	Sprocket-Track 16 Lubang CAT 320 D2	1	UCT	Rp 3.160.656	Rp 3.160.656
		Water Pump PN.3285410 CAT	1	EHC	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Piston Ring Kit CAT	1	EHC	Rp 300.000	Rp 300.000
		Pompa Grease	1	LUB	Rp 200.000	Rp 200.000
		Sensor Pressure Main Pump	1	ELT	Rp 1.050.000	Rp 1.050.000
		Bendix Starter / Pinion Starter CAT	1	ELT	Rp 475.000	Rp 475.000
		Compressor AC Denso CAT	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 9.535.656</b>	
31	CAT 320 (01)	Sprocket-Track 16 Lubang CAT 320 D2	1	UCT	Rp 3.160.656	Rp 3.160.656
		Water Pump PN.3285410 CAT	1	EHC	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Piston Ring Kit CAT	1	EHC	Rp 300.000	Rp 300.000

		Sensor Pressure Main Pump	1	ELT	Rp 1.050.000	Rp 1.050.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
		Compressor AC Denso CAT	1	ELT	Rp 2.850.000	Rp 2.850.000
		Evaporator Cooling AC CAT	1	ELT	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		Dinamo Motor Blower Fan AC CAT	1	ELT	Rp 800.000	Rp 800.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 11.260.656</b>	
32	HYUNDAI HX-210S (08)	Seal Kit Cylinder Boom Lift Hyundai	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Cap Cylinder Bucket Hyundai	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Mounting Cushion Engine R200/210 Hyundai	2	EHC	Rp 179.375	Rp 358.750
		Coupling Hyundai HX210 DJF	1	EHC	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
		Soket Konektor Sensor Temperatur Mesin	1	ELT	Rp 95.000	Rp 95.000
		Aki INCOE N150 12 Volt	1	ELT	Rp 2.203.000	Rp 2.203.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 7.331.750</b>	
33	CAT 320 (03)	Water Pump PN.3285410 CAT	1	EHC	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Piston Ring Kit CAT	1	EHC	Rp 300.000	Rp 300.000
		Sensor Pressure Main Pump	1	ELT	Rp 1.050.000	Rp 1.050.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
		<b>TOTAL</b>			<b>Rp 3.250.000</b>	
34	HYUNDAI HX-210S (01)	Roller GP-Track Carrier PN.8E-5600 Hyundai	1	UCT	Rp 1.629.792	Rp 1.629.792

		Roller GP-Track Single Flange PN.423-3580	1	UCT	Rp 2.872.656	Rp 2.872.656
		Hyundai				
		Ring Gear Swing Hyundai EK XKAQ-00073	1	UCT	Rp 4.000.000	Rp 4.000.000
		Turbo Hose Hyundai 6D16T EK 11N6-26030	1	EHC	Rp 600.000	Rp 600.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
		Soket Konektor Sensor Temperatur Mesin	1	ELT	Rp 95.000	Rp 95.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 9.597.448</b>
35	HITACHI (07)	Sprocket-Track 16 Lubang HITACHI	1	UCT	Rp 3.160.656	Rp 3.160.656
		Roller GP-Track Carrier PN.8E-5600 HITACHI	1	UCT	Rp 1.629.792	Rp 1.629.792
		Pompa Grease	1	LUB	Rp 200.000	Rp 200.000
		Evaporator Cooling AC	1	ELT	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
		AKI GS Astra N 150 15 Ah 12 V	1	ELT	Rp 2.495.000	Rp 2.495.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 8.685.448</b>
36	HITACHI (02)	Sprocket-Track 16 Lubang HITACHI	1	UCT	Rp 3.160.656	Rp 3.160.656
		Roller GP-Track Carrier PN.8E-5600 HITACHI	1	UCT	Rp 1.629.792	Rp 1.629.792
		Adaptor Kuku Bucket HITACHI	1	UCT	Rp 950.000	Rp 950.000
		Cap Cylinder Bucket HITACHI	1	EHC	Rp 1.750.000	Rp 1.750.000
		Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 3.500.000	Rp 3.500.000
		Hydraulic Pump Parts Disc Drive	1	EHC	Rp 3.800.000	Rp 3.800.000
		Dinamo Motor Blower Fan AC HITACHI	1	ELT	Rp 800.000	Rp 800.000
		<b>TOTAL</b>				<b>Rp 15.590.448</b>

37	HITACHI (08)	Roller GP-Track Carrier PN.8E-5600 HITACHI	1	UCT	Rp 1.629.792	Rp 1.629.792
		Adaptor Kuku Bucket HITACHI	1	UCT	Rp 950.000	Rp 950.000
		Seal Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Machinery bucket spindle rubber Oil Seal	1	EHC	Rp 493.495	Rp 493.495
		Cylinder SMC CDM2B40-25Z	1	EHC	Rp 1.450.000	Rp 1.450.000
		Relief Valve 4372038 HITACHI	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Solenoid Engine Stop	1	ELT	Rp 375.000	Rp 375.000
		Sensor Pressure Main Pump	1	ELT	Rp 1.050.000	Rp 1.050.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 7.998.287</b>
38	SANY SY215C (02)	Machinery bucket spindle rubber Oil Seal	1	EHC	Rp 493.495	Rp 493.495
		Oil Pump 1-13100277-0 SANY	1	EHC	Rp 3.500.000	Rp 3.500.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 3.993.495</b>
39	CAT 320 (04)	Water Pump PN.3285410 CAT	1	EHC	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Piston Ring Kit CAT	1	EHC	Rp 300.000	Rp 300.000
		Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 3.500.000	Rp 3.500.000
		Sensor Pressure Main Pump	1	ELT	Rp 1.050.000	Rp 1.050.000
		Soket Konektor Harness Pompa	1	ELT	Rp 400.000	Rp 400.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 6.750.000</b>
40	HITACHI (01)	Seal Kit Cylinder Boom Lift HITACHI	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
		Machinery bucket spindle rubber Oil Seal	1	EHC	Rp 493.495	Rp 493.495
		Cylinder SMC CDM2B40-25Z	1	EHC	Rp 1.450.000	Rp 1.450.000

		Relief Valve 4372038 HITACHI	1	EHC	Rp 1.025.000	Rp 1.025.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 3.993.495</b>
41	CAT 320 (05)	Water Pump PN.3285410 CAT	1	EHC	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
		Piston Ring Kit CAT	1	EHC	Rp 300.000	Rp 300.000
		Sensor Pressure Main Pump	1	ELT	Rp 1.050.000	Rp 1.050.000
		Solenoid Engine Stop	1	ELT	Rp 375.000	Rp 375.000
		Dinamo Motor Blower Fan AC CAT	1	ELT	Rp 800.000	Rp 800.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 4.025.000</b>
42	CAT 320 (10)	Oil Pump CAT	1	EHC	Rp 1.100.000	Rp 1.100.000
		Piston CAT Engine C7.1	1	EHC	Rp 1.100.000	Rp 1.100.000
		Injector 326-4740 CAT 320	1	EHC	Rp 6.883.000	Rp 6.883.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 9.083.000</b>
43	CAT 320 (06)	Oil Pump CAT 3014	1	EHC	Rp 5.028.000	Rp 5.028.000
		Flameout Solenoid Valve Engine CAT 6N-9988	1	EHC	Rp 3.325.000	Rp 3.325.000
		Evaporator Cooling AC CAT	1	ELT	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 9.553.000</b>
44	CAT 320 (09)	Gear Centre Transmisi 3089266	1	EPT	Rp 5.028.000	Rp 5.028.000
		Gear Pump 9217993 CAT	1	EPT	Rp 3.181.500	Rp 3.181.500
		Oil Pump CAT	1	EHC	Rp 1.100.000	Rp 1.100.000
		Oil Pressure Sensor 2746721	1	ELT	Rp 344.000	Rp 344.000
		Solenoid Switch Starter CAT	1	ELT	Rp 375.000	Rp 375.000

