

**STRATEGI PERAWATAN PADA MESIN LAS MIG DI INDUSTRI KAROSERI
KENDARAAN NIAGA DENGAN SIMULASI MONTE CARLO
(Studi Kasus: PT. Adi Putro Wirasejati Malang)**

**MAINTENANCE STRATEGIES ON MIG WELDING MACHINE IN COMMERCIAL
VEHICLE PRODUCTION OF AUTO BODY MANUFACTURING SERVICE WITH
MONTE CARLO SIMULATION
(Case Study: PT. Adi Putro Wirasejati Malang)**

Dian Andri¹⁾, Ishardita Pambudi Tama²⁾, Arif Rahman³⁾

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: [dian.andri^{1\)}@gmail.com](mailto:dian.andri¹⁾@gmail.com), kangdith@gmail.com²⁾, posku@ub.ac.id³⁾

Abstrak

Selama ini, kegiatan perawatan mesin di PT. Adi Putro Wirasejati Malang tidak berdasarkan pada data kerusakan sebagai acuan. Kegiatan perawatan yang tidak teratur ini menyebabkan besarnya jumlah frekuensi kerusakan, downtime, biaya perawatan serta terganggunya proses produksi. Frekuensi kerusakan mesin terutama mesin las MIG dalam periode Januari 2012- Desember 2012 pada 7 departemen mencapai 951 kali kerusakan. Hal tersebut menyebabkan perusahaan untuk memperpanjang usia komponen mesin las MIG dengan menerapkan strategi perawatan yang tepat. Untuk menetapkan strategi perawatan yang tepat, maka dilakukan simulasi perawatan dari beberapa skenario yang telah diusulkan. Usulan skenario yang disimulasikan ada 3, yaitu perawatan korektif, perawatan dengan interval waktu penggantian sama dengan nilai MTTF, dan perawatan dengan interval waktu penggantian ketika keandalan komponen mencapai 90%. Tujuan dari simulasi perawatan ini adalah mengetahui skenario mana yang tepat untuk meminimalisasi frekuensi breakdown, memaksimalkan nilai availability, dan meminimalisasi biaya perawatan yang dikeluarkan. Hasil dari penelitian ini adalah strategi perawatan yang tepat untuk meminimasi frekuensi breakdown pada komponen kritis mesin las MIG adalah skenario 3 – perawatan dengan interval waktu penggantian ketika keandalan komponen mencapai 90%. Strategi perawatan yang tepat untuk memaksimalkan nilai availability untuk komponen kritis adalah skenario 1 – perawatan korektif. Strategi perawatan yang terbaik secara finansial untuk perawatan komponen kritis adalah skenario 1 – perawatan korektif.

Kata kunci: Perawatan, Simulasi, Skenario Perawatan, Breakdown, Downtime, Mesin Las MIG

1. Pendahuluan

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi di Indonesia dalam beberapa tahun ini, menyebabkan kebutuhan akan kendaraan niaga meningkat sebesar 10%-15%. Hal ini menyebabkan sejumlah perusahaan jasa karoseri kendaraan niaga, seperti PT. Adi Putro Wirasejati Malang menambah jumlah kapasitas produksi menjadi sebesar 5 unit bus per hari. Adanya peningkatan kapasitas produksi bus dan minibus menyebabkan kinerja mesin yang mendukung proses produksi meningkat pula. Mesin tersebut tidak dapat digunakan terus menerus tanpa adanya perawatan yang baik. Perawatan adalah kegiatan yang dilakukan untuk menjaga maupun mempertahankan kualitas peralatan agar tetap berfungsi dengan baik seperti dalam kondisi yang sebelumnya (Supandi, 1990). Perawatan mempunyai peranan yang sangat penting dalam kegiatan produksi yaitu menyangkut kelancaran atau kemacetan

produksi, kelambatan dan volume produksi, serta efisiensi produksi. Dengan demikian, perawatan memiliki fungsi yang sama pentingnya dengan fungsi-fungsi yang lain dari suatu perusahaan (Assauri, 2008).

PT. Adi Putro Wirasejati banyak menggunakan mesin-mesin untuk menunjang proses produksi, misalnya mesin las. Sebagian besar jenis mesin las yang digunakan untuk merakit bus dan minibus adalah mesin las *Metal Inert Gas* (MIG). Las MIG merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda berupa gulungan kawat (rol) yang gerakannya diatur oleh motor listrik (Faridaf, 2008). Mengingat pentingnya peranan mesin las MIG untuk menjamin kelancaran produksi bus dan minibus, maka keandalan mesin las MIG tersebut harus menjadi perhatian bagi manajemen agar peluang terjadinya *production lost* akibat kerusakan mesin las MIG dapat diminimalkan.

Tabel 1. Jumlah Kerusakan Mesin Las MIG di PT. Adi Putro Wirasejati

No	Kode	Bulan												JK/Dept (kali)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	R	26	27	23	28	29	31	37	36	32	46	38	28	381
2	P	15	38	16	23	15	19	7	11	21	16	35	25	241
3	SAB	9	23	21	11	17	25	11	8	16	22	8	8	179
4	BW	2	10	8	9	3	11	3	2	9	11	8	5	81
5	ENG	3	2	4	2	3	3	0	1	2	3	1	1	25
6	MB	0	4	3	2	3	1	0	1	1	10	1	0	25
7	DS	1	2	3	1	0	1	3	1	1	4	1	1	19
Total		56	106	78	76	70	91	61	59	82	112	92	68	951

Selama ini, kegiatan perawatan mesin di PT. Adi Putro Wirasejati tidak berdasarkan pada data kerusakan sebagai acuan. Kegiatan perawatan yang tidak teratur ini menyebabkan besarnya jumlah frekuensi kerusakan, *downtime*, dan biaya perawatan. Frekuensi kerusakan mesin las MIG dalam periode Januari 2012 - Desember 2012 pada 7 departemen mencapai 951 kali kerusakan. Data mengenai jumlah kerusakan mesin las MIG periode Januari 2012 – Desember 2012 disajikan pada Tabel 1.

Frekuensi kerusakan komponen-komponen pada mesin las MIG yang masih tinggi dan nilai *downtime* yang lama menjadi permasalahan bagi PT. Adi Putro Wirasejati. Hal tersebut mendorong perusahaan untuk berupaya untuk memperpanjang usia komponen dengan cara melakukan kegiatan perawatan mesin las MIG yang baik dan teratur sesuai dengan jadwal yang ditetapkan. Untuk menetapkan strategi perawatan yang tepat, maka metode yang digunakan adalah dengan mensimulasikan kegiatan perawatan tersebut pada beberapa skenario perawatan yang diusulkan. Simulasi kegiatan perawatan ini menggunakan bantuan bilangan acak yang merupakan prinsip utama dari metode Simulasi *Monte Carlo*.

