

USULAN *RETIREMENT AGE* DAN JUMLAH *MAINTENANCE CREW* OPTIMAL PADA MESIN HURON DI PT.XYZ MENGGUNAKAN METODE *DYNAMIC LIFE CYCLE COST (DLCC)* DENGAN SIMULASI *MONTE CARLO*

RETIREMENT AGE PROPOSED AND NUMBER OF MAINTENANCE SET CREW AT HURON MACHINE IN PT.XYZ USING *DYNAMIC LIFE CYCLE COST (DLCC)* METHOD WITH *MONTE CARLO* SIMULATION

Hario Ardi Nugroho¹, Judi Alhilman², Endang Budiasih³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

ardinugroho27@gmail.com¹, judi.alhilman@gmail.com², endangbudiasih@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

PT.XYZ merupakan perusahaan industri manufaktur yang bergerak dalam pembuatan alat berat untuk militer maupun komersil. Salah satu peralatan untuk menunjang kegiatan produksi PT. XYZ adalah mesin Huron yang memproduksi komponen-komponen untuk excavator, kapal, dan alat berat lainnya. Mesin Huron ini memiliki frekuensi kerusakan terbesar. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk umur mesin yang sudah tidak optimal atau tidak tepatnya jumlah *maintenance crew* untuk menangani mesin rusak. Pada penelitian ini untuk menentukan umur mesin optimal dan jumlah *maintenance crew* optimal dari mesin Huron, digunakan metode DLCC dengan simulasi *Monte Carlo*. Nilai LCC didapat dari penjumlahan *sustaining cost* dan *acquisition cost*. *Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)* atau mode kegagalan digunakan untuk menentukan pengaruhnya terhadap pengoperasian sistem yang selanjutnya dicari nilai *weibull shape factor* (β) dan *characteristic life* (η) sebagai input untuk disimulasikan dengan *Monte Carlo* sehingga didapatkan *mean time to failure (MTTF) prediction* mesin Huron. Selanjutnya dianalisa *future maintenance cost*. Berdasarkan perhitungan DLCC, diperoleh total LCC optimal sebesar Rp. 574,070,461 dengan umur mesin optimal adalah sembilan tahun dan jumlah *maintenance crew* optimal sebanyak satu orang. Berdasarkan hasil simulasi *Monte Carlo* didapatkan nilai MTTF mesin Huron 391.7 jam dengan *future maintenance cost* yang harus dipersiapkan sebesar Rp. 270,710,759.

Kata Kunci - *Maintenance, Mean Time To Failure, Dynamic Life Cycle Cost, Monte Carlo Simulation, Failure Mode and Effect Analysis*

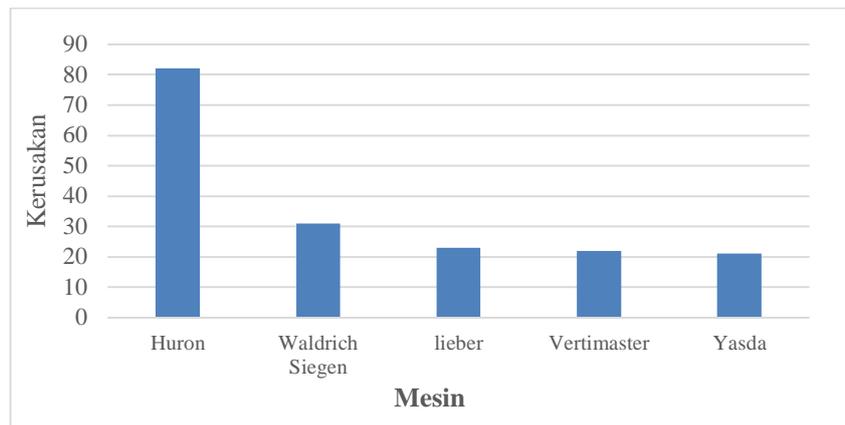
Abstract

PT. XYZ is a manufacturing company that manufacturing in military and commercial heavy equipment products. One of the equipment used to support the production activities of PT. XYZ is a Huron MU 6 milling machine to fulfill every components needed for excavators, ships, and other heavy equipment. Huron Machine has the most frequent damage in PT. XYZ. It can be caused by several factors, including a machine that has exceeded its optimal limit. In determining optimal machine life and optimal maintenance crew of the Huron machine, in this study case is using DLCC with Monte Carlo simulation. LCC value is obtained from the sum of sustaining cost and acquisition cost. FMEA is used to identify the failure mode and determine its effect on system operation, then weibull shape factor (β) and scale factor / characteristic life (η) are used as inputs to be simulated with monte carlo to obtained the probabilistic Huron engine's mean time to failure (MTTF) for further analyze getting future maintenance costs. Based on the calculation of DLCC, the smallest total LCC value obtained is Rp. 574,070,461 with optimal engine life is nine years and the optimal number of maintenance crew is one person. Based on the results of the Monte Carlo simulation, the value of the MTTF Huron engine is 391.7 hours with future maintenance costs which must be prepared in the amount of Rp. 270,710,759

