

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan proses pengumpulan dan pengolahan data dalam penelitian serta analisis dan pembahasannya. Pengolahan data yang dilakukan meliputi analisis mengenai sebab akibat dari kerusakan mesin las MIG, menjadwalkan kegiatan *maintenance* yang tepat, menghitung dan membandingkan biaya perawatan berdasarkan masing-masing skenario yang diusulkan.

4.1 Tinjauan Umum Perusahaan

Pada bagian ini akan dijabarkan mengenai gambaran PT. Adi Putro Wirasejati secara umum, meliputi sejarah, logi, motto, visi, misi, struktur organisasi, macam-macam departemen, dan proses pembuatan bus serta minibus pada PT. Adi Putro Wirasejati.

4.1.1 Sejarah Perusahaan

Perusahaan karoseri PT. Adi Putro Wirasejati merupakan salah satu karoseri yang bergerak dalam bidang pembentukan *body* kendaraan. Perusahaan ini didirikan oleh Bapak Simon Jethrokusumo. Awal mulanya Bapak Simon Jethrokusumo melakukan percobaan membuat *body* mini bus di rumahnya dan ternyata minibus yang dihasilkan mendapatkan sambutan yang cukup baik dari masyarakat kota Malang.

Oleh karena itu keberhasilannya tersebut, pada tahun 1973 supaya dapat memperluas produksi maka diputuskan untuk mengkontrak tempat yang lebih luas yaitu daerah Betek, Malang. Perusahaan itu diberi nama “Perusahaan Karoseri Adi Putro” yang mempunyai arti putra pertama atau putra yang baik. Pada awal pembentukan perusahaan pengerjaannya masih menggunakan peralatan yang sederhana, yaitu dengan teter, sedangkan untuk pengecatan menggunakan pompa tangan, produk pertama yang dihasilkan adalah Mitstubishi Colt T-120.

Sesuai dengan berjalannya waktu, perusahaan PT. Adi Putro Wirasejati semakin berkembang, baik dalam jumlah produksi maupun peralatan yang digunakan. Mengingat hal tersebut, maka pada tahun 1975 perusahaan dipindah ke Jalan Raya Balarjosari No.35 Karanglo, Malang yang awalnya mempunyai luas 3000 m² dan perusahaan telah menggunakan peralatan yang lebih baik antara lain mesin tekuk manual dan mesin gunting plat dan memperkerjakan kurang lebih 20 orang tenaga kerja. Lahan pabrik yang digunakan sebagai karoseri di Jalan Balarjosari no.35 saat ini adalah 4.9 hektar dan

perkembangannya sedang diperluas menjadi 6.9 hektar. Jumlah tenaga kerja saat ini \pm 1000 karyawan dengan status kerja bermacam-macam yaitu: pegawai tetap, *outsourcing*, dan borongan. Setelah cukup sukses dan dapat diterima oleh masyarakat, maka PT. Adi Putro Wirasejati membuka cabang di Jakarta untuk menjangkau kawasan Jawa Barat.

Produksi yang dihasilkan ada berbagai macam antara lain: Suzuki Carry Carreta 1000 cc, Suzuki Avebtura 1500 cc, Mitsubishi L300, dan Isuzu Elf. Sejak terjadi krisis moneter pada tahun 1997, permintaan *assembling* kendaraan kecil mulai berkurang sehingga PT. Adi Putro Wirasejati mencoba melakukan pembuatan *body* pada kendaraan besar, yaitu bus. Sampai sekarang bus menjadi *assembling* utama di PT. Adi Putro Wirasejati.

4.1.2 Logo Perusahaan

Logo PT. Adi Putro Wirasejati digambarkan dengan seekor kuda yang ditunggangi oleh seorang pahlawan. Sehingga dapat dikatakan logo PT. Adi Putro Wirasejati adalah pahlawan berkuda. Kuda melambangkan kecepatan dan suatu perjuangan, sedangkan pahlawan merupakan orang yang berjasa. Oleh karena itu, makna logo Adi Putro adalah perjuangan tiada henti dari seorang pahlawan untuk menjadi yang tercepat. Sedangkan huruf “AP” pada gambar adalah singkatan dari Adi Putro yang artinya putra terbaik.