Simulasi *Monte Carlo* dikenal juga dengan istilah *Sampling Simulation* atau *Monte Carlo Sampling Technique*. Simulasi *Monte Carlo* merupakan metode analisis numerik yang melibatkan pengambilan sampel eksperimen bilangan acak (Tersine, 1994). Model simulasi *Monte Carlo* merupakan bentuk simulasi probabilistik dimana solusi dari suatu masalah diberikan proses randomisasi (acak). Bilangan acak digunakan untuk menjelaskan kejadian acak setiap waktu dari variabel acak dan secara berurutan mengikuti perubahan-perubahan yang terjadi dalam proses simulasi (Djati, 2007).

Hasil dari simulasi perawatan tersebut akan memberikan gambaran kondisi sistem mesin las MIG jika skenario tersebut diterapkan, tanpa harus mengeluarkan biaya untuk merealisasikan skenario perawatan tersebut. Aspek-aspek yang

merepresentasikan kondisi sistem mesin las MIG yang nantinya akan menjadi dasar pertimbangan pemilihan strategi perawatan yang tepat adalah total *downtime*, proporsi *downtime*, *availability*, *reliability*, dan biaya perawatan. Dengan pemilihan strategi perawatan yang tepat, diharapkan dapat meminimasi frekuensi kerusakan dan *downtime* dari komponen kritis mesin las MIG. Selain itu, dengan jenis perawatan yang tepat nilai *availability* dan *reliability* dapat meningkat, serta dapat meminimasi biaya perawatan mesin las MIG.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini merupakan penelitian deskriptif terapan yang meliputi beberapa langkah. Langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Survei Pendahuluan

Metode ini digunakan dalam pengumpulan data yang dilakukan secara langsung ke tempat penelitian. Survei pendahuluan dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain:

a. Observasi

Pada penelitian ini observasi dilakukan pada Departemen *Maintenance* dan departemen-departemen lain yang berhubungan dengan proses produksi di PT. Adi Putro Wirasejati untuk mengamati kondisi lingkungan kerja, kondisi peralatan, dan rutinitas perawatan peralatan, khususnya mesin las.

b. Wawancara

Wawancara digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan mesin las MIG, dan prosedur perawatan mesin las MIG. Pihak-pihak yang diwawancara adalah pembimbing lapangan, teknisi dan operator yang berkaitan dengan sistem *maintenance* di PT. Adi Putro Wirasejati.

c. Dokumentasi

Data-data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Data mengenai jumlah mesin las MIG tiap departemen.
 - 2) Data mengenai waktu *breakdown* dan *downtime* mesin las MIG, meliputi tanggal terjadinya kerusakan, waktu mulai, waktu selesai, dan deskripsi permasalahan.
 - 3) Data mengenai tinjauan umum perusahaan.
 - 4) Data mengenai proses produksi.
2. Studi Literatur
Studi literatur merupakan suatu metode untuk mendapatkan data dengan mempelajari literatur di perpustakaan serta membaca sumber-sumber data informasi lainnya yang berhubungan dengan pembahasan
 3. Penentuan Departemen Kritis dan Komponen Kritis
Penentuan departemen kritis dan komponen kritis pada mesin las MIG dilakukan dengan cara melihat frekuensi *breakdown* terbanyak dan mengacu pada prinsip Pareto.
 4. Perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis
Perhitungan TTF dilakukan dengan menghitung selisih waktu ketika kerusakan pertama selesai diperbaiki dengan waktu kerusakan berikutnya terjadi. Sedangkan TTR dengan menghitung lamanya proses perbaikan yaitu selisih waktu kerusakan selesai diperbaiki dengan waktu kerusakan terjadi.
 5. Penentuan Distribusi Data *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis
Proses penentuan distribusi untuk data TTF dan TTR masing-masing komponen kritis adalah dengan membuat suatu hipotesa apakah data kerusakan mengikuti salah satu dari karakteristik suatu distribusi yang sesuai dengan aplikasi penggunaannya.
 6. Uji Kesesuaian Distribusi Data Kerusakan Komponen Kritis
Uji hipotesa *goodness of fit* terhadap data TTF dan TTR yang diperoleh untuk meyakinkan apakah pola distribusi data yang diduga sudah sesuai dengan pola distribusi tertentu untuk diolah lebih lanjut.
 7. Penentuan Parameter Sesuai Distribusi
Parameter-parameter ini yang akan digunakan pada perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR).
 8. Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR)
MTTF merupakan waktu rata-rata terjadinya kerusakan (komponen selesai diperbaiki sampai komponen rusak kembali), dan MTTR merupakan waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan.
 9. Pembangkitan Skenario Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG
Skenario perawatan ini akan disimulasikan untuk mengetahui jenis perawatan dan interval penggantian yang tepat untuk masing-masing komponen kritis.
 10. Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)
Pembangkitan bilangan acak TTF dan TTR ini bertujuan untuk menghasilkan nilai-nilai yang mempunyai distribusi setara dengan populasi data TTF dan TTR komponen kritis mesin las yang sebenarnya.
 11. Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis
Langkah selanjutnya adalah menilai validitas data TTF dan TTR yang telah dibangkitkan dengan uji kesamaan dua rata-rata. Data TTF dan TTR hasil pembangkitan bilangan acak dikatakan valid, apabila data TTF dan TTR tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan data TTF dan TTR pada sistem riil.
 12. Simulasi Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario Perawatan yang Diusulkan
Simulasi perawatan pada komponen kritis mesin las MIG berdasarkan skenario perawatan yang telah ditetapkan sebelumnya, bertujuan untuk mengetahui jumlah kerusakan, dan total *downtime* yang akan digunakan sebagai dasar pertimbangan pemilihan jenis perawatan dan interval waktu penggantian yang tepat untuk masing-masing komponen kritis.
 13. Penentuan Nilai Proporsi *Downtime* per Siklus, *Availability*, dan *Reliability* Komponen Kritis Mesin Las MIG
Aspek-aspek ini merupakan sebagian hal yang harus ikut dipertimbangkan dalam pemilihan skenario perawatan yang tepat.

14. Perhitungan Biaya Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG Berdasarkan Masing-Masing Skenario Perawatan.

Perhitungan biaya perawatan komponen kritis untuk masing-masing skenario dilakukan untuk mengetahui besarnya biaya yang dikeluarkan oleh pihak perusahaan bila menerapkan skenario-skenario perawatan yang telah ditetapkan sebelumnya

15. Penentuan Skenario Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG

Tahap penentuan skenario perawatan ini adalah berupa usulan alternatif skenario perawatan yang dapat meminimalisasi frekuensi *breakdown*, memaksimalkan nilai *availability*, dan meminimalisasi biaya perawatan.