Keywords – *Maintenance, Mean Time To Failure, Dynamic Life Cycle Cost, Monte Carlo Simulation, Failure Mode and Effect Analysis*

1. Pendahuluan

PT.XYZ merupakan perusahaan industri manufaktur yang bergerak dalam pembuatan produk militer dan komersil. PT.XYZ dibagi dalam banyak divisi yang tidak semua dapat di akses secara bebas oleh umum. Salah satu divisi yang bisa diakses oleh umum adalah divisi alat berat dimana divisi tersebut adalah divisi yang menghasilkan produk-produk pendukung industri konstruksi, pertambangan, perkapalan, kelistrikan, dan pertanian. Dalam divisi tersebut terdapat banyak mesin untuk menunjang proses produksinya, diantaranya mesin Huron, mesin Waldrich Siegen, mesin Lieber, mesin Wotan, mesin Yasda, dan juga masih banyak mesin lainnya.



Gambar 1. Grafik Kerusakan Setiap Mesin

Pada gambar menampilkan data dari tahun 2013-2018 di PT.XYZ. Mesin Huron memiliki frekuensi jumlah kerusakan terbanyak diantara mesin lainnya, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor tertentu. Kegiatan maintenance pada PT.XYZ dilakukan oleh maintenance crew. Pada proses produksi terdapat beberapa teknisi yang ditugaskan untuk melakukan perawatan mesin. Penentuan jumlah maintenance crew yang optimal sangat penting, apabila terlalu banyak dan terlalu sedikit akan berakibat buruk bagi perusahaan. Jika terlalu banyak maka biaya yang dikeluarkan semakin besar, dan jika terlalu sedikit maka proses produksi tidak dapat segera dilanjutkan kembali dan dapat mempengaruhi berkurangnya target produksi dari perusahaan sehingga keuntungan perusahaan pun juga menurun. Umur dari mesin juga mempengaruhi kegiatan *maintenance* karena semakin tua umur suatu mesin maka akan diperlukan perawatan yang semakin besar juga, maka dari itu diperlukan penentuan umur mesin yang optimal agar perusahaan dapat mengganti mesin yang sudah mulai tidak produktif.

2. Dasar Teori

2.1 Manajemen Perawatan

Definisi dari perawatan ialah untuk memastikan suatu aset fisik naik sistem, peralatan, maupun komponen agar terus bekerja sesuai dengan yang pengguna inginkan sesuai dengan fungsinya [1]. Kegiatan maintenance memiliki tujuan utamanya antara lain adalah berfungsi guna memperpanjang usia aset yang dimiliki, menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi (atau jeda) dan mendapat laba interval semaksimal mungkin, menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap hari, menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut [2].

2.2 Preventive maintenance

Menurut Blanchard, *preventive maintenance* adalah suatu tindakan terjadwal yang dilakukan untuk memelihara atau mempertahankan sistem pada level tertentu dengan menyediakan tinjauan yang sistematis, deteksi, atau pencegahan kegagalan yang akan datang [3].

2.3 Corrective maintenance

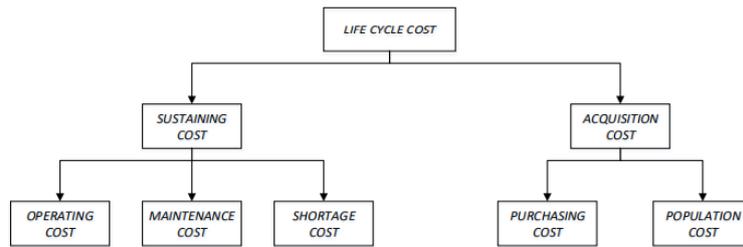
Corrective maintenance adalah tindakan perbaikan yang tidak terjadwalkan karena dilakukan pada saat ditemukannya kegagalan fungsi dari peralatan, sehingga harus diperbaiki agar dapat digunakan kembali sebagaimana mestinya [4].

2.4 Failure Mode and Effect Analysis

FMEA adalah analisis yang digunakan untuk menentukan bagian mana yang gagal, mengapa mereka biasanya gagal, dan apa akibat kegagalannya terhadap sistem secara total [5]. FMEA diterapkan pada setiap subsistem yang telah didefinisikan sebelumnya. Setiap fungsi yang teridentifikasi, dapat terjadi beberapa mode kegagalan. Meski ada beberapa kegagalan, seringkali efek kegagalannya sama atau sangat mirip. Kegagalan dapat menyebabkan penurunan fungsi system [5].