		AKI GS Astra N 150 15 Ah 12 V	1	ELT	Rp 2.495.000	Rp 2.495.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 12.523.500</b>
45	CAT 320 (02)	Element Oil Cooler Engine S6K 3066 CAT	1	EHC	Rp 853.000	Rp 853.000
		Universal Cardan Joint Coupling CAT	1	EHC	Rp 1.459.000	Rp 1.459.000
		Piston Ring Kit CAT	1	EHC	Rp 300.000	Rp 300.000
		Relief Vale Oil Suction Control Valve 250-2508 116-3600	1	ELT	Rp 3.835.000	Rp 3.835.000
		Sensor Pressure Main Pump	1	ELT	Rp 1.050.000	Rp 1.050.000
		Bendix Starter / Pinion Starter CAT	1	ELT	Rp 475.000	Rp 475.000
		Dinamo Motor Blower Fan AC CAT	1	ELT	Rp 800.000	Rp 800.000
					<b>TOTAL</b>	<b>Rp 8.772.000</b>



**Keterangan Kategori Service Ekskavator:**

1. *Chasis, Body, Vessel* (CBV) kategori: *dump, cabin, mounting,*
2. *Others* (OTH) kategori: perlengkapan dan peralatan mekanik,
3. *Breaking, Suspension, Wheels* (BSW) kategori: rem, per, roda,
4. *Engine, Hydraulic* (EHC) kategori: *engine, hose, v-belt* pada alat berat,
5. *Electrical* (ELT) kategori: kelistrikan,
6. *Engine, Powertrain* (EPT) kategori: *engine, kopling, transmisi, gardan,*
7. *Lubricant* (LUB) kategori: *grease,*
8. *Service* (SRV) kategori: filter dan *service general* dan
9. *Undercarrige, Tools, Cabin* (UCT) kategori: kuku, *track* dan *adjuster.*

Dari penyajian pada table IV. 3 dapat dilihat bahwa selama bulan April 2022 kegiatan *corrective maintenance* pada unit *excavator* telah mengeluarkan biaya sebesar **Rp369.204.273**. Hal tersebut merupakan biaya yang cukup tinggi mengingat bahwa *excavator* merupakan unit alat berat yang cukup vital dalam proses produksi.

## 4.2 Pengolahan Data

**Tabel IV.4 Analisis Dist. Weibull Pada Unit CAT 320 D2-GC 01**

Data	MTBF	p	w	$w^{(1/a)}$	$x*w^{(1/a)}$	$w^{(2/a)}$	MTBF <sub>pred</sub>	Error
1	20	0,011	0,004852503	0,035927702	0,718554036	0,0012908	20	0
2	20	0,033	0,014723257	0,071837126	1,460688224	0,005160573	20	0,111111111
3	20	0,056	0,024823584	0,099533683	2,023851559	0,009906954	21	0,444444444
4	21	0,078	0,035164417	0,123703861	2,566855108	0,015302645	21	0,0625
5	21	0,1	0,045757491	0,145805342	3,110513958	0,021259198	21	0,111111111
6	22	0,122	0,056615418	0,166533187	3,663730112	0,027733302	22	0
7	22	0,144	0,067751784	0,186287938	4,098334625	0,034703196	22	0
8	22	0,167	0,079181246	0,205328139	4,517219054	0,042159645	22	0
9	23	0,189	0,090919649	0,22383422	5,036269943	0,050101758	22	0,25
10	23	0,211	0,102984161	0,241939699	5,443643221	0,058534818	23	0,25
11	23	0,233	0,115393419	0,259748141	5,844333165	0,067469097	23	0,25
12	24	0,256	0,128167707	0,277343133	6,517563618	0,076919213	23	0,25
13	24	0,278	0,141329153	0,294794534	6,927671559	0,086903818	23	0,25
14	25	0,3	0,15490196	0,312162607	7,647983874	0,097445493	23	2,25
15	25	0,322	0,168912674	0,329500871	8,072771351	0,108570824	24	0,25
16	25	0,344	0,183390498	0,346858177	8,498025327	0,120310595	24	0,25
17	25	0,367	0,198367654	0,364280266	9,228433398	0,132700112	24	1,777777778
18	25	0,389	0,21387982	0,381811018	9,381642154	0,145779653	24	0,326530612

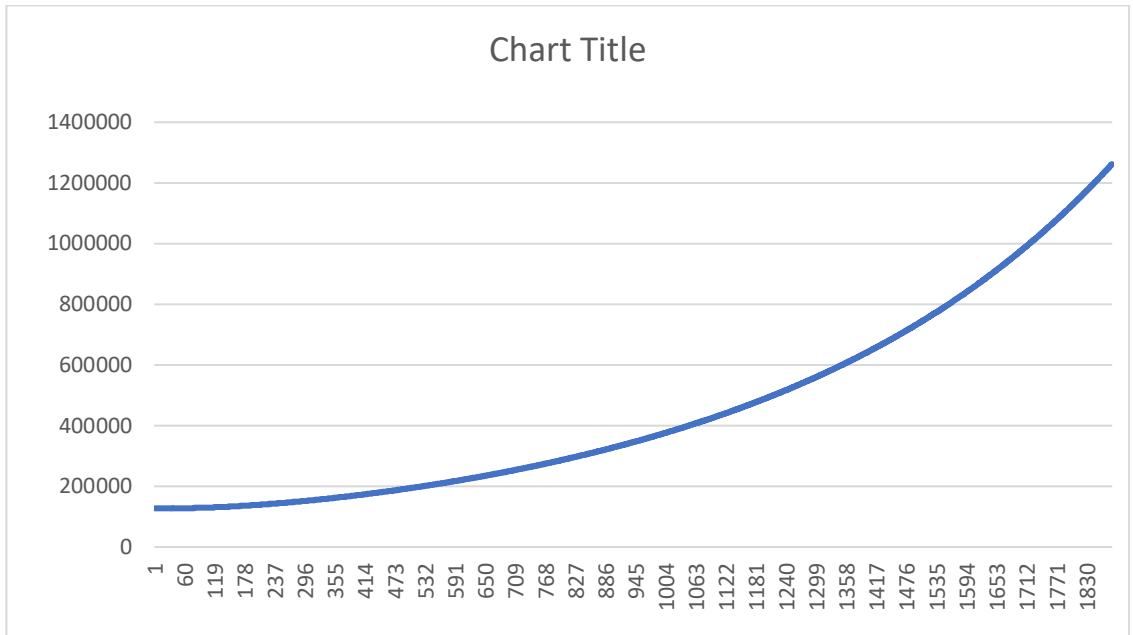
19	25	0,411	0,22996664	0,399493485	9,887463759	0,159595045	25	0,0625
20	25	0,433	0,246672333	0,417370806	10,43427015	0,17419839	25	0
21	25	0,456	0,264046429	0,435487057	10,88717643	0,189648977	25	0
22	25	0,478	0,282144652	0,453888095	11,34720239	0,206014403	25	0
23	25	0,5	0,301029996	0,472622431	11,81556078	0,223371962	26	1
24	26	0,522	0,320774054	0,491742182	12,78529674	0,241810374	26	0
25	26	0,544	0,341458653	0,511304157	13,29390807	0,26143194	26	0
26	26	0,567	0,363177902	0,531371121	13,81564914	0,282355268	26	0
27	26	0,589	0,386040785	0,552013335	14,3523467	0,304718722	27	1
28	27	0,611	0,410174465	0,573310447	15,47938208	0,328684869	27	0
29	28	0,633	0,43572857	0,595353895	16,66990906	0,35444626	27	1
30	29	0,656	0,462880816	0,618249991	18,13533307	0,382233051	28	1,777777778
31	30	0,678	0,491844512	0,642123997	19,2637199	0,412323227	28	4
32	31	0,7	0,522878745	0,66712558	20,84767436	0,445056539	28	10,5625
33	31	0,722	0,556302501	0,693436311	21,14980748	0,480853917	29	2,25
34	31	0,744	0,592514673	0,721280199	22,11925944	0,520245126	29	2,777777778
35	31	0,767	0,632023215	0,750938906	23,3992563	0,56390924	29	4,6656
36	31	0,789	0,675488908	0,78277441	24,52693152	0,612735777	30	1,777777778
37	32	0,811	0,723793588	0,81726404	26,15244929	0,667920512	30	4
38	33	0,833	0,77815125	0,855057027	27,8962355	0,731122519	31	2,640625
39	33	0,856	0,840299157	0,897070853	29,60333814	0,804736115	31	4