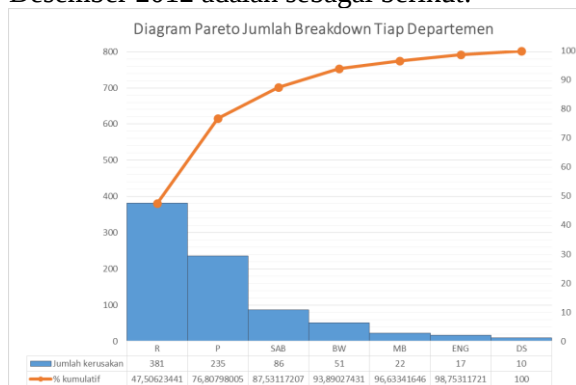
16. Rekomendasi Sistem Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG Pada Departemen Rangka PT. Adi Putro Wirasejati

Alternatif skenario yang diusulkan memiliki kelebihan maupun kekurangan. Pada tahap ini, kekurangan pada skenario tersebut dianalisa lebih lanjut sehingga menghasilkan sebuah rekomendasi untuk menutupi kekurangan pada skenario tersebut.

3. Hasil Penelitian

3.1 Penentuan Departemen Kritis dan Komponen Kritis

Sebelum menentukan komponen kritis, sebaiknya ditentukan terlebih dahulu departemen mana yang bersifat kritis bagi perusahaan. Diagram Pareto frekuensi *breakdown* mesin las MIG pada 7 departemen yan untuk periode Januari 2012 sampai dengan Desember 2012 adalah sebagai berikut:

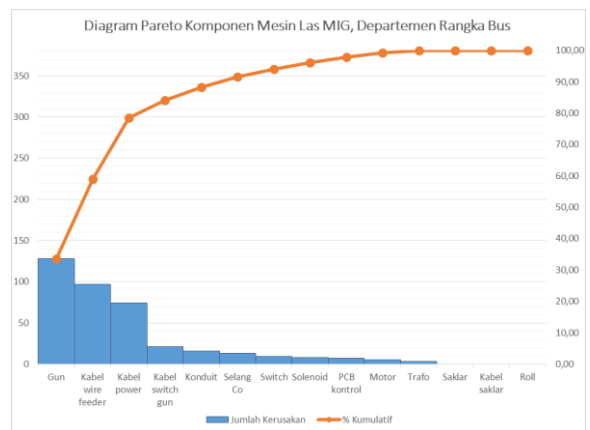


Gambar 1. Diagram Pareto *Breakdown* Tiap Departemen

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa departemen yang kritis adalah departemen Rangka Bus dan Panelling. Hal ini ditentukan

berdasarkan aturan 80-20 yang ada dalam Pareto, dimana 80% dari seluruh data yang ada bersifat kritis dan penting. Tetapi pada penelitian ini departemen yang akan dianalisis hanya departemen Rangka Bus sesuai dengan batasan masalah.

Setelah mengetahui bahwa departemen Rangka Bus merupakan departemen kritis, maka komponen kritis mesin las MIG pada departemen Rangka akan ditentukan. Data frekuensi *breakdown* dari 14 komponen mesin las MIG untuk periode Januari 2012 sampai dengan Desember 2012 adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Pareto Komponen Mesin Las MIG Departemen Rangka Bus

Dari diagram Pareto di atas dan berdasarkan konsep Pareto dapat disimpulkan bahwa 80% kerusakan pada mesin las MIG disebabkan oleh komponen gun, kabel *wire feeder*, dan kabel power. Dengan kata lain, ketiga komponen tersebut merupakan komponen kritis dan berdasarkan hasil ini pembahasan selanjutnya akan difokuskan pada ketiga komponen kritis ini.

3.2 Perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis

Time to Failure (TTF) merupakan interval waktu antar kerusakan yang dihitung dari selisih antara waktu mesin atau komponen selesai diperbaiki sampai dengan waktu kerusakan mesin atau komponen berikutnya. Sedangkan *Time to Repair* (TTR) adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap mesin atau komponen yang mengalami masalah atau kerusakan sampai mesin atau komponen tersebut dapat beroperasi dengan baik.

Contoh perhitungan untuk sebagian data TTF dan TTR komponen gun mesin las MIG dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data TTF dan TTR Komponen Gun Mesin Las MIG

No	Tanggal Mulai	WM	Tanggal Selesai	WS	TTR	TTF	No.Alat
1	27 April 2012	13.40	27 April 2012	14.35	1,92	-	1
2	28 Juli 2012	9.20	28 Juli 2012	10.50	1,50	679,583	1
3	20 Oktober 2012	14.45	20 Oktober 2012	16.05	1,30	587,917	1
4	23 Juni 2012	13.30	23 Juni 2012	14.35	1,08	-	2
5	25 Oktober 2012	13.35	25 Oktober 2012	14.40	1,08	926,000	2
6	01 Oktober 2012	11.35	01 Oktober 2012	13.45	1,17	-	3
7	30 November 2012	16.15	30 November 2012	17.20	1,08	443,500	3
8	13 Desember 2012	11.25	13 Desember 2012	13.35	1,17	94,750	3
9	28 Januari 2012	9.00	28 Januari 2012	10.45	1,75	-	4
10	14 Februari 2012	10.00	14 Februari 2012	10.50	0,83	125,250	4
...	...	...	...	...	...	...	...
121	19 Juni 2012	10.45	19 Juni 2012	11.30	0,75	364,583	49
122	06 September 2012	14.30	06 September 2012	16.20	1,83	551,000	49
123	12 November 2012	14.30	12 November 2012	16.20	1,83	502,167	49
124	11 Desember 2012	8.05	11 Desember 2012	9.55	1,83	199,750	49
125	21 Maret 2012	8.10	21 Maret 2012	9.45	0,58	-	50
126	27 Agustus 2012	14.45	27 Agustus 2012	16.20	1,58	1120,000	50
127	13 Oktober 2012	10.10	13 Oktober 2012	11.15	1,08	-	51
128	20 November 2012	7.45	20 November 2012	8.35	0,83	257,500	51
WM: Waktu Mulai; WS: Waktu Selesai					Jumlah	Rata-Rata	
					174,45	505,047	

Keterangan:

Contoh perhitungan TTF dan TTR adalah sebagai berikut:

1. *Time to Repair* (TTR) tanggal 28 Juli 2012
= 09:20 – 10:50 = 1 jam 30 menit = 1,50 jam
2. *Time to Failure* (TTF) tanggal 28 Juli 2012
27 April 2012 pukul 14:35 – 27 April 2012 pukul 17:00 = 135 menit
28 April 2012 – 27 Juli 2012 (76 x 9 jam kerja x 60 menit) = 40.500 menit
28 Juli 2012 pukul 07:00 – 28 Juli 2012 pukul 09:20 = 140 menit
+
Total *Time to Failure* (TTF) = 40.775 menit
= 679,583 jam

3.3 Penentuan Distribusi Data *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis

Ada empat macam jenis distribusi yang umum digunakan untuk data kerusakan. Empat macam jenis distribusi tersebut antara lain distribusi *Weibull*, *Eksponensial*, Normal dan Lognormal (Ebeling, 1997).

Langkah awal yang dilakukan untuk menentukan distribusi suatu data kerusakan adalah membuat suatu hipotesa apakah data kerusakan komponen kritis mengikuti salah satu dari keempat jenis distribusi kerusakan.