2.5 Dynamic Life Cycle Cost

Menurut Blanchard, Life Cycle Cost (LCC) adalah total jumlah perkiraan biaya yang dikeluarkan saat suatu equipment atau proyek dioperasikan dari awal hingga selesai [3]. Sedangkan Dynamic Life Cycle Cost adalah perhitungan yang dapat mengatasi masalah dalam pemeliharaan dan ketidakpastian dalam multikomponen sistem teknis. Untuk mengatasi ketidakpastian yang terkait dalam fase penggunaan, model simulasi berdasarkan simulasi Monte Carlo diterapkan [6]. Dalam pengembangan model DLCC data historis perawatan dan data operasional mesin atau peralatan dapat digunakan sebagai data stokastik, dilengkapi pula dengan data biaya yang dikeluarkan selama masa pakai mesin sebagai landasan *future cost* untuk memperkirakan pengeluaran yang harus disiapkan perusahaan [7]. Ada beberapa alasan pentingnya melakukan Life Cycle Cost [8] diantaranya yaitu : Untuk mempersiapkan anggaran, membuat keputusan penggantian peralatan, mengendalikan biaya, meningkatkan produktifitas, dan melakukan studi biaya siklus hidup peralatan



Gambar 2. Model *Life Cycle Cost*

2.6 Simulasi Monte Carlo

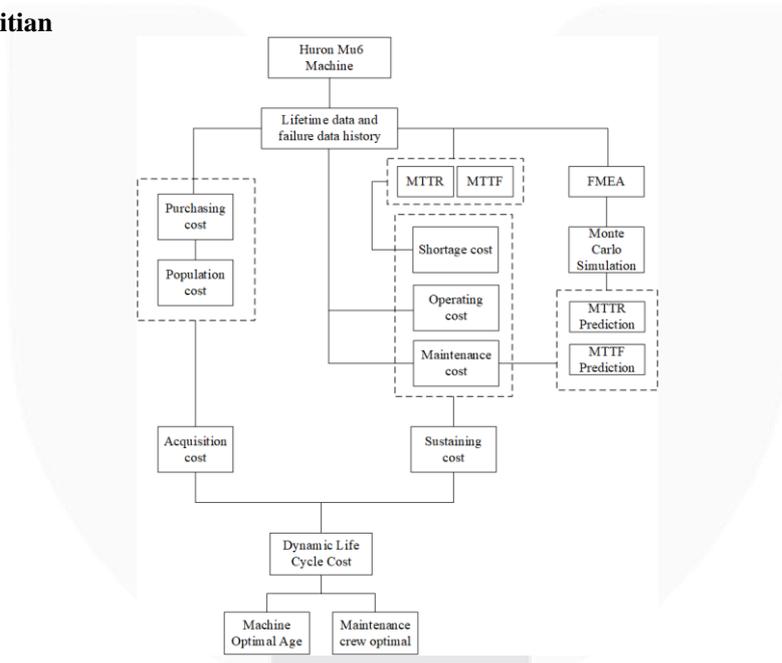
Simulasi adalah sebuah metode analitik yang bertujuan untuk membuat “imitasi” dari sebuah sistem yang mempunyai sifat acak, dimana jika digunakan model lain menjadi sangat mathematically complex atau terlalu sulit untuk dikembangkan. Simulasi Monte Carlo adalah salah satu metode simulasi sederhana yang dapat dibangun secara cepat dengan hanya menggunakan spreadsheet MS Excel [9]. Dengan menggunakan simulasi Monte Carlo maka dapat diketahui pula Mean Time To Failure (MTTF) dengan menghitung menggunakan nilai *Weibull Shape Factor* (β) dan *Characteristic Life* (η) untuk setiap sistem. Waktu kegagalan TF adalah fungsi dari kriteria nilai kegagalan $F(t)$ [10].

$$TF = \eta [- \ln (1 - \frac{F(t)}{\beta})] \dots\dots\dots(1)$$

$$MTTF_{sub-sistem} = \frac{\sum T_{ATTF}}{\sum T_F} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana TATTF (Total Accumulation of Time To Failure).

3. Metodologi Penelitian



Gambar 3. Metodologi Penelitian

Penelitian dimulai dari objek penelitian yaitu mesin Huron. Mesin tersebut dicari data kerusakan dan data perbaikan untuk mendapatkan data MTTF dan MTTR mesin. Selain itu juga dilakukan penentuan kegagalan fungsi pada masing-masing sistem dengan menggunakan Selanjutnya adalah pengukuran kuantitatif menggunakan metode *Life Cycle Cost* (LCC). Selanjutnya adalah mencari data stokastik yang didapatkan dari hasil simulasi *Monte Carlo* untuk menentukan nilai MTTF dan *MTTR Prediction*. Dengan cara menggabungkan antara data deterministik dan data stokastik maka kita menghitung *Life Cycle Cost* secara *Dynamic*.

Hasil dari *Dynamic Life Cycle Cost* adalah dapat diketahuinya umur mesin optimal, *maintenance crew optimal*, dan biaya *future maintenance cost* yang bisa digunakan sebagai landasan untuk pengambilan keputusan apakah akan perlu membeli mesin baru atau melanjutkan mesin yang masih dapat beroperasi.