Gambar 4.1 Logo PT. Adi Putro Wirasejati

4.1.3 Motto Perusahaan

Motto dari PT. Adi Putro Wirasejati adalah “Senantiasa Terdepan”.

4.1.4 Visi Perusahaan

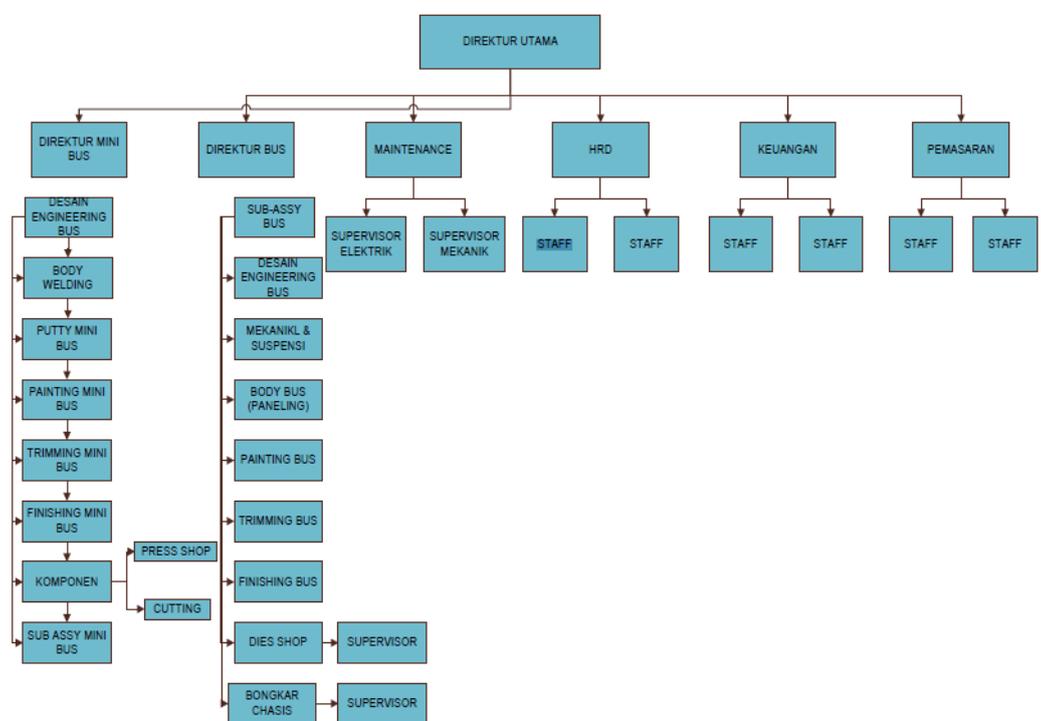
Visi PT. Adi Putro Wirasejati adalah menjadi perusahaan yang terdepan dengan penguasaan teknologi yang sesuai dengan kompetensi industri serta menghasilkan produk-produk yang mampu menghadapi persaingan global.

4.1.5 Misi Perusahaan

Misi PT. Adi Putro Wirasejati adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan produk-produk yang mampu bersaing di pasar global khususnya produk-produk niaga, serta menyediakan lingkungan yang kondusif.
2. Mengembangkan penguasaan teknologi untuk memecahkan masalah di bidang pelayanan, khususnya yang berkaitan dengan produksi, perawatan, dan desain.
3. Meningkatkan mutu sumber daya manusia dalam mengembangkan suasana perusahaan yang kondusif dengan mengimplementasikan nilai etika dan moral.

4.1.6 Struktur Organisasi Perusahaan



Gambar 4.2 Struktur Organisasi PT. Adi Putro Wirasejati

4.1.7 Produk

Produk-produk PT. Adi Putro Wira Sejati dipasarkan ke seluruh pelosok nusantara. Kualitas produk, kelengkapan jenis produk untuk mengantisipasi keragaman selera konsumen, dan jaringan distribusi yang luas, adalah modal utama yang mengkokohkan keberadaan PT. Adi Putro Wira Sejati di Indonesia. Produk PT. Adi Putro Wirasejati ada 3 jenis, yaitu *jetbus*, *medium coach*, dan *minibus*. Jenis-jenis produk PT. Adi Putro Wirasejati dapat dilihat pada Gambar 4.3.