Data TTF komponen kritis mesin las MIG diduga berdistribusi *Weibull*. Pendugaan jenis distribusi data TTF komponen kritis mesin las MIG berdistribusi *Weibull* ini berdasarkan karakteristik distribusi *Weibull* yang merupakan distribusi yang biasanya digunakan untuk menggambarkan waktu hidup atau umur dari suatu komponen mesin yang berkaitan dengan laju kerusakan (Law and Kelton, 2000).

3.4 Uji Kesesuaian Distribusi Data Kerusakan Komponen Kritis

Berdasarkan karakteristik suatu distribusi kerusakan sesuai dengan aplikasi

penggunaannya, maka diduga bahwa data TTF komponen gun berdistribusi *Weibull*. Untuk memperkuat distribusi *Weibull* yang diduga adalah benar merupakan distribusi *Weibull*, maka perlu dilakukannya uji *goodness of fit* dilakukan dengan menggunakan uji *Mann*. Hipotesis dan perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Formulasi hipotesis
 H_0 : Data TTF komponen gun mesin las MIG berdistribusi *Weibull*
 H_1 : Data TTF komponen gun mesin las MIG tidak berdistribusi *Weibull*
2. Penentuan nilai α (taraf nyata) dan nilai M_{tabel}
 α : 0,01
 $k_1 = \frac{r}{2} = \frac{82}{2} = 41 \rightarrow v_2 = (2)(41) = 82$
 $k_2 = \frac{r-1}{2} = \frac{81}{2} = 40,5 \rightarrow v_2 = (2)(40,5) = 81$
 $F_{tabel} = F_{0,01, 82, 81}$
= 1,681
3. Kriteria pengujian
 H_0 diterima jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$
 H_0 ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$
4. Uji statistik
Uji *Mann* data TTF komponen gun mesin las MIG terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji Mann TTF Komponen Gun Mesin Las MIG

i	t _i	ln(t _i)	Z _i	M _i	ln t _{i-1} - ln t _i	$\frac{\ln(t_{i-1}) - \ln(t_i)}{M_i}$
1	67,667	4,215	-5,100	1,105	0,136	0,123
2	77,500	4,350	-3,995	0,517	0,201	0,389
3	94,750	4,551	-3,478	0,343	0,140	0,409
4	109,000	4,691	-3,135	0,258	0,135	0,524
5	124,750	4,826	-2,878	0,207	0,004	0,019
6	125,250	4,830	-2,671	0,174	0,435	2,509
7	193,583	5,266	-2,497	0,150	0,004	0,029
8	194,417	5,270	-2,347	0,132	0,011	0,084
9	196,583	5,281	-2,216	0,118	0,001	0,007
10	196,750	5,282	-2,098	0,107	0,015	0,142
...	...	...	...	...	...	...
78	992,333	6,900	1,048	0,080	0,115	1,447
79	1113,500	7,015	1,128	0,096	0,006	0,061
80	1120,000	7,021	1,223	0,125	0,099	0,792
81	1236,500	7,120	1,348	0,199	0,036	0,180
82	1281,583	7,156	1,547			
						45,843

Contoh perhitungan pada i = 1

$$\begin{aligned}
 \ln(t_i) &= \ln(67,667) \\
 &= 4,215 \\
 Z_i &= \ln \left[1 - \frac{1-0,5}{82+0,25} \right] \\
 &= -5,100 \\
 M_i &= Z_2 - Z_1 \\
 &= -3,995 - (-5,100) \\
 &= 1,105 \\
 \ln(t_2) - \ln(t_1) &= 4,350 - 4,215 \\
 &= 0,136 \\
 \frac{\ln(t_2) - \ln(t_1)}{M_i} &= \frac{0,136}{1,105} \\
 &= 0,123 \\
 F_{hitung} &= \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left(\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} \right)}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left(\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} \right)} \\
 &= \frac{41(27,565)}{40,5(18,278)} \\
 &= 1,527
 \end{aligned}$$

5. Penarikan kesimpulan

Dari hasil perhitungan di atas $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ ($1,527 \leq 1,681$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima, yaitu data TTF komponen gun mesin las MIG berdistribusi Weibull.

Langkah-langkah pengujian kesesuaian distribusi untuk TTF dan TTR komponen kritis sama dengan langkah-langkah diatas

3.5 Perhitungan Parameter Data Kerusakan Komponen Kritis

Setelah dilakukan uji *goodness of fit*, perhitungan selanjutnya yaitu perhitungan parameter. Perhitungan parameter untuk *Time to Failure* (TTF) komponen gun yang berdistribusi Weibull ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \quad (\text{pers. 1})$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (\text{pers. 2})$$

$$\alpha = b \quad (\text{pers. 3})$$

$$\beta = e^{-(a/b)} \quad (\text{pers. 4})$$

Perhitungan nilai parameter β dan α adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Gradien } b &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\
 &= \frac{(82)(-212,927) - (493,810)(-46,435)}{(3010,725) - (493,810)^2} \\
 &= 1,804
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Interstep } a &= \bar{y} - b \cdot \bar{x} \\
 &= -0,566 - (1,804)(6,022) \\
 &= -11,804
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Parameter } \alpha &= b \\
 &= 1,804
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Parameter } \beta &= e^{-(a/b)} \\
 &= e^{-(-6,336)} \\
 &= 564,482
 \end{aligned}$$

Langkah-langkah penentuan parameter untuk TTF dan TTR komponen kritis sama dengan langkah-langkah diatas.

3.6 Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR)

Setelah dilakukan perhitungan parameter, tahap selanjutnya yaitu melakukan perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF). Oleh karena data *Time to Failure* (TTF) komponen gun mesin las MIG berdistribusi Weibull, maka untuk perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) komponen gun mesin las MIG dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= \beta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \quad (\text{pers. 5}) \\
 &= (564,482) \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,804} \right) \\
 &= (564,482)(0,889) \\
 &= 501,929 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Langkah dan rumus perhitungan MTTF dan MTTR komponen kritis sama dengan langkah perhitungan di atas.