40	33	0,878	0,912849824	0,944666885	31,17400721	0,892395524	32	1
41	34	0,9	1	1	34	1	33	1
42	34	0,922	1,109144469	1,066803686	36,27132531	1,138070104	33	1
43	35	0,944	1,255272505	1,152494039	40,33729136	1,32824251	35	0
44	35	0,967	1,477121255	1,275735295	44,65073534	1,627500544	36	1
45	35	0,989	1,954242509	1,519314441	53,68244357	2,308316369	39	13
<b>SUM</b>	<b>1209</b>			23,90552231	708,7360574	17,74418898		1
<b>AVERAGE</b>	<b>26,858</b>							
a	1,602		C1	Rp 2.548.395				
b	13,218		C2	Rp 7.105.000				
c	19,836		CONSTRAIN	100				

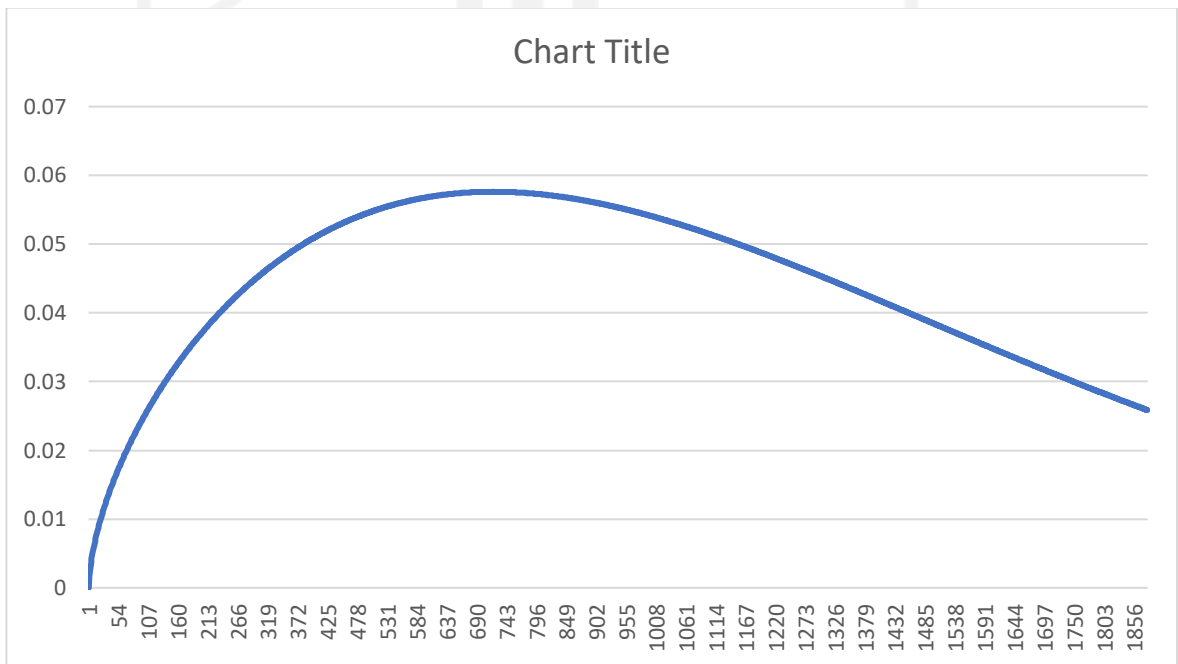
Selanjutnya di bawah ini dilakukan perhitungan untuk mendapatkan minimum *maintenance cost* pada tabel IV. 5 untuk unit alat berat.

**Tabel IV.5 Analisis Maintenance Cost Unit CAT 320 D2-GC 01**

<b>t</b>	<b>F(t)</b>	<b>f(t)</b>	<b>TC</b>	<b>Min TC</b>	<b>Max f(t)</b>
19,836	0	0	128473,9302	<b>Rp 127.653</b>	0,05761593
19,84589196	1,00054E-05	0,001602743	128412,0032		
19,85589196	3,03701E-05	0,002432429	128356,1671		
19,86589196	5,81457E-05	0,003104664	128304,191		
19,87589196	9,21823E-05	0,003691462	128255,4185		
20,16589196	0,002704781	0,01311176	<b>127653,0539</b>		
20,17589196	0,002837081	0,013347711	127653,1239		
20,18589196	0,002971726	0,013580799	127654,342		
20,19589196	0,003108688	0,013811136	127656,6937		
20,20589196	0,00324794	0,014038822	127660,1651		
20,21589196	0,003389456	0,014263955	127664,743		
21,82589196	0,047023599	0,036948167	138530,8404		
21,83589196	0,047393567	0,037045419	138647,3345		
21,84589196	0,047764506	0,037142325	138764,3347		
21,85589196	0,048136413	0,037238886	138881,8397		
21,86589196	0,048509283	0,037335104	138999,8486		
21,87589196	0,048883114	0,03743098	139118,3603		
21,88589196	0,049257901	0,037526516	139237,3736		
21,89589196	0,049633643	0,037621714	139356,8874		
26,98589196	0,311805314	0,057615617	256294,5756		
26,99589196	0,312381472	0,057615828	256634,4685		
27,00589196	0,312957631	<b>0,05761593</b>	256974,8397		
27,01589196	0,31353379	0,057615925	257315,6896		
27,02589196	0,314109949	0,057615811	257657,0188		
26,98589196	0,311805314	0,057615617	256294,5756		
38,61589196	0,827120801	0,025881856	1260131,741		
38,62589196	0,827379468	0,025851413	1261967,896		



**Gambar IV.1 Grafik Minimum Total Cost Maintenance CAT 320 D2-GC 01**



**Gambar IV.2 Grafik Distribusi Weibul Unit CAT 320 D2-GC 01**

**Tabel IV.6 Analisis Distribusi Weibull Unit CAT 320 D2-GC (02)**

Data	MTBF	p	w	$w^{(1/a)}$	$x*w^{(1/a)}$	$w^{(2/a)}$	MTBF <sub>pred</sub>	Error
1	20	0,011	0,004852503	0,066594314	1,331886281	0,004434803	19	1,00
2	20	0,033	0,014723257	0,117092151	2,380873741	0,013710572	20	0,11
3	20	0,056	0,024823584	0,152712394	3,105152003	0,023321075	20	0,11
4	21	0,078	0,035164417	0,182293512	3,782590374	0,033230925	21	0,06
5	21	0,1	0,045757491	0,208409036	4,446059431	0,043434326	21	0,11
6	22	0,122	0,056615418	0,232238322	5,109243074	0,053934638	21	1,00
7	22	0,144	0,067751784	0,254440131	5,597682882	0,06473978	22	0,00
8	22	0,167	0,079181246	0,275428107	6,05941835	0,075860642	22	0,00
9	23	0,189	0,090919649	0,295483383	6,648376121	0,08731043	22	0,25
10	23	0,211	0,102984161	0,314808516	7,08319162	0,099104402	22	0,25
11	23	0,233	0,115393419	0,333556285	7,505016408	0,111259795	23	0,25
12	24	0,256	0,128167707	0,351846358	8,268389408	0,123795859	23	0,25
13	24	0,278	0,141329153	0,369775571	8,689725907	0,136733973	23	0,25
14	25	0,3	0,15490196	0,38742459	9,491902455	0,150097813	24	0,25
15	25	0,322	0,168912674	0,404862435	9,919129647	0,163913591	24	0,25
16	25	0,344	0,183390498	0,422149661	10,3426667	0,178210337	24	0,25
17	25	0,367	0,198367654	0,4393407	11,1299644	0,193020251	24	1,78
18	25	0,389	0,21387982	0,456485629	11,21650403	0,208379129	25	0,18
19	25	0,411	0,22996664	0,473631579	11,72238158	0,224326873	25	0,06