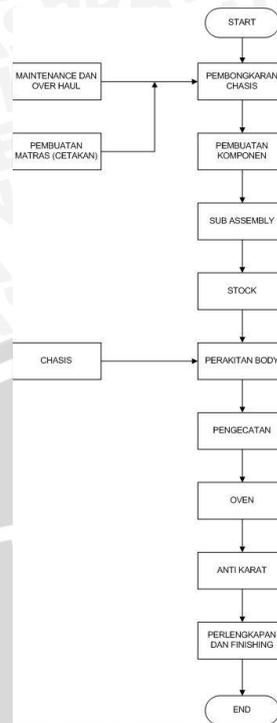
Gambar 4.3 Produk *Jetbus* dan *Medium Coach* PT. Adi Putra Wirasejati

4.1.8 Proses Produksi Minibus

Minibus adalah *chasis* yang diubah menjadi sebuah kendaraan melalui berbagai penggabungan atau *assembling body* di setiap bagiannya. Untuk memproduksi suatu minibus di PT. Adi Putro Wirasejati terdapat beberapa bagian departemen yang saling mendukung satu sama lain. Sebuah *chasis* harus melewati semua departemen yang ada, dimana setiap departemen memiliki tugas masing-masing untuk menunjang pembentukan sebuah minibus. Berikut beberapa departemen yang terkait dalam proses produksi minibus:

1. Departemen *Engineering*
2. Departemen Pembongkaran *Chasis*
3. Departemen *Dies Shop*
4. Departemen *Press Shop*
5. Departemen *Sub-Assy Minibus*
6. Departemen *Body Welding*
7. Departemen *Putty Minibus*
8. Departemen *Painting Minibus*
9. Departemen Fiber
10. Departemen *Trimming Minibus*
11. Departemen *Finishing Minibus*

Di setiap departemen membutuhkan kinerja yang benar agar ketika *chasis* berpindah dari suatu departemen ke departemen lainnya tidak ditemukan kesalahan atau trobel yang dapat mengakibatkan perlunya waktu yang lebih lama untuk melakukan perbaikan terlebih dahulu. Diagram alir pembuatan minibus dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Diagram Alir Pembuatan Minibus

Proses pembuatan sebuah minibus di PT. Adi Putro Wirasejati terdiri dari beberapa tahapan, antara lain sebagai berikut:

1. Perencanaan model sebuah minibus (Departemen *Engineering*).
2. Merealisasikan dalam bentuk gambar (Departemen *Engineering* bagian *Drafter*).
3. Pelepasan panel-panel dan instrumen *chasis* (Departemen *Bongkar Chasis*)
4. Penyedia cetakan atau *dies* (PT. Adi Putro Wirasejati menyebutnya *matras*) oleh Departemen *Dies Shop*.
5. Penyediaan bahan untuk mencetak (Departemen *Press Shop*).
6. Penyambungan komponen (Departemen *Sub-Assy*).
7. Perangkaian body minibus (Departemen *Body Welding*).
8. Pendempulan (Departemen *Putty Minibus*).
9. Pengecatan (Departemen *Painting Minibus*).
10. Pemasangan interior (Departemen *Trimming Minibus*)
11. Finishing (Departemen *Finishing Minibus*).

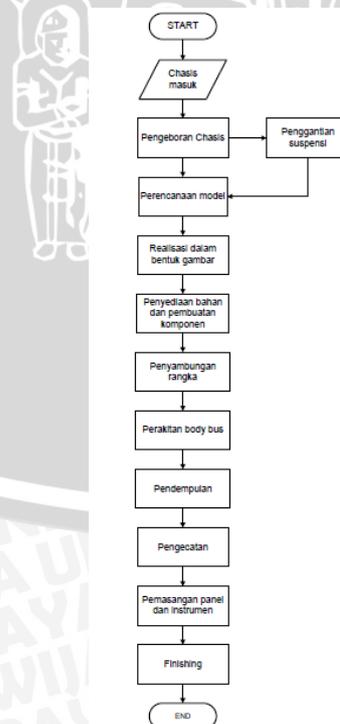
4.1.9 Proses Produksi Bus

PT. Adi Putro Wirasejati saat ini lebih dominan dalam pembuatan bus-bus besar maupun minibus karena PT. Adi Putro Wirasejati adalah perusahaan yang lebih mendapatkan padat karya maka perusahaan lebih memilih mesin-mesin semi otomatis

dan menggunakan *jig-jig* untuk mempercepat proses produksi. Berikut ini adalah beberapa departemen yang ada di PT. Adi Putro Wira Sejati dalam mendukung proses produksi bus, antara lain:

1. Departemen *Engineering*
2. Departemen Pembongkaran *Chasis*
3. Departemen *Dies Shop*
4. Departemen *Press Shop*
5. Departemen *Sub-Assy Bus*
6. Departemen Rangka
7. Departemen *Panelling (Welding Bus)*
8. Departemen *Putty Bus*
9. Departemen *Painting Bus*
10. Departemen *Trimming Bus*
11. Departemen *Finishing Bus*

Di setiap departemen dibutuhkan kinerja yang benar dan cermat agar ketika *chasis* berpindah dari satu departemen ke departemen lain tidak ditemukan kesalahan yang memerlukan perbaikan *chasis* sehingga bisa menghambat proses produksi. Alur pembuatan bus di PT. Adi Putro Wirasejati dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Diagram Alir Pembuatan Bus

Proses pembuatan sebuah bus di PT. Adi Putro Wirasejati terdiri dari beberapa tahapan, antara lain sebagai berikut:

1. Pelepasan panel dan instrumen chasis yang masuk (Departemen Bongkar Chasis).
2. Pengeboran dan penggantian suspensi (Departemen Mekanik Bus).
3. Perencanaan model sebuah minibus (Departemen *Engineering*).
4. Merealisasikan dalam bentuk gambar (Departemen *Engineering* bagian *Drafter*).
5. Penyedia cetakan atau *dies* (Departemen *Dies Shop*)
6. Penyediaan bahan untuk mencetak (Departemen *Press Shop*).
7. Penyambungan komponen (Departemen *Sub-Assy*).
8. Perangkaian body bus (Departemen Body Welding).
9. Pendempulan (Departemen Putty Bus).
10. Pengecatan (Departemen Painting Bus).
11. Pemasangan Interior (Departemen Trimming Bus)
12. Finishing (Departemen Finishing Bus).

4.2 Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan berdasarkan frekuensi *breakdown* yang tertinggi diantara komponen-komponen mesin las MIG. Namun sebelum menentukan komponen kritis, sebaiknya ditentukan terlebih dahulu departemen mana yang bersifat kritis bagi perusahaan. Data jumlah *breakdown* di dalam perhitungan ini berdasarkan pada data *breakdown* yang dicatat oleh staf departemen *maintenance*. Data frekuensi *breakdown* mesin las MIG dari 7 departemen yang berkaitan langsung dengan proses produksi untuk periode Januari 2012 sampai dengan Desember 2012 adalah sebagai berikut:

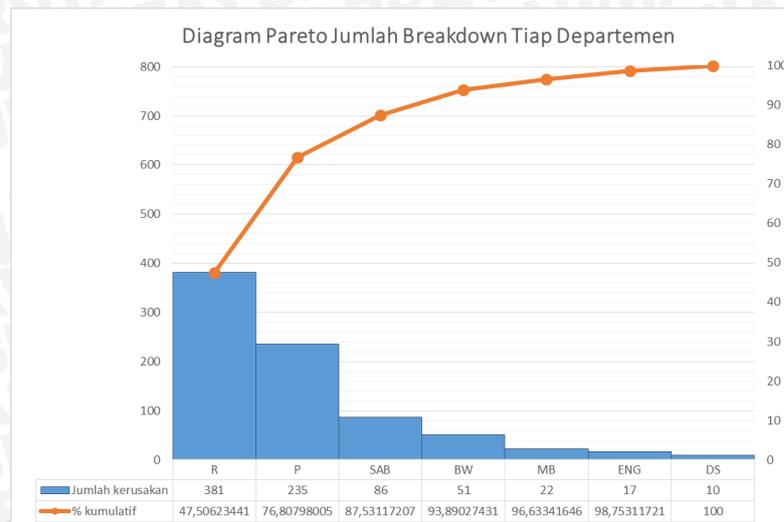
Tabel 4.1 Jumlah *Breakdown* Mesin Las MIG di PT. Adi Putro Wirasejati