3.7 Rekapitulasi Hasil Penentuan Distribusi, Uji *Goodness of Fit*, Penentuan Parameter, Nilai MTTF dan MTTR dari Komponen Kritis Mesin Las MIG

Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya:

Tabel 4. Rekapitulasi Uji Distribusi Data TTF Komponen Kritis Mesin Las MIG

Komponen Kritis	Distribusi	M _{tabel}	M _{hitung}	Hasil
Gun	Weibull	1,681	1,527	Terima H ₀
Kabel wire feeder	Weibull	1,940	0,920	Terima H ₀
Kabel power	Weibull	2,329	1,418	Terima H ₀

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai MTTF Komponen Kritis Mesin Las MIG

Komponen Kritis	Distribusi	Parameter	MTTF
Gun	Weibull	$\alpha = 1,804$	501,929 jam
		$\beta = 564,482$	
Kabel wire feeder	Weibull	$\alpha = 2,026$	525,669 jam
		$\beta = 593,281$	
Kabel power	Weibull	$\alpha = 1,807$	429,707 jam
		$\beta = 505,793$	

Tabel 6. Rekapitulasi Uji Distribusi Data TTR Komponen Kritis Mesin Las MIG

Komponen Kritis	Distribusi	M _{tabel}	M _{hitung}	Hasil
Gun	Weibull	1,513	0,852	Terima H ₀
Kabel wire feeder	Weibull	1,611	0,693	Terima H ₀
Kabel power	Weibull	1,729	1,083	Terima H ₀

Tabel 7. Rekapitulasi Nilai MTTR Komponen Kritis Mesin Las MIG

Komponen Kritis	Distribusi	Parameter	MTTR
Gun	Weibull	$\alpha = 3,989$	1,363 jam
		$\beta = 1,504$	
Kabel wire feeder	Weibull	$\alpha = 4,025$	0,915 jam
		$\beta = 1,010$	
Kabel power	Weibull	$\alpha = 5,222$	1,410 jam
		$\beta = 1,531$	

3.8 Pembangkitan Skenario Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG

Langkah yang dilakukan selanjutnya adalah menentukan skenario perawatan untuk masing-masing komponen kritis mesin las MIG. Skenario perawatan ini akan disimulasikan untuk mengetahui jenis perawatan dan interval penggantian yang tepat untuk masing-masing komponen kritis. Skenario perawatan yang diusulkan ada 3, antara lain:

Tabel 8. Rekapitulasi Usulan Skenario Perawatan Untuk Masing-Masing Komponen Kritis

Komponen	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Gun	Korektif	tp = MTTF = 501,929	tp = 162
Kabel wire feeder	Korektif	tp = MTTF = 525,669	tp = 195
Kabel power	Korektif	tp = MTTF = 449,707	tp = 146

Pada skenario 1, komponen kritis diganti ketika mengalami kerusakan secara tiba-tiba (*breakdown*). Untuk skenario 2, komponen kritis diganti sesuai dengan nilai MTTF, dan untuk skenario 3 komponen kritis akan diganti ketika keandalannya telah mencapai 90%.

3.9 Pembangkitan Bilangan Acak Time to Failure (TTF) dan Time to Repair (TTR)

Pembangkitan bilangan acak untuk data TTF dan TTR komponen kritis mesin las MIG merupakan tahap yang dilakukan pada Simulasi *Monte Carlo*. Pembangkitan bilangan acak ini bertujuan untuk menghasilkan nilai-nilai yang mempunyai distribusi setara dengan populasi data TTF dan TTR komponen kritis mesin las yang sebenarnya. Pembangkitan bilangan acak ini dilakukan dengan bantuan software *Minitab 16.0*. Langkah pembangkitan bilangan acak menggunakan *Minitab 16.0* adalah dengan memasukkan parameter distribusi dan jumlah bilangan yang dibangkitkan. Berikut ini adalah contoh hasil pembangkitan bilangan acak TTF komponen gun.

Tabel 9. Pembangkitan Bilangan Acak TTF Komponen Gun

No	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3
1	531,672	324,217	824,497
2	614,610	420,892	784,331
3	286,646	415,053	1153,325
4	258,973	625,439	433,601
5	582,402	453,013	174,682
...	...	...	...
70	435,396	233,784	1052,517
73	327,470	628,592	536,301
74	339,826	216,078	311,681
75	491,508	381,243	315,874

3.10 Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak Time to Failure (TTF) dan Time to Repair (TTR) Komponen Kritis

Setelah data TTF dan TTR komponen kritis mesin las MIG hasil dari pembangkitan bilangan acak diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah menilai validitas data TTF dan TTR yang telah dibangkitkan. Data TTF dan TTR hasil pembangkitan bilangan acak dikatakan valid, apabila data TTF dan TTR

Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Simulasi Jumlah Perawatan dan Total *Downtime* Komponen Kritis Mesin Las MIG

		TP		TD		TP Keseluruhan	TD Keseluruhan
		CM	PM	CM	PM		
Gun	Skenario 1	20	-	26,699	-	20	26,699
	Skenario 2	15	10	18,891	10,361	25	29,251
	Skenario 3	6	57	7,619	55,783	63	63,402
Kabel Wire Feeder	Skenario 1	18	-	24,672	-	18	24,672
	Skenario 2	12	11	16,661	6,844	22	23,505
	Skenario 3	3	49	3,569	30,190	51	33,759
Kabel Power	Skenario 1	21	-	29,552	-	21	39,552
	Skenario 2	16	13	22,044	14,043	28	36,087
	Skenario 3	9	62	13,023	67,462	71	80,485

TP: Total Perawatan; TD: Total Downtime; CM: Corrective Maintenance; PM: Preventive Maintenance

tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan data TTF dan TTR pada sistem riil. Untuk menilai validitas data TTF dan TTR hasil pembangkitan bilangan acak, maka dilakukan uji kesamaan dua rata-rata. Uji kesamaan dua rata-rata ini dilakukan setiap replikasi pada masing-masing komponen kritis. Berikut ini adalah langkah-langkah uji kesamaan dua rata-rata untuk komponen gun:

1. Formulasi hipotesis
 H_0 : Rata-rata nilai TTF komponen gun sistem riil = rata-rata nilai TTF komponen gun hasil pembangkitan bilangan acak.
 H_1 : Rata-rata nilai TTF komponen gun sistem riil $\neq$ rata-rata nilai TTF komponen gun hasil pembangkitan bilangan acak.
2. Penentuan nilai α (taraf nyata) dan nilai t_{tabel}
 $\alpha = 0,05$
 $df = 155$
 $t_{tabel} = t_{0,05, 150} = 1,976$
3. Kriteria pengujian
 H_0 diterima jika $-t_{tabel} \leq t_{hitung} < t_{tabel}$
 H_0 ditolak jika $t_{hitung} < -t_{tabel}$ atau $t_{hitung} > t_{tabel}$
4. Uji statistik
 Pengujian statistik persamaan dua rata-rata ini menggunakan *software Minitab 16.0*. Hasil pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

Two-Sample T-Test and CI: TTF GUN AWAL, R1 TTF GUN

Two-sample T for TTF GUN AWAL vs R1 TTF GUN				
			SE	
	N	Mean	StDev	Mean
TTF GUN AWAL	82	505	306	34
R1 TTF GUN	75	470	235	27

Difference = mu (TTF GUN AWAL) - mu (R1 TTF GUN)
 Estimate for difference: 34.8
 95% CI for difference: (-50.8, 120.4)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.80 P-Value = 0.423 DF = 155

5. Penarikan kesimpulan
 Dari hasil pengujian di atas $-t_{tabel} \leq t_{hitung} < t_{tabel}$ ($-1,976 \leq 0,80 < 1,976$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima, yaitu rata-rata nilai TTF komponen gun sistem riil sama dengan rata-rata nilai TTF komponen gun hasil pembangkitan bilangan acak.