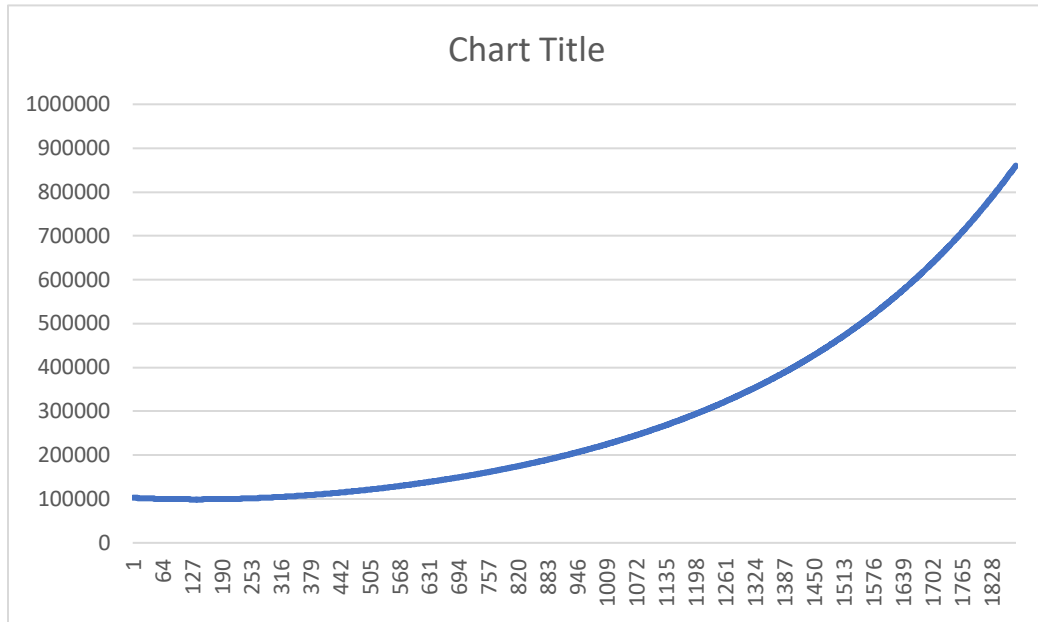
20	25	0,433	0,246672333	0,490823896	12,27059741	0,240908097	25	0,00
21	25	0,456	0,264046429	0,508107152	12,7026788	0,258172878	25	0,00
22	25	0,478	0,282144652	0,525526064	13,1381516	0,276177644	26	1,00
23	25	0,5	0,301029996	0,54312639	13,57815976	0,294986276	26	1,00
24	26	0,522	0,320774054	0,560955839	14,58485182	0,314671454	26	0,00
25	26	0,544	0,341458653	0,579065045	15,05569117	0,335316326	26	0,00
26	26	0,567	0,363177902	0,597508665	15,53522529	0,357016605	27	1,00
27	26	0,589	0,386040785	0,61634666	16,02501315	0,379883205	27	1,00
28	27	0,611	0,410174465	0,635645836	17,16243758	0,404045629	27	0,00
29	28	0,633	0,43572857	0,655481768	18,3534895	0,429656348	27	1,00
30	29	0,656	0,462880816	0,675941232	19,82760947	0,456896549	28	1,78
31	30	0,678	0,491844512	0,697125396	20,91376188	0,485983818	28	4,00
32	31	0,7	0,522878745	0,71915406	22,47356439	0,517182562	28	10,56
33	31	0,722	0,556302501	0,742171456	22,63622941	0,55081847	29	2,25
34	31	0,744	0,592514673	0,76635436	23,50153372	0,587299006	29	2,78
35	31	0,767	0,632023215	0,791923781	24,67634501	0,627143275	29	4,67
36	31	0,789	0,675488908	0,819162311	25,66708574	0,671026892	30	1,78
37	32	0,811	0,723793588	0,84844088	27,15010817	0,719851928	30	4,00
38	33	0,833	0,77815125	0,880261829	28,71854218	0,774860888	31	2,64
39	33	0,856	0,840299157	0,915332087	30,20595886	0,837832829	31	4,00
40	33	0,878	0,912849824	0,954696162	31,50497335	0,911444762	32	1,00



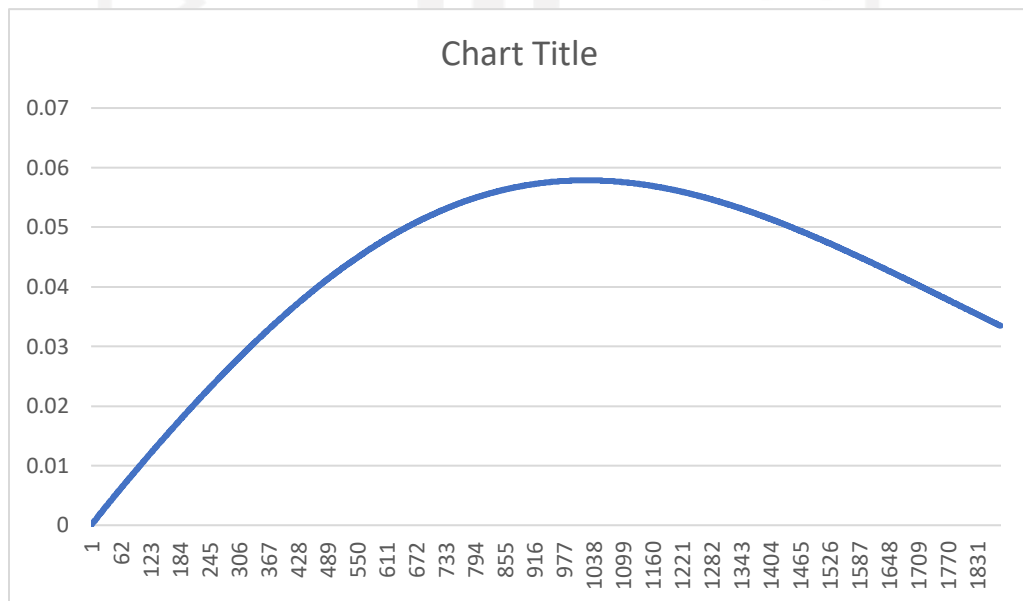
41	34	0,9	1	1	34	1	33	1,00
42	34	0,922	1,109144469	1,054081172	35,83875986	1,111087118	33	1,00
43	35	0,944	1,255272505	1,122543061	39,28900715	1,260102925	34	1,00
44	35	0,967	1,477121255	1,219379996	42,67829985	1,486887574	36	1,00
45	35	0,989	1,954242509	1,405875977	49,67428451	1,976487262	38	7,11
<b>SUM</b>	<b>1209</b>			26,06360375	760,992514	19,25455953		1
<b>AVERAGE</b>	<b>26,858</b>							
a	1,967		C1	Rp 1.888.395				
b	14,663		C2	Rp 5.465.000				
c	18,365		CONSTRAIN	100				

**Tabel IV.7 Analisis Maintenance Cost Unit CAT 320 D2-GC (02)**

<b>t</b>	<b>F(t)</b>	<b>f(t)</b>	<b>TC</b>	<b>Min TC</b>	<b>Max f(t)</b>
18,365	0	0	102823,2924	<b>Rp 99.208</b>	0,057870019
18,37543992	5,92615E-07	0,000116554	102767,4529		
18,38543992	2,31649E-06	0,0002278	102712,132		
18,39543992	5,14235E-06	0,000337127	102657,3137		
18,40543992	9,05497E-06	0,000445225	102602,9905		
18,41543992	1,40439E-05	0,000552418	102549,1569		
19,71543992	0,009134158	0,013246321	<b>99207,51301</b>		
19,72543992	0,009267086	0,01333938	99207,59581		
19,73543992	0,009400945	0,013432379	99208,04516		
19,74543992	0,009535733	0,013525316	99208,86059		
19,75543992	0,009671451	0,013618191	99210,04159		
19,76543992	0,009808097	0,013711005	99211,58767		
28,53543992	0,385510167	0,057868771	227630,9592		
28,54543992	0,386088857	0,057869232	227945,8038		
28,55543992	0,386667551	0,057869587	228261,1747		
28,56543992	0,387246248	0,057869837	228577,0728		
28,57543992	0,387824947	0,05786998	228893,4989		
28,58543992	0,388403647	<b>0,057870019</b>	229210,4538		
28,59543992	0,388982347	0,057869952	229527,9384		
28,60543992	0,389561046	0,057869779	229845,9535		
28,61543992	0,390139743	0,057869502	230164,5001		
37,09543992	0,801807881	0,033683785	851416,7835		
37,10543992	0,80214452	0,033643929	852884,9866		
37,11543992	0,80248076	0,03360408	854356,163		
37,12543992	0,802816601	0,03356424	855830,3196		
37,13543992	0,803152045	0,033524409	857307,4634		
37,14543992	0,803487089	0,033484587	858787,6015		