4. Pembahasan

Pengumpulan data untuk perhitungan *Life Cycle Cost* (LCC) dilakukan pada divisi alat berat PT. XYZ dengan objek penelitian mesin Huron . Pemilihan objek penelitian didasarkan pada frekuensi kerusakan yang paling sering diantar mesin lainnya dengan total kumulatif sebesar XX kali dalam 6 tahun terakhir. Data-data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah data *time to failure* (TTF) mesin , data *time to repair* (TTR) mesin, data *time to failure* (TTF) komponen, data upah pegawai *maintenance*, data biaya material, data harga beli mesin dan komponen, data suku bunga, data inflasi, dan data *loss revenue*. Langkah selanjutnya adalah melakukan penentuan distribusi untuk mendapatkan TTF mesin dan TTR mesin serta penentuan mode kegagalan yang terjadi pada mesin. Pengujian distribusi ini digunakan untuk mengetahui pola kerusakan yang terjadi pada mesin Huron . Pengujian yang dilakukan dengan uji Anderson Darling (AD) pada *software* Minitab 17 dibatasi menjadi pengujian distribusi normal, distribusi eksponensial, dan distribusi Weibull. Setelah menentukan distribusi terpilih, dilakukan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR). Berikut merupakan hasil perhitungan MTTF dan MTTR untuk mesin Huron.

Tabel 1. Penentuan parameter dan MTTF

Jenis Distribusi	Parameter		MTTF (Hours)
Weibull	β	0.68	698.782
	η	534.93	

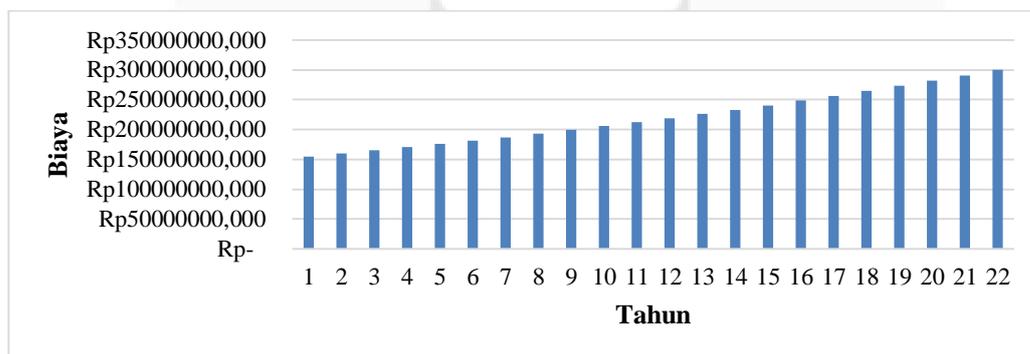
Tabel 2. Penentuan parameter dan MTTR

Jenis Distribusi	Parameter		MTTR (Hours)
Weibull	β	0.978	6.644
	η	6.58	

4.1 Perhitungan Life Cycle Cost

a) Perhitungan Operating Cost

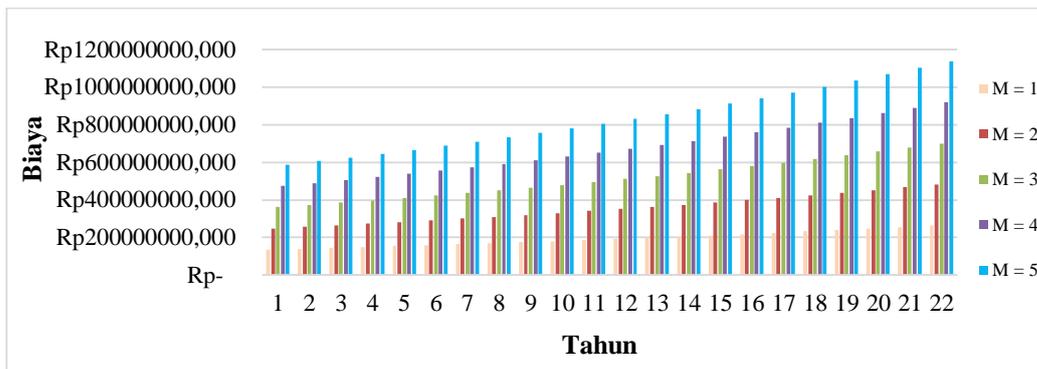
Operating cost didapatkan dari penjumlahan *energy cost* dan *operating labor cost*. *Energy cost* didapat dari hasil perkalian antara jumlah hari mesin bekerja, pemakaian listrik mesin selama beroperasi dalam satu hari, dan tarif listrik sedangkan *operating labor cost* didapat dari hasil perkalian jumlah tenaga kerja dengan upah tenaga kerja. *Operating cost* dihitung pada tahun 2018, dengan menggunakan *single present value* diasumsikan peningkatan tiap tahun sebesar 3,20% yang diperoleh dari rata-rata inflasi pada tahun 2018 berdasarkan Bank Indonesia, maka dapat diketahui biaya yang harus dikeluarkan pada tahun – tahun sebelumnya. Gambar 4 menunjukkan hasil *operating cost* mesin Huron dalam bentuk grafik.