3.11 Simulasi Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario Perawatan yang Diusulkan

Simulasi perawatan pada komponen kritis mesin las MIG berdasarkan skenario perawatan bertujuan untuk mengetahui jumlah kerusakan, total *downtime*, dan proporsi *downtime* per siklus yang akan digunakan sebagai dasar pertimbangan pemilihan jenis perawatan dan interval waktu penggantian yang tepat untuk masing-masing komponen kritis. Simulasi ini dilakukan selama 10.000 jam dengan 3 kali replikasi untuk masing-masing skenario perawatan komponen kritis.

Langkah-langkah simulasi kerusakan komponen gun dengan 3 replikasi dapat dilihat pada Lampiran 1. Rekapitulasi rata-rata jumlah perawatan dan total *downtime* hasil simulasi kerusakan komponen kritis dengan 3 replikasi untuk masing-masing skenario yang diusulkan dapat dilihat di Tabel 10.

3.12 Penentuan Nilai Proporsi Downtime per Siklus, Availability, dan Reliability Komponen Kritis Mesin Las MIG

Berikut ini adalah perhitungan nilai proporsi *downtime* per siklus, *availability*, dan *reliability* komponen gun mesin las MIG untuk masing-masing skenario.

1. Skenario 1
 - a. Proporsi *downtime* per siklus ($P(d(t))$)

$$P(d(t)) = \frac{\text{Total downtime}}{\text{Waktu siklus}} = \frac{26,669}{10.000} = 0,00267$$

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Proporsi *Downtime*, *Availability*, dan *Reliability* Komponen Kritis Berdasarkan Skenario Perawatan

		Proporsi Downtime	Availability	Reliability
Gun	Skenario 1	0,002670	0,9973	0,9973
	Skenario 2	0,002923	0,9971	0,9981
	Skenario 3	0,006340	0,9937	0,9991
Kabel Wire Feeder	Skenario 1	0,002467	0,9975	0,9975
	Skenario 2	0,002351	0,9976	0,9983
	Skenario 3	0,003367	0,9966	0,9996
Kabel Power	Skenario 1	0,002955	0,9970	0,9970
	Skenario 2	0,003609	0,9964	0,9978
	Skenario 3	0,008049	0,9920	0,9987

b. *Availability* (A(t))

$$\begin{aligned}
 A(t) &= 1 - P(d(t)) \\
 &= 1 - 0,00267 \\
 &= 0,9973
 \end{aligned}$$

c. *Reliability* (R(t))

$$\begin{aligned}
 R(t) &= \frac{(Waktu siklus - d(p)) - d(c)}{(Waktu siklus - d(p))} \\
 &= \frac{(10.000 - 0) - 26,699}{(10.000 - 0)} \\
 &= 0,9973
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan proporsi *downtime*, *availability*, dan *reliability* komponen kritis berdasarkan skenario perawatan terdapat pada Tabel 11.

3.13 Perhitungan Biaya Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG Berdasarkan Masing-Masing Skenario Perawatan

Perhitungan biaya perawatan komponen kritis untuk masing-masing skenario dilakukan untuk mengetahui besarnya biaya yang dikeluarkan oleh pihak perusahaan bila menerapkan skenario-skenario perawatan yang telah ditetapkan sebelumnya. Sebelum itu langkah yang dilakukan terlebih dahulu adalah perhitungan biaya kehilangan produksi. Berikut ini adalah rumus dan perhitungannya:

1. Biaya produksi

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas produksi} &= 5 \text{ unit/hari} \\
 \text{Biaya produksi bus} &= \text{Rp } 750.000.000,00 \text{ per unit} \\
 \text{Total biaya produksi} &= \text{Rp } 3.750.000.000,00 \text{ per hari} \\
 &= \text{Rp } 416.000.000,00 \text{ per jam}
 \end{aligned}$$

2. Pendapatan penjualan bis

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas produksi} &= 5 \text{ unit/hari} \\
 \text{Harga penjualan} &= \text{Rp } 1.245.450.000,00 \text{ per unit} \\
 \text{Total pendapatan} &= \text{Rp } 6.227.250.000,00 \text{ per hari} \\
 &= \text{Rp } 691.916.667,00 \text{ per jam}
 \end{aligned}$$

3. Biaya *opportunity*

$$\begin{aligned}
 &= \text{Pendapatan penjualan} - \text{Biaya produksi} \\
 &= \text{Rp } 691.916.667,00 - \text{Rp } 416.000.000,00 \\
 &= \text{Rp } 275.250.000,00
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil simulasi pada komponen gun, jenis perawatan yang dilakukan ada dua, yaitu *corrective maintenance* dan

preventive maintenance, sehingga biaya yang dihitung adalah biaya *failure* (C_f) dan biaya *preventive* (C_p). Berikut ini adalah rumus dan perhitungan biaya *failure* dan biaya *preventive* untuk komponen gun:

$$\begin{aligned}
 C_f &= \text{Jumlah } \textit{corrective maintenance} \times (((\text{Biaya teknisi/jam} + \text{Biaya } \textit{opportunity}) \times T_f) + \text{Harga komponen}) \\
 &= 15 \times (((\text{Rp } 4.444,00 + \text{Rp } 275.250.000,00) \times 1,363) + \text{Rp } 380.000,00) \\
 &= 15 \times (\text{Rp } 375.171.807,00 + \text{Rp } 380.000,00) \\
 &= 15 \times \text{Rp } 375.551.807,00 \\
 &= \text{Rp } 5.508.093.181,00 \\
 C_p &= \text{Jumlah } \textit{preventive maintenance} \times (((\text{Biaya teknisi/jam} + \text{Biaya } \textit{opportunity}) \times T_p) + \text{Harga komponen}) \\
 &= 10 \times ((\text{Rp } 4.444,00 + \text{Rp } 275.250.000,00) \times 0,974) + \text{Rp } 380.000,00) \\
 &= 10 \times (\text{Rp } 268.097.828,00 + \text{Rp } 380.000,00) \\
 &= 10 \times \text{Rp } 268.477.828,00 \\
 &= \text{Rp } 2.773.051.915,00
 \end{aligned}$$

Total biaya perawatan

$$\begin{aligned}
 &= \text{Biaya } \textit{failure} + \text{Biaya } \textit{preventive} \\
 &= \text{Rp } 5.508.093.181,00 + \text{Rp } 2.773.051.915,00 \\
 &= \text{Rp } 8.281.145.095,00
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan biaya perawatan komponen kritis untuk masing-masing skenario terdapat pada Tabel 12.