**Gambar IV.3 Grafik Minimum Total Cost Maintenance CAT 320 D2-GC 02**



**Gambar IV.4 Grafik Distribusi Weibul Unit CAT 320 D2-GC 02**

**Tabel IV.8 Analisis Distribusi Weibull Unit CAT 320 GC (01)**

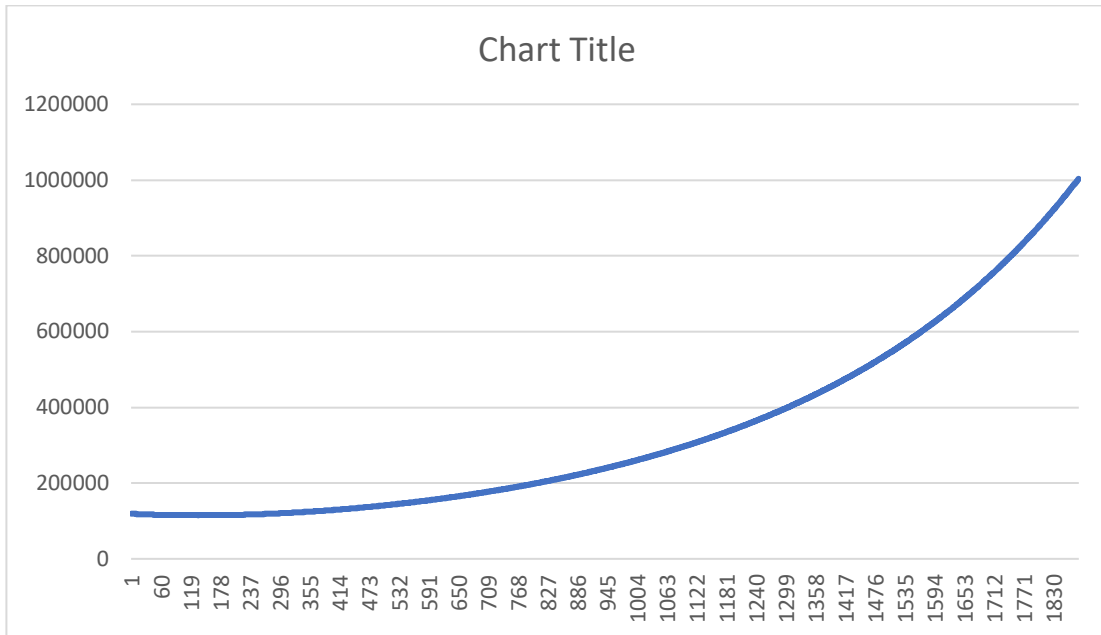
<b>Data</b>	<b>MTBF</b>	<b>p</b>	<b>w</b>	<b>w<sup>(1/a)</sup></b>	<b>x*w<sup>(1/a)</sup></b>	<b>w<sup>(2/a)</sup></b>	<b>MTBF<sub>pred</sub></b>	<b>Error</b>
1	20	0,011	0,004852503	0,066017331	1,320346611	0,004358288	19	1,00
2	20	0,033	0,014723257	0,116288251	2,364527779	0,013522957	20	0,11
3	20	0,056	0,024823584	0,151793383	3,086465449	0,023041231	20	0,11
4	21	0,078	0,035164417	0,181299566	3,761965997	0,032869533	21	0,06
5	21	0,1	0,045757491	0,207361852	4,423719514	0,042998938	21	0,11
6	22	0,122	0,056615418	0,231151771	5,085338967	0,053431141	21	1,00
7	22	0,144	0,067751784	0,253323988	5,573127729	0,064173043	22	0,00
8	22	0,167	0,079181246	0,274289719	6,034373822	0,07523485	22	0,00
9	23	0,189	0,090919649	0,294328545	6,622392259	0,086629292	22	0,25
10	23	0,211	0,102984161	0,313641966	7,056944241	0,098371283	22	0,25
11	23	0,233	0,115393419	0,332382017	7,478595376	0,110477805	23	0,25
12	24	0,256	0,128167707	0,350667824	8,240693865	0,122967923	23	0,25
13	24	0,278	0,141329153	0,368595821	8,662001801	0,135862879	23	0,25
14	25	0,3	0,15490196	0,386246373	9,463036147	0,149186261	24	0,25
15	25	0,322	0,168912674	0,40368827	9,890362618	0,162964219	24	0,25
16	25	0,344	0,183390498	0,420981897	10,31405648	0,177225758	24	0,25
17	25	0,367	0,198367654	0,438181557	11,10059945	0,192003077	24	1,78
18	25	0,389	0,21387982	0,455337238	11,18828643	0,207332001	25	0,18
19	25	0,411	0,22996664	0,472496011	11,69427628	0,223252481	25	0,06

20	25	0,433	0,246672333	0,48970319	12,24257976	0,239809215	25	0,00
21	25	0,456	0,264046429	0,507003338	12,67508345	0,257052385	25	0,00
22	25	0,478	0,282144652	0,524441188	13,11102969	0,275038559	26	1,00
23	25	0,5	0,301029996	0,542062535	13,55156336	0,293831791	26	1,00
24	26	0,522	0,320774054	0,559915148	14,55779385	0,313504973	26	0,00
25	26	0,544	0,341458653	0,578049747	15,02929343	0,334141511	26	0,00
26	26	0,567	0,363177902	0,596521103	15,50954867	0,355837426	27	1,00
27	26	0,589	0,386040785	0,615389316	16,00012221	0,37870401	27	1,00
28	27	0,611	0,410174465	0,634721372	17,13747705	0,40287122	27	0,00
29	28	0,633	0,43572857	0,654593062	18,32860574	0,428492077	27	1,00
30	29	0,656	0,462880816	0,675091432	19,80268201	0,455748442	28	1,78
31	30	0,678	0,491844512	0,69631798	20,8895394	0,484858729	28	4,00
32	31	0,7	0,522878745	0,718392915	22,44977858	0,51608838	28	10,56
33	31	0,722	0,556302501	0,741460977	22,6145598	0,54976438	29	2,25
34	31	0,744	0,592514673	0,765699589	23,48145405	0,58629586	29	2,78
35	31	0,767	0,632023215	0,791330581	24,65786092	0,626204089	29	4,67
36	31	0,789	0,675488908	0,818637626	25,65064561	0,670167563	30	1,78
37	32	0,811	0,723793588	0,847993092	27,13577893	0,719092283	30	4,00
38	33	0,833	0,77815125	0,879901301	28,70677995	0,7742263	31	2,64
39	33	0,856	0,840299157	0,915072018	30,19737659	0,837356798	31	4,00
40	33	0,878	0,912849824	0,954554001	31,50028204	0,911173341	32	1,00