Gambar 4. Grafik Operating Cost

b) Perhitungan Maintenance Cost

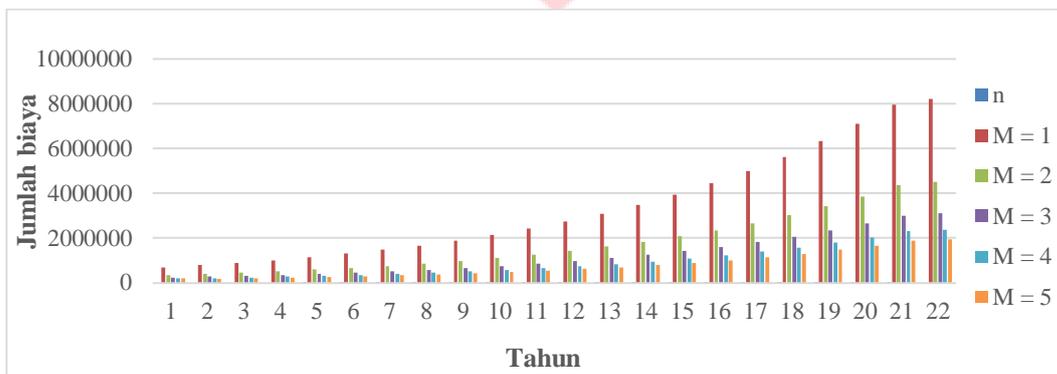
Untuk menghitung maintenance cost data yang diperlukan adalah penjumlahan antara biaya upah tenaga kerja dan *total maintenance material cost*. Dengan mengasumsikan *maintenance cost* mengalami peningkatan dikarenakan pengaruh oleh inflasi, maka biaya tenaga kerja akan berbeda setiap tahunnya dan juga tergantung dengan banyaknya jumlah *maintenance crew*. Gambar 5 menunjukkan bahwa terdapat kenaikan *maintenance cost* seiring dengan jumlah *maintenance set crew* setiap tahunnya dalam bentuk grafik



Gambar 5. Grafik Maintenance Cost

c) Perhitungan Shortage Cost

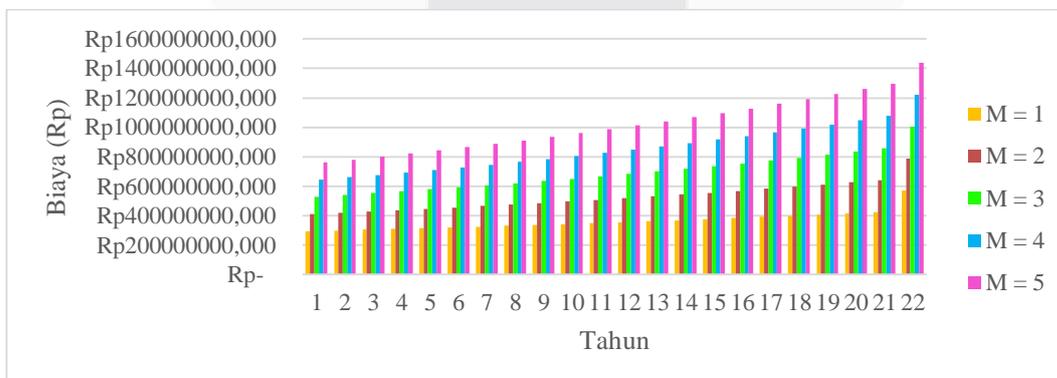
Shortage cost merupakan biaya yang dikeluarkan perusahaan akibat kekurangan komponen, kurangnya jumlah maintenance crew, atau teknisi untuk memperbaiki komponen yang sedang rusak. Perhitungan shortage cost didapatkan dari hasil kali loss revenue dengan estimasi mesin yang tidak diperbaiki. Nilai shortage cost diasumsikan mengalami kenaikan sebesar 3,20% per tahun berdasarkan rata-rata tingkat inflasi yang terjadi pada tahun 2018. Gambar 6 menunjukkan shortage cost dalam bentuk grafik.