No	Kode	Bulan												JK/Dept
		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	0	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

JK: Jumlah Kerusakan

R: Rangka; P: *Panelling*; SAB: *Sub-Assy Bus*; BW: *Body Welding*; ENG: *Engineering*; MB: Mekanik Bus; DS: *Dies Shop*

Sumber: Data PT. Adi Putro Wirasejati



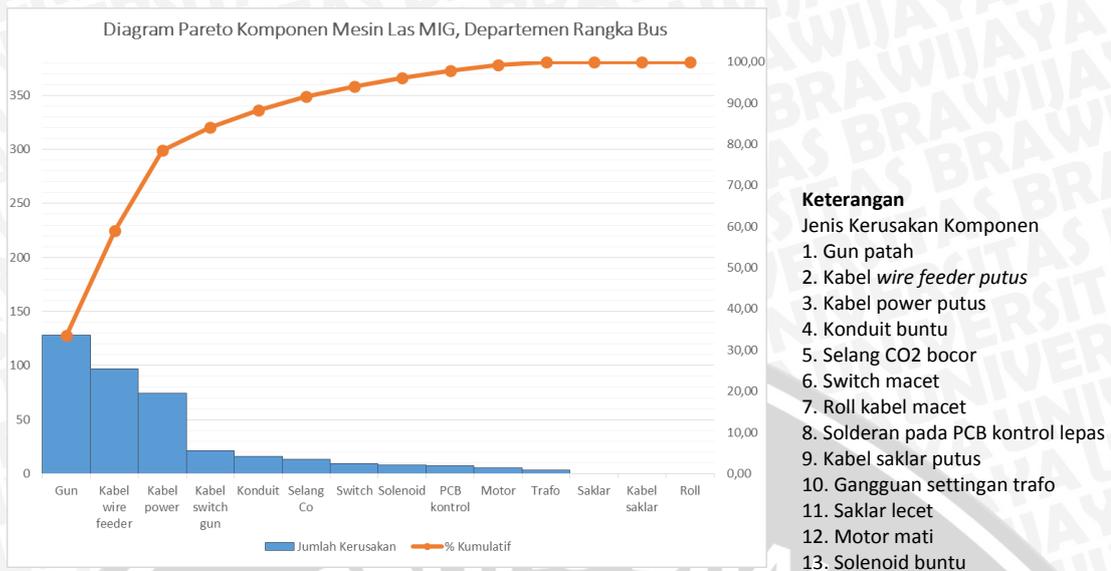
Gambar 4.6 Diagram Pareto *Breakdown* Tiap Departemen

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. Departemen Rangka Bus adalah departemen yang bertugas untuk membuat rangka sebuah bus. Departemen ini memiliki 51 mesin las MIG untuk mendukung pekerjaannya. 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:

Tabel 4.2 Jumlah *Breakdown* Komponen Mesin Las MIG, Departemen Rangka Bus

No	Nama	Jumlah	FB (%)	FK
1	Gun	128	33,60	33,60
2	Kabel wire feeder	97	25,46	59,06
3	Kabel power	74	19,42	78,48
4	Kabel switch gun	21	5,51	83,99
5	Konduit	16	4,20	88,19
6	Selang Co	13	3,41	91,60
7	Switch	9	2,36	93,96
8	Roll	8	2,10	96,06
9	PCB kontrol	7	1,84	97,90
10	Kabel saklar	5	1,31	99,21
11	Trafo	3	0,79	100,00
12	Saklar	0	0,00	100,00
13	Motor	0	0,00	100,00
14	Solenoid	0	0,00	100,00
		381		

FB: Frekuensi *Breakdown*; FK: Frekuensi Kumulatif



Gambar 4.7 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.

4.3 Perhitungan Data Kerusakan

4.3.1 Perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Langkah pertama yang dilakukan dalam melakukan perhitungan ini adalah menghitung *Time to Failure* (TTF) dan *downtime* atau *Time to Repair* (TTR). *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.