3.14 Penentuan Skenario Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG

Sesudah melakukan simulasi perawatan untuk masing-masing skenario dan melakukan perhitungan jumlah perawatan, total *downtime*, proporsi *downtime*, *availability*, *reliability*, dan biaya perawatan maka langkah selanjutnya adalah pemilihan skenario perawatan yang tepat untuk komponen kritis dengan mempertimbangkan aspek-aspek diatas. Perbandingan jumlah perawatan, total *downtime*, proporsi *downtime*, *availability*, *reliability*, dan biaya perawatan untuk masing-masing komponen kritis terdapat pada Tabel 13.

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Komponen Kritis

		Biaya Failure	Biaya Preventive	Total Biaya
Gun	Skenario 1	Rp 7.636.220.091,00	-	Rp 7.636.220.091,00
	Skenario 2	Rp 5.508.093.181,00	Rp 2.773.051.915,00	Rp 8.281.145.095,00
	Skenario 3	Rp 2.253.310.847,00	Rp 15.296.512.174,00	Rp 17.549.823.020,00
Kabel Wire Feeder	Skenario 1	Rp 4.451.961.428,00	-	Rp 4.451.961.428,00
	Skenario 2	Rp 2.939.974.528,00	Rp 1.792.482.252,00	Rp 4.732.456.780,00
	Skenario 3	Rp 671.994.178,00	Rp 8.178.200.274,00	Rp 8.850.194.452,00
Kabel Power	Skenario 1	Rp 8.023.518.511,00	-	Rp 8.023.518.511,00
	Skenario 2	Rp 6.082.344.678,00	Rp 3.278.958.919,00	Rp 9.361.303.596,00
	Skenario 3	Rp 3.364.701.311,00	Rp 16.049.641.022,00	Rp 19.414.342.333,00

Tabel 13. Rekapitulasi Hasil Simulasi Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG

		TP	TD	PD	Availability	Reliability	Total Biaya
Gun	Skenario 1	20	26,699	0,002670	0,9973	0,9973	Rp 7.636.220.091,00
	Skenario 2	25	29,251	0,002923	0,9971	0,9981	Rp 8.281.145.095,00
	Skenario 3	63	63,402	0,006340	0,9937	0,9991	Rp 17.549.823.020,00
KWF	Skenario 1	18	24,672	0,002467	0,9975	0,9975	Rp 4.451.961.428,00
	Skenario 2	22	23,505	0,002351	0,9976	0,9983	Rp 4.732.456.780,00
	Skenario 3	51	33,759	0,003367	0,9966	0,9996	Rp 8.850.194.452,00
KP	Skenario 1	21	39,552	0,002955	0,9970	0,9970	Rp 8.023.518.511,00
	Skenario 2	28	36,087	0,003609	0,9964	0,9978	Rp 9.361.303.596,00
	Skenario 3	71	80,485	0,008049	0,9920	0,9987	Rp 19.414.342.333,00

TP: Total Perawatan; TD: Total Downtime; PD: Proporsi Downtime

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, skenario perawatan yang tepat untuk meminimasi frekuensi *breakdown* pada masing-masing komponen kritis adalah skenario 3, yaitu menggunakan sistem perawatan dengan interval penggantian ketika *reliability* komponen kritis mencapai 90%. Frekuensi *breakdown* pada komponen gun sebesar 6 kali, komponen kabel *wire feeder* sebesar 3 kali, dan komponen kabel power sebesar 9 kali.

Skenario yang dapat memaksimalkan nilai *availability* pada komponen kritis adalah skenario 1, yaitu perawatan komponen kritis secara korektif. Nilai *availability* yang tinggi disebabkan oleh proporsi *downtime* yang lebih kecil daripada proporsi *uptime*. Nilai *availability* pada komponen gun sebesar 0,9973, komponen kabel *wire feeder* sebesar 0,9975, dan komponen kabel power sebesar 0,9970.

Sedangkan skenario yang terbaik secara finansial adalah skenario 1. Pada skenario 1, biaya perawatan yang dihasilkan paling rendah daripada skenario yang lain. Hal ini disebabkan karena frekuensi perawatan yang lebih jarang dibandingkan dengan skenario lain. Dalam penelitian ini, keputusan penentuan strategi perawatan yang tepat dilakukan oleh pihak perusahaan. Pihak penulis hanya mengusulkan alternatif-alternatif skenario perawatan beserta analisis kelebihan maupun kekurangan bila skenario perawatan tersebut diterapkan.

3.15 Rekomendasi Sistem Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG Pada Departemen Rangka PT. Adi Putro Wirasejati

Terlepas dari strategi perawatan yang diusulkan berdasarkan hasil simulasi, rekomendasi usulan sistem perawatan sesuai dengan kondisi perusahaan untuk meningkatkan nilai *reliability* adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan kegiatan *preventive maintenance* saat sistem produksi sedang tidak berjalan, misalnya pada hari Minggu. Kegiatan *preventive maintenance* ini diikuti oleh semua teknisi dari Departemen *Maintenance* dan dibantu oleh beberapa operator mesin las tersebut. Tujuan dari kegiatan *preventive maintenance* ini adalah untuk meningkatkan nilai *reliability* pada komponen kritis. Kegiatan *preventive maintenance* mingguan ini meliputi kegiatan pembersihan bagian dalam mesin dari debu, pengecekan kabel-kabel, pengecekan kondisi komponen lainnya, serta pembersihan terak yang masih menempel pada *nozzle*, tang massa, dsb.
2. Menerapkan kegiatan *autonomous maintenance*. *Autonomous maintenance* adalah kegiatan yang dirancang untuk melibatkan operator di dalam merawat mesinnya sendiri, di samping kegiatan yang dilaksanakan oleh teknisi dari Departemen *Maintenance*. Kegiatan *autonomous maintenance* ini dilaksanakan sebelum proses produksi dimulai, dengan meluangkan waktu kurang lebih 15 menit untuk operator melakukan pengecekan

harian, pembersihan, dan reparasi sederhana.

4. Kesimpulan

Hasil yang dapat diambil dari penelitian ini adalah kesimpulan mengenai analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Hasil pemilihan komponen kritis mesin las MIG berdasarkan konsep Pareto dapat diketahui bahwa komponen gun, komponen kabel *wire feeder*, dan komponen kabel power merupakan komponen kritis yang menjadi penyebab utama dari masalah *breakdown* mesin las MIG. Komponen gun berkontribusi menyebabkan *breakdown* mesin las MIG sebesar 128 kali kerusakan, komponen kabel *wire feeder* sebesar 97 kali kerusakan, sedangkan komponen kabel power sebesar 74 kali kerusakan dalam kurun waktu 12 bulan.
2. Berdasarkan hasil perhitungan, rata-rata selang waktu kerusakan atau *Mean Time to Failure* (MTTF) dan rata-rata waktu perbaikan atau *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk komponen gun sebesar 501,929 jam dan 1,363 jam, untuk komponen kabel *wire feeder* sebesar 525,669 jam dan 0,915 jam, serta untuk komponen kabel power sebesar 449,707 jam dan 1,410 jam.
3. Strategi perawatan yang tepat untuk meminimasi frekuensi *breakdown* pada komponen kritis adalah skenario 3, yaitu perawatan pada komponen kritis ketika keandalan komponen kritis mencapai 90%. Berdasarkan hasil simulasi dengan menerapkan skenario 3, frekuensi *breakdown* untuk komponen gun sebesar 6 kali, untuk komponen kabel *wire feeder* sebesar 3 kali, dan kabel power sebesar 9 kali. Hal ini disebabkan adanya perawatan preventif sehingga frekuensi *breakdown* dapat berkurang dan keandalan komponen dapat meningkat.
4. Strategi perawatan yang tepat untuk memaksimalkan nilai *availability* untuk komponen kritis adalah skenario 1, yaitu perawatan korektif. Berdasarkan skenario 1, nilai *availability* pada komponen gun sebesar 0,9973, komponen kabel *wire feeder* sebesar 0,9975, dan komponen kabel power sebesar 0,9970. Nilai *availability* yang tinggi disebabkan oleh rendahnya proporsi terjadinya *downtime* mesin las MIG.