Gambar 6. Grafik Shortage Cost

d) Perhitungan Annual Sustaining Cost

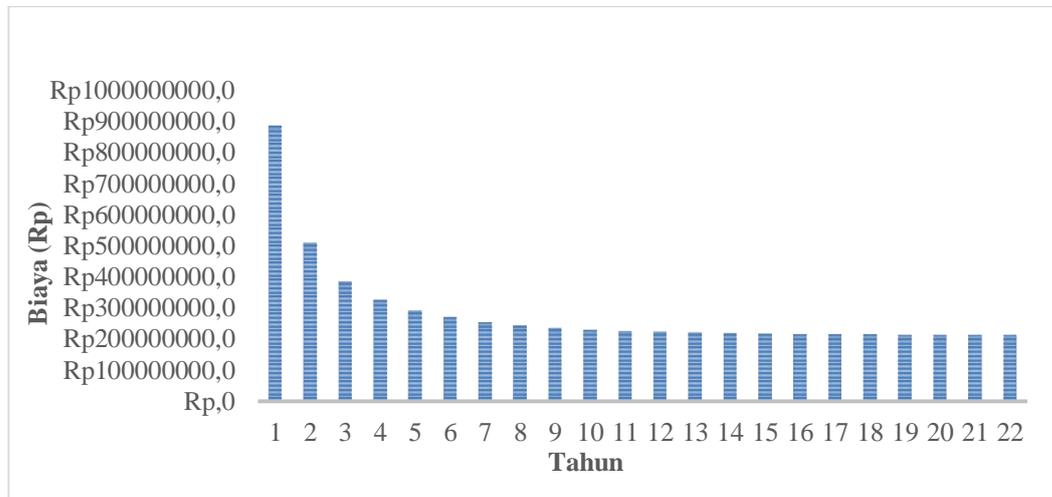
Sustaining cost merupakan biaya yang harus dikeluarkan atas kepemilikan suatu perangkat atau mesin selama periode operasinya per tahun. Annual sustaining cost merupakan penjumlahan dari operating cost, maintenance cost, dan shortage cost. Gambar 7 adalah hasil perhitungan dari annual sustaining cost dalam bentuk grafik.



Gambar 7. Grafik Annual Sustaining Cost

e) Perhitungan *Annual Acquisition Cost*

Acquisition Cost merupakan biaya yang dikeluarkan perusahaan pada saat pertama kali pembelian sebuah mesin atau peralatan. *acquisition cost* merupakan hasil penjumlahan dari *purchasing cost* dan *population cost*. Berdasarkan grafik *acquisition cost* yang ditampilkan pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa *acquisition cost* mesin Huron mengalami penurunan setiap tahunnya.



Gambar 8. Grafik *Annual Acquisition Cost*

4.2 Perhitungan Simulasi *Monte Carlo*

Untuk melakukan simulasi *monte carlo* maka sebelumnya perlu menentukan *Failure Mode and Effect Analysis* atau mode kegagalan dari setiap system pada mesin Huron . Selanjutnya mencari nilai *weibull shape factor* (β) dan *characteristic life* (η) yang didapat dari nilai TTF deterministik setiap sistem untuk selanjutnya akan disimulasikan untuk mendapatkan data stokastik sebagai input untuk disimulasikan. Tabel 3 menunjukkan sistem terpilih beserta nilai β dan η

Tabel 3. Sistem Terpilih beserta nilai *weibull shape factor* dan *characteristic life*

System	β	η
Head System	0.621	1,041.460
Electrical System	0.604	1,410.680
Fluid System	0.991	7,010.060
Monitor System	0.632	6,022.430
Table System	9.427	6,738.830

Tabel 4. Simulasi Monte Carlo iterasi pertama

System	$F(t) = \text{RAND}()$	$TF = \eta [-\ln(1 - F(t))]^{\frac{1}{\beta}}$	Decision	Total # Failures Simulated	Total accumulated time to failure	MTTF System
Head System	0.715860763	1507.459377	0	0	0	#DIV/0!
Electrical System	0.598866804	1214.314674	1	1	1214.314674	1214.315
Fluid System	0.545103223	5509.524046	0	0	0	#DIV/0!
Monitor System	0.35248757	1611.225223	0	0	0	#DIV/0!
Table System	0.460862609	6403.197161	0	0	0	#DIV/0!
		Min = 1214.314674		1	1214.314674	1214.3

Selanjutnya setelah mengetahui nilai *weibull shape factor* (β) dan *characteristic life* (η) untuk dijadikan sebagai input dan dimasukkan kedalam formula untuk mencari nilai *Time Failure* (TF). Selama simulasi Monte Carlo hanya akan dibatasi sampai dengan 10000 kali iterasi, menurut MoBig jumlah simulasi yang cukup dalam menjalankan simulasi sangat penting untuk mendapatkan hasil yang dapat diandalkan [11]. Nilai TF dan MTTF akan selalu berubah sesuai dengan angka acak $F(t) = \text{RAND}()$ yang dihasilkan oleh computer [10]. Simulasi pertama (lihat tabel 4): simulasi pertama menghasilkan waktu untuk kegagalan *electrical system* sama dengan 1214.31 jam sebagai yang terendah (minimum) dibandingkan dengan sistem mesin Huron lainnya. Maka nilai baris *electrical system* di kolom

Decision menjadi sama dengan 1, nilai dalam kolom *Total # Failures Simulated* juga sama dengan 1, sedangkan nilai dalam kolom total akumulasi waktu untuk kegagalan sama dengan 1214.31 jam.