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

Gun pada Mesin Las MIG

Berikut ini adalah data *time to failure* dan *time to repair* komponen gun pada mesin las MIG

Tabel 4.3 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
11	16 Juni 2012	15.40	16 Juni 2012	16.35	0,92	921,833	4
12	27 Februari 2012	8.15	27 Februari 2012	10.00	1,75	-	5
13	15 Maret 2012	8.45	14 Maret 2012	10.10	1,42	124,750	5
14	24 Februari 2012	9.20	24 Februari 2012	11.00	1,67	-	6
...
105	03 Agustus 2012	10.25	03 Agustus 2012	11.40	1,25	-	45
106	17 Februari 2012	10.30	17 Februari 2012	11.15	0,75	-	46
107	21 Juni 2012	7.45	21 Juni 2012	9.10	1,42	923,333	46
108	16 Januari 2012	9.20	16 Januari 2012	11.10	1,83	-	47
109	12 Maret 2012	14.20	10 Maret 2012	15.45	1,42	416,167	47
110	31 Agustus 2012	9.15	31 Agustus 2012	10.05	0,83	1236,500	47
111	26 September 2012	8.50	26 September 2012	10.20	1,50	196,750	47
112	08 November 2012	11.10	08 November 2012	13.15	1,08	324,833	47
113	15 Desember 2012	9.50	15 Desember 2012	11.20	1,50	267,583	47
114	29 Februari 2012	9.30	29 Februari 2012	10.15	0,75	-	48
115	12 April 2012	10.45	12 April 2012	13.40	1,92	315,500	48
116	26 Mei 2012	11.25	26 Mei 2012	13.35	1,17	322,750	48
117	24 September 2012	13.35	24 September 2012	14.40	1,08	864,000	48
118	04 Oktober 2012	10.10	04 Oktober 2012	11.50	1,67	77,500	48
119	26 Maret 2012	11.20	26 Maret 2012	13.55	2,58	-	49
120	30 April 2012	15.10	30 April 2012	16.10	1,75	262,250	49
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
					Jumlah	Rata-Rata	
					174,45	505,047	

WM: Waktu Mulai; WS: Waktu Selesai

Contoh perhitungan TTF dan TTR adalah sebagai berikut:

1. <i>Time to Repair</i> (TTR) tanggal 28 Juli 2012	
= 09:20 – 10:50 = 1 jam 30 menit = 1,50 jam	
2. <i>Time to Failure</i> (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
<hr/>	
Total <i>Time to Failure</i> (TTF)	+ = 40.775 menit = 679,583 jam

4.3.1.2 Perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kabel *Wire Feeder* pada Mesin Las MIG

Data *time to failure* dan *time to repair* komponen kabel *wire feeder* pada mesin las MIG terdapat pada Lampiran 2. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan maka diperoleh total *downtime* sebesar 127,76 jam dan rata-rata interval waktu kerusakan pada komponen kabel *wire feeder* sebesar 521,799 jam.

4.3.1.3 Perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kabel Power pada Mesin Las MIG

Data *time to failure* dan *time to repair* komponen kabel power pada mesin las MIG terdapat pada Lampiran 3. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan maka diperoleh total *downtime* sebesar 104,30 jam dan rata-rata interval waktu kerusakan pada komponen kabel power sebesar 443,656 jam.

4.3.2 Penentuan Distribusi, *Goodness of Fit*, Pendugaan Parameter, *Mean Time to Failure* (MTTF), dan *Mean Time to Repair* (MTTR)

Perhitungan selanjutnya adalah mengidentifikasi pola distribusi dari data *Time to Failure* (TTF) dan data *Time to Repair* (TTR). Langkah awal yang dilakukan dalam menentukan distribusi ini adalah dengan menduga suatu distribusi data waktu kerusakan berdasarkan karakteristik dari macam-macam jenis distribusi kerusakan yang sesuai dengan penerapannya dalam suatu aplikasi. Data-data kerusakan tersebut biasanya akan mengikuti pola salah satu dari empat jenis distribusi, yaitu distribusi *Weibull*, Eksponensial, Normal dan Lognormal. Keempat distribusi inilah yang paling sering

digunakan untuk menggambarkan pola atau model kerusakan atau fase keausan mesin dan komponen.