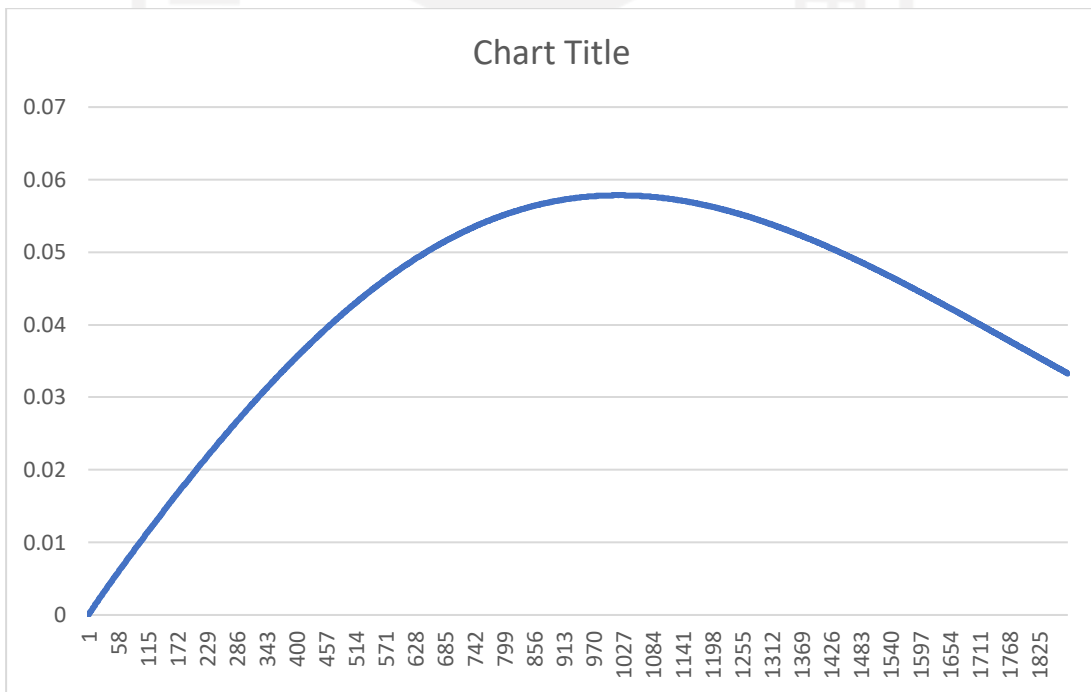
41	34	0,9	1	1	34	1	33	1,00
42	34	0,922	1,109144469	1,054259514	35,84482348	1,111463123	33	1,00
43	35	0,944	1,255272505	1,122959943	39,30359801	1,261039034	34	1,00
44	35	0,967	1,477121255	1,220157096	42,70549835	1,488783338	36	1,00
45	35	0,989	1,954242509	1,407415159	49,72866897	1,980817431	38	7,11
<b>SUM</b>	<b>1209</b>			26,02971661	760,1735347	19,22826522		1
<b>AVERAGE</b>	<b>26,858</b>							
<b>a</b>	<b>1,960</b>		<b>C1</b>	<b>Rp 2.188.395</b>				
<b>b</b>	14,639		<b>C2</b>	<b>Rp 6.370.000</b>				
<b>c</b>	18,390		CONSTRAIN	100				

**Tabel IV.9 Analisis Maintenance Cost Unit CAT 320 GC (01)**

t	F(t)	f(t)	TC	Min TC	Max f(t)
18,390	0	0	118998,2872	Rp 114.914	0,057844972
18,40013864	6,22419E-07	0,000122024	118933,7591		
18,41013864	2,4224E-06	0,000237452	118869,8563		
18,42013864	5,36374E-06	0,000350515	118806,5561		
18,43013864	9,42771E-06	0,000462068	118743,8476		
18,44013864	1,46014E-05	0,000572511	118681,7236		
19,72013864	0,009033947	0,013256098	<b>114913,6338</b>		
19,73013864	0,009166978	0,013350022	114914,0421		
19,74013864	0,009300948	0,01344388	114914,8804		
19,75013864	0,009435855	0,013537671	114916,1481		
25,51013864	0,216035856	0,052539313	178116,4095		
25,52013864	0,216561427	0,052574916	178333,2339		
25,53013864	0,217087354	0,052610396	178550,4671		
25,54013864	0,217613634	0,052645753	178768,1094		
25,55013864	0,218140268	0,052680988	178986,1613		
26,99013864	0,297038638	0,056480241	214897,4813		
27,00013864	0,297603528	0,056497882	215180,047		
27,01013864	0,298168595	0,056515403	215463,099		
28,56013864	0,387147245	<b>0,057844972</b>	265673,967		
29,98013864	0,468807329	0,056843479	324589,7315		
29,99013864	0,469375695	0,056829713	325056,0399		
30,00013864	0,469943923	0,05681586	325523,1286		
30,01013864	0,470512012	0,056801919	325990,9991		
37,15013864	0,803331015	0,033423181	998212,35		
37,16013864	0,803665048	0,033383496	999931,853		
37,17013864	0,803998685	0,03334382	1001654,831		
37,18013864	0,804331924	0,033304153	1003381,291		



**Gambar IV.5 Grafik Minimum Total Cost Maintenance CAT 320 G C 01**



**Gambar IV.6 Grafik Distribusi Weibul Unit CAT 320 GC 01**



## BAB V

### PEMBAHASAN

#### 5.1 Kegiatan *Maintenance*

Perusahaan saat ini melakukan kegiatan *maintenance* dengan sistem penjadwalan hanya dengan waktu satu bulan sekali, baik itu kegiatan *preventive* ataupun *corrective maintenance*. Kendala yang biasanya terjadi ialah lokasi alat berat yang sulit diakses, kekurangan personil mekanik alat berat, ketersediaan *sparepart*, berfokus pada target produksi dll. Hal tersebut tentu saja akan membutuhkan biaya yang cukup tinggi.

Alat berat seperti *excavator* adalah unit yang paling sering mengalami *breakdown*. Selama periode April 2022, unit tersebut telah mengalami *breakdown* sebanyak 208 kali. Tentu saja semakin sering unit tersebut mengalami *breakdown*, maka semakin tinggi pula biaya yang dikeluarkan.

Dalam hal ini seharusnya kegiatan *maintenance* harus menjadi perhatian agar bisa memaksimalkan operasional pada proses produksi dengan biaya serendah mungkin. Salah satu caranya pihak perusahaan perlu mengetahui kapan interval waktu terbaik dalam melakukan kegiatan *maintenance* dengan ekspektasi biaya serendah mungkin.

#### 5.2 *Mean Time Between Failure (MTBF)*

Data MTBF didapatkan dengan hasil perhitungan dari 3 data yaitu data *up time*, data *down time* dan frekuensi *breakdown*. Pada tahap ini setelah data MTBF didapatkan, kemudian dilakukan analisis optimasi dengan memanfaatkan fitur Solver pada Microsoft Excel untuk setiap masing-masing unit *excavator* sebanyak 45 unit. Selanjutnya pada tabel IV.4, data dari *preventive* dan *corrective maintenance cost*

untuk tiap masing-masing unit dimasukkan ke dalam kolom C1 dan C2. C1 merupakan *preventive maintenance cost* dan C2 untuk *correcetive maintenance cost*.

### 5.3 Distribusi Weibull

Konsep awalnya ialah membangun model distribusi Weibull untuk bisa memprediksi nilai dari MTBF. Terdapat tiga parameter dalam distribusi Weibull yaitu a, b dan c. Parameter b dan c telah diketahui nilainya, sedangkan parameter a belum diketahui. Tujuannya ialah mencari nilai a yang bisa meminimumkan error. Error yang dimaksud adalah selisih antara faktual dan prediksi dari nilai MTBF. Sehingga jika error semakin kecil maka akan semakin baik. Setelah nilai a diketahui dimana nilai tersebut merupakan nilai yang paling baik dalam meminimumkan error. Kemudian pada tabel IV. 5 dilakukan perhitungan untuk mendapatkan minimum *cost*.

Analisis pada Tabel IV. 5 menunjukkan nilai yang paling minimum dari total *cost maintenance* pada unit **CAT 320 D2-GC 01** ialah sebesar **Rp 127.653**. dimana periode *maintenance* menunjukkan  $t = 20,16589196$ . Selanjutnya nilai dari t dikonversikan dalam bentuk jam. sehingga hal tersebut menjelaskan bahwa jika perusahaan menerapkan 8 jam/hari kerja, maka kegiatan *maintenance* terbaik dilakukan pada hari ke **20** pukul **09.00** pagi.

Analisis pada tabel IV. 7 menunjukkan nilai yang paling minimum dari total *cost maintenance* pada unit **CAT 320 D2-GC 02** ialah sebesar **Rp 99.208** dimana periode *maintenance* menunjukkan  $t = 19,71543992$ . Selanjutnya nilai dari t dikonversikan dalam bentuk jam. sehingga hal tersebut menjelaskan bahwa jika perusahaan menerapkan 8 jam/hari kerja, maka kegiatan *maintenance* terbaik dilakukan pada hari ke **19** pukul **13.00** siang.