Tabel 5. Simulasi Monte Carlo iterasi kedua

System	F(t) = RAND ()	TF = $\eta [-\ln (1- F(t))]^{\frac{1}{\beta}}$	Decision	Total # Failures Simulated	Total accumulated time to failure	MTTF System
Head System	0.240982967	130.940479	1	1	130.940479	130.9405
Electrical System	0.675300227	1714.133335	0	1	1214.314674	1214.315
Fluid System	0.50067954	4852.12441	0	0	0	#DIV/0!
Monitor System	0.561558981	4437.997295	0	0	0	#DIV/0!
Table System	0.610512235	6696.948732	0	0	0	#DIV/0!
	Min =	130.940479		2	1345.255153	672.6

Simulasi kedua (lihat tabel 5): simulasi kedua didapat TF *Head system* sama dengan 130.940 jam dan merupakan yang terendah (minimum) dibandingkan dengan sistem mesin Huron lainnya. Maka nilai *Head system* pada kolom *decision* untuk simulasi menjadi sama dengan 1, maka nilai dalam *Total # Failures Simulated* sama dengan 1 dan dijumlahkan dengan hasil simulasi sebelumnya menjadi total sama dengan 2, sedangkan nilai-nilai dalam total kolom akumulasi waktu untuk kegagalan sama dengan 1345.255 jam. Singkatnya adalah jumlah total kegagalan yang disimulasikan = 1 + 1 = 2, Jumlah total akumulasi waktu untuk kegagalan = 130.940 + 1214.314 = 1345.255 jam.

Tabel 6. Simulasi Monte Carlo iterasi ke-10000 kali

System	F(t) = RAND ()	TF = $\eta [-\ln (1- F(t))]^{\frac{1}{\beta}}$	Decision	Total # Failures Simulated	Total accumulated time to failure	MTTF System
Head System	0.629286023	1028.623735	0	4287	1577885.626	368.0629
Electrical System	0.47265527	673.5169889	0	3665	1331394.288	363.2727
Fluid System	0.117231929	857.4084931	0	573	389176.4193	679.191
Monitor System	0.104333829	183.720845	1	1464	553360.8778	377.9787
Table System	0.808701219	7108.273179	0	11	65613.77058	5964.888
	Min =	183.720845		10000	3917430.981	391.7

Selanjutnya simulasi dilanjutkan sampai dengan 10000 iterasi sesuai dengan batas iterasi yang telah ditentukan sehingga didapat nilai MTTF Sistem (prediksi) sebesar 391.7 Jam

4.3 Perhitungan Future Maintenance Cost

Perhitungan *future maintenance cost* perlu mengetahui nilai *MTTR* setiap sistem. Dalam perhitungan yang dilakukan oleh barringer [12] untuk mengetahui *MTTR prediction* bisa melalui perkalian dari *MTTF prediction* Mesin Huron dengan *failure rate / system* dan *repair time system*. Sehingga didapatkan nilai untuk *MTTR prediction* setiap sistem (lihat tabel 7).

Tabel 7. Nilai MTTR Prediction / Probabilistic

	Probabilistic	
	Failure rate	MTTR
Presentase Kegagalan sistem	$\lambda = 1/(\eta * \Gamma(1 + 1/\beta))$ (fail./hr)	Mean Time To Repair hrs/repair
42.9%	0.00067	1.91
36.7%	0.00048	2.03
5.7%	0.00014	0.19
14.6%	0.00012	0.29
0.1%	0.00016	0.61
	MTTR =	5.04

Tabel 8. *Failure Mode Effect and Analysis*

FUNCTIONAL FAILURE	FAILURE MODE	FAILURE CAUSE	FAILURE EFFECT	Information Reference		
				F	FF	FM
1 Tidak dapat melakukan perputaran spindle dan perubahan axis	1 Spindle tidak berputar	1 Baud Longgar karena beban operasional	1 Mesin tidak dapat melakukan pembubutan, spindle tidak dapat berputar	1	1	1
	2 Axis tidak jalan	2 Karena beban operasional/pemakaian	2 Tidak dapat mengubah posisi spindle			2
	3 Linear scale rusak	2 Karena beban operasional/pemakaian	2 Deflex on X measuring system			3
2 Mesin tidak dapat beroperasi karena tidak adanya atau tidak dapat diatur daya	1 Potensio rusak	2 Life Time part mechanic	2 Kontrol kecepatan rusak	2	2	1
	2 fise rusak	3 Life Time part mechanic	3 Mesin, panel control, dan monitor tidak dapat menyala			2
	3 relay KASI	4 Life Time part mechanic	4 Emergency button tidak dapat beroperasi			3
3 Mesin dan komponennya panas, alarm berbunyi untuk melakukan pemberhentian proses	1 Selang tidak berfungsi	1 Karena beban operasional/pemakaian	1 air coolant sulit keluar	3	3	1
	2 tangki hidrolik berasap	2 Karena beban operasional/pemakaian	2 mesin panas			2
	3 pump coolant tidak berfungsi	3 Karena beban operasional/pemakaian	3 air coolant tidak keluar, mesin dan spindle panas			3
4 Mesin tidak dapat dioperasikan secara presisi karena tidak bisa input setting	1 TNC	1 Life Time part mechanic	1 Monitor error, posisi sumbu terhadap benda tidak terlihat	4	4	1
	2 Parameter Error	2 Life Time part mechanic	2 Cutting Speed, Feeding Speed, Cutting Time, Depth of Cut, dan Material Removal Rate tidak dapat di input kan			2
	3 Emergency Button	3 Karena beban operasional/pemakaian	3 Mesin tidak dapat diberhentikan secara darurat			3
Proses pembubutan secara presisi tidak dapat dilakukan terhadap object jika meja terlalu tinggi / rendah karena berbeda dengan yang sudah di inputkan system	1 Meja Mesin Overtravel	1 Karena beban operasional/pemakaian	1 meja mesin naik / turun sendiri	5	5	1