5. Strategi perawatan yang terbaik secara finansial untuk perawatan komponen kritis mesin las MIG adalah skenario 1, yaitu perawatan komponen kritis secara korektif. Berdasarkan hasil simulasi perawatan, biaya perawatan yang dihabiskan ketika menerapkan skenario 1 adalah Rp 7.636.220.091,00 untuk komponen gun, Rp 4.451.961.428,00 untuk komponen kabel *wire feeder* dan Rp 8.023.518.511,00 untuk komponen kabel power. Semakin kecil proporsi *downtime* mesin akibat kegiatan perawatan, maka biaya kerugian akibat tidak tercapainya target produksi dan biaya komponen dapat diminimalisir, sehingga biaya perawatan yang dikeluarkan perusahaan lebih ekonomis.

Daftar Pustaka

- Assauri, Sofjan. (2008). *Managemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit FE-UI.
- Djati, Bonett Satya Lelono. (2007). *Simulasi: Teori dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Ebeling, Charles. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintability*. New York: McGraw. Hill.
- Faridaf, Anni. (2008). *Teori Pengelasan Logam*. Solo: PT. Tiga Serangkai Pustaka Mandiri.
- Law, Averill. M. & Kelton, W. David. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Supandi. (1990). *Manajemen Perawatan Industri*. Bandung: Ganeca Exact.
- Tersine, Ricard. J. (1994). *Principles of Inventory and Material Management, 4th Edition*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.

Lampiran 1. Simulasi Kerusakan Komponen Gun – Skenario 2

REPLIKASI 1

	TTF	TM	TS	CM	PM	DT
1	531,672	501,929	503,199		1	1,270
2	614,610	1005,128	1005,983		1	0,855
3	286,646	1292,630	1294,001	1		1,372
4	258,973	1552,974	1553,395	1		0,421
5	582,402	2055,324	2056,294		1	0,970
6	164,045	2220,340	2221,999	1		1,659
7	170,914	2392,913	2394,647	1		1,734
8	141,602	2536,249	2537,312	1		1,063
9	384,988	2922,300	2923,547	1		1,247
10	554,087	3425,476	3426,386		1	0,910
11	731,079	3928,315	3929,696		1	1,381
	138,870	4068,565	4068,976	1		0,411
13	412,752	4481,728	4482,860	1		1,132
14	102,312	4585,172	4585,696	1		0,524
15	317,173	4902,869	4904,597	1		1,727
16	773,304	5406,526	5407,195		1	0,669
17	244,072	5651,267	5652,505	1		1,238
18	687,162	6154,434	6155,598		1	1,164
19	589,369	6657,527	6658,791		1	1,264
20	183,561	6842,351	6844,096	1		1,745
21	385,278	7229,374	7230,500	1		1,125
22	469,349	7699,849	7701,032	1		1,183
23	223,729	7924,761	7925,149	1		0,388
24	735,035	8427,078	8427,905		1	0,827
25	712,790	8929,834	8931,142		1	1,309
26	488,749	9419,891	9421,290	1		1,399
27	344,325	9765,615	9766,341	1		0,726
				17	10	29,713
				19,095	10,619	

REPLIKASI 2

	TTF	TM	TS	CM	PM	DT
1	324,217	324,217	324,813	1		0,597
2	420,892	745,705	747,334	1		1,628
3	415,053	1162,387	1164,114	1		1,728
4	625,439	1666,043	1666,868		1	0,825
5	453,013	2119,881	2121,802	1		1,921
6	647,350	2623,731	2624,873		1	1,142
7	389,840	3014,713	3016,288	1		1,575
8	267,896	3284,183	3286,135	1		1,951
9	334,399	3620,533	3621,957	1		1,424
10	885,047	4123,886	4124,580		1	0,694
11	440,000	4564,580	4565,737	1		1,157
12	507,761	5067,666	5068,523		1	0,857
13	597,720	5570,452	5571,589		1	1,137
14	553,649	6073,518	6074,454		1	0,936
15	366,183	6440,637	6441,498	1		0,861
16	994,837	6943,427	6944,306		1	0,878
17	686,024	7446,235	7447,104		1	0,869
18	140,276	7587,380	7588,997	1		1,616
19	255,694	7844,691	7846,038	1		1,347
20	491,787	8337,825	8339,014	1		1,189
21	263,410	8602,424	8604,073	1		1,649
22	266,186	8870,259	8871,439	1		1,181
23	411,238	9282,677	9283,519	1		0,841
24	505,229	9785,448	9786,229		1	0,781
				15	9	28,784
				20,665	8,120	

REPLIKASI 3

	TTF	TM	TS	CM	PM	DT
1	824,497	501,929	503,083		1	1,154
2	784,331	1005,012	1006,137		1	1,125
3	1153,325	1508,066	1508,544		1	0,478
4	433,601	1942,144	1943,562	1		1,418
5	174,682	2118,243	2120,082	1		1,839
6	773,378	2622,011	2623,460		1	1,449
7	745,542	3125,389	3126,187		1	0,798
8	69,853	3196,040	3197,608	1		1,568
9	518,454	3699,537	3700,495		1	0,958
10	429,441	4129,935	4131,037	1		1,101
11	727,522	4632,966	4633,711		1	0,746
12	273,035	4906,746	4908,420	1		1,674
13	749,540	5410,349	5411,492		1	1,142
14	546,979	5913,421	5914,435		1	1,015
15	408,752	6323,187	6324,669	1		1,482
16	224,891	6549,560	6550,964	1		1,404
17	1075,894	7052,893	7053,975		1	1,081
18	838,096	7555,904	7557,312		1	1,408
19	779,490	8059,241	8060,233		1	0,992
20	229,183	8289,416	8291,265	1		1,849
21	389,870	8681,135	8682,032	1		0,897
22	264,322	8946,354	8947,227	1		0,873
23	334,428	9281,655	9282,624	1		0,969
24	417,072	9699,696	9701,533	1		1,837
				12	12	29,257
				16,912	12,344	