Analisis pada tabel IV. 9 menunjukkan nilai yang paling minimum dari total *cost maintenance* pada unit **CAT 320 GC 01** ialah sebesar **Rp 114.914** dimana periode *maintenance* menunjukkan  $t = 19,72013864$ . Selanjutnya nilai dari t dikonversikan dalam bentuk jam. Sehingga hal tersebut menjelaskan bahwa jika perusahaan

menerapkan 8 jam/hari kerja, maka kegiatan *maintenance* terbaik dilakukan pada hari ke **19** pukul **14.00** siang.

Setelah menganalisis sebanyak 45 unit *excavator*, dapat dilihat bahwa semua kurva dari grafik distribusi Weibull lebih condong miring ke arah kiri. Analisis tersebut membuktikan bahwa unit tersebut lebih baik dan lebih murah untuk diperlakukan sebagai *preventive maintenance*. Sedangkan jika kurvanya lebih condong ke kanan, maka unit tersebut menunjukkan lebih baik dan lebih murah untuk diperlakukan sebagai *corrective maintenance*. Jika kurvanya seimbang dan posisinya pas antara kiri-kanan bisa dikatakan 50:50, maka masih perlu dicari kembali total *cost* yang lebih kecil antara *preventive* dan *corrective maintenance*.

Analisis ini juga dapat dibuktikan dengan melihat rata-rata plot yang dicoba dari hari ke 17 hingga hari ke 38. Total *cost* yang paling minimum rata-rata dari 45 unit tersebut berada pada plot hari ke 19 dan 20. Hal tersebut kembali terbukti bahwa total *cost* akan lebih kecil jika *maintenance* dilakukan sebelum hari 38. Hal ini juga dapat dibuktikan dengan rata-rata nilai MTBF dari 45 unit *excavator* ialah **26,858**. Hal ini berarti rata-rata unit tersebut mengalami *breakdown* pada hari ke **26**. Sejalan dengan hasil tersebut bahwa kembali terbukti dengan rata-rata unit yang diusulkan melakukan *maintenance* pada hari **19** dan hari **20** sehingga lebih condong pada *preventive maintenance*.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

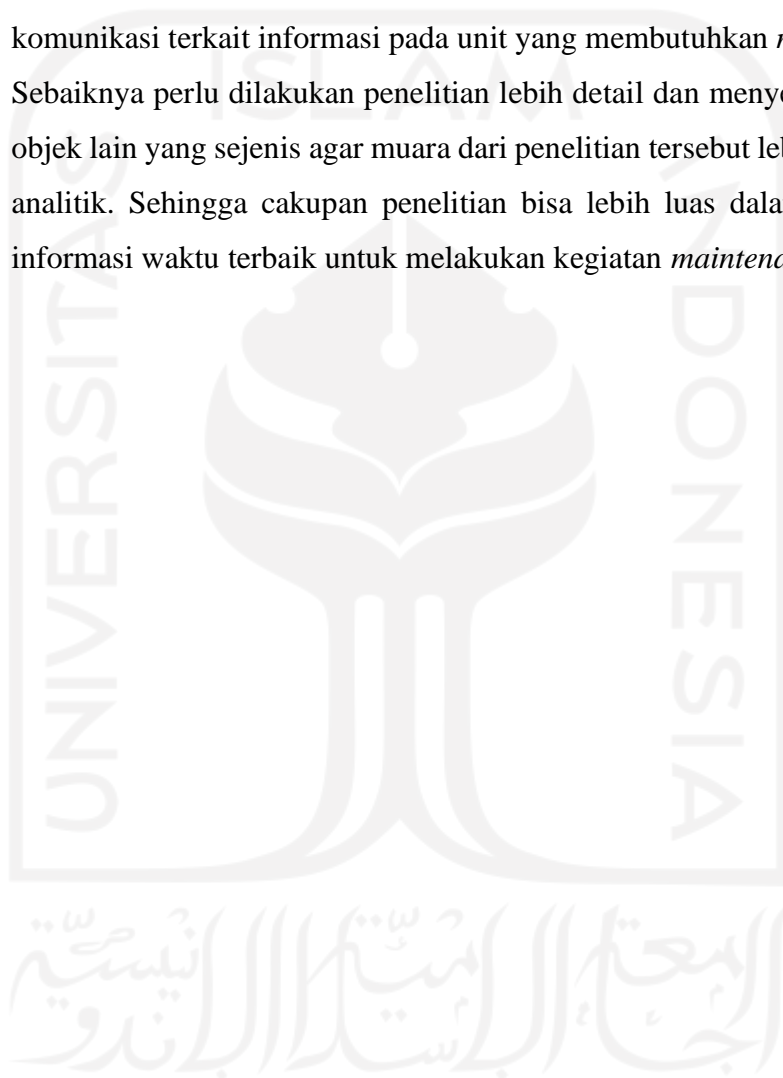
Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dari hasil analisis distribusi Weibull menunjukkan sebanyak 45 unit *excavator*, dapat dilihat bahwa semua kurva dari grafik distribusi Weibull lebih condong miring ke arah kiri. Hal tersebut membuktikan bahwa unit tersebut lebih baik dan lebih murah untuk diperlakukan sebagai *preventive maintenance*. Sedangkan jika kurvanya lebih condong ke kanan, maka unit tersebut menunjukkan lebih baik dan lebih murah untuk diperlakukan sebagai *corrective maintenance*. Jika kurvanya seimbang dan posisinya pas antara kiri-kanan bisa dikatakan 50:50, maka masih perlu dicari kembali total *cost* yang lebih kecil antara *preventive* dan *corrective maintenance*.
2. Hasil dari analisis yang dilakukan juga dapat dibuktikan dengan melihat rata-rata plot yang dicoba dari hari ke 17 hingga hari ke 38. Total *cost* yang paling minimum rata-rata dari 45 unit tersebut berada pada plot hari ke 19 dan 20. Hal tersebut kembali terbukti bahwa total *cost* akan lebih kecil jika *maintenance* dilakukan sebelum hari 38. Hal ini juga dapat dibuktikan dengan rata-rata nilai MTBF dari 45 unit *excavator* ialah **26,858**. Hal ini berarti rata-rata unit tersebut mengalami *breakdown* pada hari ke **26**. Sejalan dengan hasil tersebut bahwa kembali terbukti dengan rata-rata unit yang diusulkan melakukan *maintenance* pada hari **19** dan hari **20** sehingga lebih condong pada *preventive maintenance*.

## 6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk perusahaan maupun penelitian selanjutnya antara lain adalah sebagai berikut:

1. Divisi *planner*, divisi *workshop* dan tim mekanik sebaiknya melakukan komunikasi terkait informasi pada unit yang membutuhkan *maintenance*.
2. Sebaiknya perlu dilakukan penelitian lebih detail dan menyeluruh terhadap objek lain yang sejenis agar muara dari penelitian tersebut lebih ke arah data analitik. Sehingga cakupan penelitian bisa lebih luas dalam memberikan informasi waktu terbaik untuk melakukan kegiatan *maintenance*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Buddhan, A.R., Eswaran, S.P., Ezhil Buddhan, D.M., Sripurushottama, S. 2019. Even Driven Multimodal Augmented Reality based Command and Control Systems for Mining Industry. *Procedia Computer Science*, Vol. 151, pp. 965–970.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.135>
- BULUT, M., ÖZCAN, E. 2021. A new approach to determine maintenance periods of the most critical hydroelectric power plant equipment. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 205, pp. 107238.  
<https://doi.org/10.1016/j.res.2020.107238>
- Castro, I.T., Basten, R.J.I., van Houtum, G.J. 2020. Maintenance cost evaluation for heterogeneous complex systems under continuous monitoring. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 200, pp. 106745.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.135>
- Chaowasakoo, P., Seppälä, H., Koivo, H., Zhou, Q. 2017. Improving fleet management in mines: The benefit of heterogeneous match factor. *European Journal of Operational Research*, Vol. 261, pp. 1052–1065.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.02.039>
- [Cited: 01 November 2022]. Available at:  
<https://kemenperin.go.id/artikel/22864/Penjualan-Meningkat,-Kemenperin-Fokus-Tingkatkan-Produksi-Alat-Berat>
- de Pater, I., Mitici, M., 2021. Predictive maintenance for multi-component systems of repairables with Remaining-Useful-Life prognostics and a limited stock of spare components. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 214, pp. 107761.  
<https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107761>
- Dui, H., Zhang, C., Tian, T., Wu, S. 2022. Different costs-informed component preventive maintenance with system lifetime changes. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 228, pp. 108755.