Setelah menduga jenis distribusi data TTF dan TTR, maka langkah selanjutnya adalah melakukan 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 untuk memperoleh nilai MTTF dan MTTR dari masing-masing komponen sesuai dengan distribusi yang terpilih.

4.3.2.1 Penentuan Jenis Distribusi, Penentuan Parameter, Uji Kesesuaian Distribusi (*Goodness of Fit*), Nilai *Mean Time to Failure* (MTTF), dan *Mean Time to Repair* (MTTR) Komponen Gun Mesin Las MIG

4.3.2.1.1 Penentuan Jenis Distribusi untuk *Time to Failure* (TTF) pada Komponen Gun Mesin Las MIG

Langkah yang perlu dilakukan selanjutnya adalah menentukan suatu distribusi data waktu kerusakan berdasarkan karakteristik suatu distribusi sesuai dengan aplikasi penggunaannya. Pada bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa ada empat macam jenis distribusi yang umum digunakan untuk data kerusakan. Empat macam jenis distribusi tersebut antara lain distribusi *Weibull*, *Ekspensial*, Normal dan Lognormal.

Langkah awal yang dilakukan untuk menentukan distribusi suatu data kerusakan adalah membuat suatu hipotesa apakah data kerusakan mengikuti salah satu dari keempat jenis distribusi kerusakan. Data TTF komponen gun mesin las MIG diduga berdistribusi *Weibull*. Pendugaan jenis distribusi data TTF komponen gun 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. Setelah pendugaan jenis distribusi pada data TTF komponen mesin las MIG, maka langkah yang dilakukan adalah pengujian hipotesa lebih lanjut untuk memperkuat distribusi *Weibull* yang diduga adalah benar merupakan distribusi *Weibull*. Pengujian lebih lanjut itu adalah dengan melakukan uji *goodness of fit* untuk distribusi *Weibull*, yaitu uji *Mann*.

4.3.2.1.2 Uji Kesesuaian Distribusi (*Goodness of Fit*) untuk *Time to Failure* (TTF) pada Komponen Gun Mesin Las MIG

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}

$$\alpha : 0,01$$

$$k_1 = \frac{r}{2} = \frac{82}{2} = 41 \rightarrow v_2 = (2)(41) = 82$$

$$k_2 = \frac{r-1}{2} = \frac{81}{2} = 40,5 \rightarrow v_2 = (2)(40,5) = 81$$

$$F_{tabel} = F_{0,01, 82, 81}$$

$$= 1,681$$

3. Kriteria pengujian

H_0 diterima jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$

H_0 ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$

4. Uji statistik

Berikut ini merupakan uji *Mann* data TTF komponen gun mesin las MIG dan untuk hasil selengkapnya akan ditampilkan pada Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.4 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
11	199,750	5,297	-1,991	0,098	0,001	0,009
12	199,917	5,298	-1,893	0,090	0,034	0,381
13	206,917	5,332	-1,803	0,084	0,069	0,820
14	221,667	5,401	-1,719	0,079	0,038	0,479
15	230,167	5,439	-1,640	0,074	0,026	0,348
16	236,167	5,465	-1,566	0,070	0,005	0,071
17	237,333	5,469	-1,497	0,066	0,072	1,089
18	255,083	5,542	-1,430	0,063	0,009	0,150
19	257,500	5,551	-1,367	0,060	0,011	0,187