Tabel 9. Hasil perhitungan *Future Maintenance Cost* menggunakan *MTTR Prediction*

OBJECT TYPE	Information Reference			Maintenance Cost
	F	FF	FM	
Head	1	1	1	Rp 23,319,389.90
			2	Rp 23,319,389.90
			3	Rp 23,319,389.90
Electrical	2	2	1	Rp 23,434,877.61
			2	Rp 23,434,877.61
			3	Rp 23,434,877.61
Fluid	3	3	1	Rp 21,695,625.14
			2	Rp 21,695,625.14
			3	Rp 21,695,625.14
Monitor	4	4	1	Rp 21,787,027.05
			2	Rp 21,787,027.05
			3	Rp 21,787,027.05
Table	5	5	1	Rp 22,091,061.81
Total Biaya				Rp 270,710,759.12

Setelah mengetahui nilai MTTR setiap sistem mesin Huron selanjutnya adalah menghitung *future maintenance cost* dengan menghitung Biaya Engineer + Loss Revenue + Biaya Tools * MTTR/sistem. Penjelasan mengenai F, FF, dan FM dapat dilihat pada gambar tabel 8. Total biaya yang harus dipersiapkan untuk *future corrective maintenance* merupakan penjumlahan dari semua perbaikan komponen sistem yang sering mengalami kegagalan yaitu sebesar Rp. 270,710,759.

5. **Kesimpulan**

1. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode *Life Cycle Cost (LCC)*, total LCC pada mesin Huron di tahun 2018 adalah sebesar Rp1.333.195.316. Variabel biaya yang paling mempengaruhi total LCC pada mesin adalah *Sustaining Cost*.
2. Berdasarkan hasil perhitungan LCC, umur mesin Huron yang optimal adalah sembilan tahun (tahun 2009) dan jumlah *maintenance crew* sebanyak satu orang dengan total LCC mesin Huron optimum adalah sebesar Rp590.180.267.
3. Mesin Huron pada PT.XYZ sudah memasuki Fase III (*Wear-Out Periode*) dengan *maintenance cost* yang

akan meningkat setiap tahunnya, berdasarkan hasil simulasi dapat diprediksi bahwa *future maintenance cost* yang harus disiapkan jika tetap menggunakan mesin Huron adalah sebesar Rp.270,710,759 dalam satu tahun kedepannya. Namun jika PT. XYZ memutuskan untuk membeli mesin baru maka biaya *Acquisition cost* akan menjadi besar dan biaya *Sustaining Cost* yang akan menjadi kecil diawal periode.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] John Moubray, *Reliability-Centered Maintenance 2nd Edition*, 2nd ed. Butterworth-Heinemann, 1999.
- [2] A. Corder, *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Erlangga, 1992.
- [3] J. Alhilman, R. R. Saedudin, and F. Atmaji, "LCC Application for Estimating Total Maintenance Crews and Optimal Age of BTS Components," vol. 4, no. 2, pp. 54–62, 2015.
- [4] A. C. Marquez, *The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance*, Springer series in reliability engineering CN - TS192 .C72 2007. 2007.
- [5] NASA, *Reliability-centered Maintenance guide for facilities and collateral equipment.*, in *Engineering Maintenance*. 2008.
- [6] Verein deutscher Ingenieure (VDI), *VDI-Guideline 4008 – Monte-Carlo-Simulation*. Berlin: Beuth, Blatt, 1999.
- [7] M. Bengtsson and M. Kurdve, "Machining Equipment Life Cycle Costing Model with Dynamic Maintenance Cost," *Procedia CIRP*, vol. 48, pp. 102–107, 2016.
- [8] B. S. Dhillon, *Life Cycle Costing For Engineers*. 2009.
- [9] Winda Nur Cahyo, "Pendekatan Simulasi Monte Carlo Untuk Pemeliharaan Alternatif Dengan Decision Tree Pada Nilai Outcome Yang Probabilistik," vol. 13, no. 1971, pp. 11–17, 2008.
- [10] N. I. Sinisuka and H. Nugraha, "Life cycle cost analysis on the operation of power generation," vol. 19, no. 1, pp. 5–24, 2013.
- [11] C. Herrmann, S. Kara, and S. Thiede, "Dynamic life cycle costing based on lifetime prediction," vol. 7038, no. April, 2016.
- [12] H. . Barringer, "Monte Carlo techniques and simulations," 1996. [Online]. Available: www.barringer1.com/MC.htm/. [Accessed: 07-Jun-2019].