- <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108755>
- Eraliev, O.M.U., Lee, K.H., Shin, D.Y., Lee, C.H. 2022. Sensing, perception, decision, planning and action autonomous excavators. *Automation in Construction*, Vol. 141.
- <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104428>
- Galar, D., Sandborn, P., Kumar, U. 2017. *Maintenance Cost and Life Cycle Cost Analysis*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- <https://doi.org/10.1201/9781315154183>
- Ghorbani, M., Nourelfath, M., Gendreau, M. 2022. A two-stage stochastic programming model for selective maintenance optimization. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 223, pp. 108480.
- <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108480>
- Girdhar, P., Scheffer, C. 2004. *Predictive maintenance techniques*. In: *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Oxford: Newnes.
- <https://doi.org/10.1016/B978-075066275-8/50001-1>
- Hashemi, M., Asadi, M., Tavangar, M. 2022. Optimal maintenance strategies for coherent systems: A warranty dependent approach. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 217, pp. 108027.
- <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.108027>
- He, B., Cui, W., Du, X. 2016. An additive modified Weibull distribution. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 145, pp. 28-37.
- <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.08.010>
- Hossain, A., Zimmer, W. 2003. Comparison of estimation methods of weibull parameters: complete and censored samples. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, Vol. 73(2), pp. 145-153.
- <https://doi.org/10.1080/00949650215730>
- Hu, W., Yang, Z., Chen, C., Wu, Y., Xie, Q. 2021. A Weibull-based recurrent regression model for repairable systems considering double effects of operation

and maintenance: A case study of machine tools. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 213, pp. 107669.

<https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107669>

Indira Puteri Kinasih. 2021. *Distribusi Weibull: Konsep Dasar & Aplikasinya*. Indonesia: Sanabil.

Jakobsson, E., Frisk, E., Krysander, M., Pettersson, R. 2020. Automated Usage Characterization of Mining Vehicles for Lifetime Prediction. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 53, pp. 11950–11955.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.719>

Kang, K., Zhong, R.Y., Nassehi, A. 2020. Integrated Disassembly and Assembly Model for Heavy Duty Equipment Maintenance. *Procedia CIRP*, Vol. 93, pp. 995–1000.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.086>

Kovacs, K., Ansari, F., Sihn, W. 2021. A modified Weibull model for service life prediction and spare parts forecast in heat treatment industry. *Procedia Manufacturing*, Vol. 54, pp. 172–177.

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.07.026>

Liu, C., AbouRizk, S., Morley, D., Lei, Z. 2020. Data Driven Simulation Based Analytics for Heavy Equipment Life-Cycle Cost. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 146(5).

DOI: [10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001816](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001816)

Markudova, D., Mishra, S., Cagliero, L., Vassio, L., Mellia, M., Baralis, E., Salvatori, L., Loti, R. 2021. Preventive maintenance for heterogeneous industrial vehicles with incomplete usage data. *Computer in Industry*, Vol. 130, pp. 103468.

<https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103468>

Mehmeti, X., Mehmeti, B., Sejdiu, R. 2018. The equipment maintenance management in manufacturing enterprises. *IFAC-PapersOnLine*, Vol 51(30), pp. 800–802.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.192>



- Mohamed Ben-Daya., Duffuaa, S, O., Raouf, A., Knezevic, J., Ait-Kadi, D. 2009. *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. UK: Springer.
- Muhammad Ridwan Andi Purnomo. 2022. Incorporating deep learning data analytics techniques in the optimisation of capacitated planned maintenance. *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, Vol.6(2), pp. 167-175.  
<https://doi.org/10.30656/jsmi.v6i2.5076>
- Ozdemir, B., Kumral, M. 2019. Simulation-based optimization of truck-shovel material handling systems in multi-pit surface mines. *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 95, pp. 36–48.  
<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.04.006>
- Petrović, D. v., Tanasijević, M., Stojadinović, S., Ivaz, J., Stojković, P. 2020. Fuzzy expert analysis of the severity of mining machinery failure. *Applied Soft Computing*, Vol. 94.  
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106459>
- Riski Arianda., Masykur., Herri Darsan., Al Munawir., Joli Supardi. 2022. Damage analysis of hydraulic bucket cylinder on excavator komatsu CP-200 at PT. wiratako mitra mulia. *Jurnal Inotera*, Vol. 7(2), pp. 133-139.  
<https://doi.org/10.31572/inotera.Vol7.Iss2.2022.ID191>
- Robert, E., Berenguer, C., Bouvard, K., Tedie, H., Lesobre, R. 2018. Joint dynamic scheduling of missions and maintenance for a commercial heavy vehicle: value of on-line information. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 51(24), pp. 837–842.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.09.672>
- Roosefert Mohan, T., Preetha Roselyn, J., Annie Uthra, R., Devaraj, D., Umachandran, K. 2021. Intelligent machine learning based total productive maintenance approach for achieving zero downtime in industrial machinery. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 157.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107267>

- Sajid, S., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Goyal, T., Mittal, M. 2021. Data science applications for predictive maintenance and materials science in context to Industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 45, pp. 4898–4905.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.357>
- Sanchez-Marquez, R., Albarracín Guillem, J.M., Vicens-Salort, E., Jabaloyes Vivas, J. 2020. Diagnosis of quality management systems using data analytics – A case study in the manufacturing sector. *Computers in Industry*, Vol. 115.  
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103183>
- Sebyan Black, I., Fennelly, L.J. 2021. *Investigations and the Art of the Interview (Fourth Edition)*. UK: Butterworth-Heinemann.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822192-1.00010-6>
- Sgarbossa, F., Zennaro, I., Florian, E., Persona, A. 2018. Impacts of weibull parameters estimation on preventive maintenance cost. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 51(11), pp. 508–513.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.369>
- Shakhatreh, M.K., Lemonte, A.J., Moreno–Arenas, G. 2019. The log-normal modified Weibull distribution and its reliability implications. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 188, pp. 6-22.  
<https://doi.org/10.1016/j.res.2019.03.014>
- Shi, Y., Lu, Z., Huang, H., Liu, Y., Li, Y., Zio, E., Zhou, Y. 2022. A new preventive maintenance strategy optimization model considering lifecycle safety. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 221, pp. 108325.  
<https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108325>
- Shuto, S., Amemiya, T. 2022. Sequential Bayesian inference for Weibull distribution parameters with initial hyperparameter optimization for system reliability estimation. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 224, pp. 108516.  
<https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108516>

- Smith, R., Mobley, R.K. 2008. *MTBF User Guide: Measuring Mean Time between Failures, Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers*. UK: Butterworth-Heinemann.  
<https://doi.org/10.1016/B978-075067862-9.50018-6>
- Snyder, H. 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, Vol 104, pp. 333–339.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Souza, R.L.C., Ghasemi, A., Saif, A., Gharaei, A. 2022. Robust job-shop scheduling under deterministic and stochastic unavailability constraints due to preventive and corrective maintenance. *Computer Industri Engineering*, Vol. 168, pp. 108130.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108130>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., Ye, K. 2012. *Probability Statistic for Engineering & Scientists 9th Editions*. Boston: Pearson Education, Inc.
- Zhang, L., Chen, X., Khatab, A., An, Y. 2022. Optimizing imperfect preventive maintenance in multi-component repairable systems under s-dependent competing risks. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 219, pp. 108177.  
<https://doi.org/10.1016/j.res.2021.108177>
- Zhou, Y., Li, B., Lin, T.R. 2022. Maintenance optimisation of multicomponent systems using hierarchical coordinated reinforcement learning. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 217, pp. 108078.  
<https://doi.org/10.1016/j.res.2021.108078>