Lanjutan Tabel 4.4 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	$\frac{\ln(t_{i-1}) - \ln(t_i)}{M_i}$
20	260,417	5,562	-1,307	0,058	0,007	0,122
...
50	504,583	6,224	-0,082	0,033	0,038	1,140
51	524,000	6,261	-0,049	0,033	0,022	0,666
52	535,667	6,284	-0,016	0,033	0,021	0,624
53	546,833	6,304	0,017	0,033	0,008	0,230
54	551,000	6,312	0,050	0,033	0,032	0,957
55	568,750	6,343	0,083	0,033	0,033	0,998
56	587,917	6,377	0,116	0,033	0,145	4,344
57	679,583	6,521	0,150	0,034	0,016	0,468
58	690,333	6,537	0,183	0,034	0,034	1,005
59	714,167	6,571	0,217	0,034	0,030	0,878
60	735,833	6,601	0,251	0,034	0,025	0,716
61	754,167	6,626	0,285	0,035	0,008	0,244
62	760,583	6,634	0,320	0,035	0,053	1,517
63	802,333	6,688	0,355	0,036	0,021	0,580
64	819,167	6,708	0,391	0,036	0,024	0,665
65	839,250	6,733	0,427	0,037	0,007	0,192
66	845,250	6,740	0,465	0,038	0,013	0,341
67	856,250	6,753	0,503	0,039	0,009	0,232
68	864,000	6,762	0,541	0,040	0,003	0,063
69	866,167	6,764	0,582	0,041	0,040	0,976
70	901,833	6,804	0,623	0,043	0,022	0,512
71	921,833	6,826	0,666	0,045	0,002	0,036
72	923,333	6,828	0,710	0,047	0,003	0,062
73	926,000	6,831	0,757	0,049	0,009	0,183
74	934,417	6,840	0,807	0,053	0,008	0,160
75	942,333	6,848	0,860	0,057	0,002	0,028
76	943,833	6,850	0,916	0,062	0,044	0,711
77	986,500	6,894	0,979	0,069	0,006	0,085
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 $i = 1$

$$\begin{aligned} \ln(t_i) &= \ln(67,667) \\ &= 4,215 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_i &= \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{82+0,25} \right) \right] \\ &= -5,100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_i &= Z_2 - Z_1 \\ &= -3,995 - (-5,100) \\ &= 1,105 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln(t_2) - \ln(t_1) &= 4,350 - 4,215 \\ &= 0,136 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\ln(t_2) - \ln(t_1)}{M_i} &= \frac{0,136}{1,105} \\ &= 0,123 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{hitung} &= \frac{k_1 \sum_{i=k1+1}^{r-1} \left(\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} \right)}{k_2 \sum_{i=1}^{k1} \left(\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} \right)} \\ &= \frac{41(27,565)}{40,5(18,278)} \\ &= 1,527 \end{aligned}$$

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*.

4.3.2.1.3 Perhitungan Parameter untuk *Time to Failure* (TTF) pada Komponen Gun Mesin Las MIG

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:

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$\alpha = b$$

$$\beta = e^{-(a/b)}$$

Perhitungan nilai parameter β dan α adalah sebagai berikut:

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

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

$$\begin{aligned}
 &= -11,804 \\
 \text{Parameter } \alpha &= b \\
 &= 1,804 \\
 \text{Parameter } \beta &= e^{-(a/b)} \\
 &= e^{-(-6,336)} \\
 &= 564,482
 \end{aligned}$$

4.3.2.1.4 Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) untuk *Time to Failure* (TTF) pada Komponen Gun Mesin Las MIG

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:

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

4.3.2.1.5 Penentuan Distribusi untuk *Time to Repair* (TTR) pada Komponen Gun Mesin Las MIG

Data TTR komponen gun mesin las MIG diduga berdistribusi *Weibull*. Pendugaan jenis distribusi data TTF komponen gun 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 dan waktu untuk menyelesaikan suatu pekerjaan, misalnya perbaikan mesin. Setelah pendugaan jenis distribusi pada data TTF komponen mesin las MIG, maka langkah yang dilakukan adalah pengujian hipotesa lebih lanjut untuk memperkuat distribusi *Weibull* yang diduga adalah benar merupakan distribusi *Weibull*. Pengujian lebih lanjut itu adalah dengan melakukan uji *goodness of fit* untuk distribusi *Weibull*, yaitu uji *Mann*.

4.3.2.1.6 Uji Kesesuaian Distribusi (*Goodness of Fit*) untuk *Time to Repair* (TTR) pada Komponen Gun Mesin Las MIG

Berdasarkan karakteristik suatu distribusi kerusakan sesuai dengan aplikasi penggunaannya, maka diduga bahwa data TTR komponen gun berdistribusi *Weibull*. Untuk memperkuat distribusi *Weibull* yang diasumsikan 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 TTR komponen gun mesin las MIG berdistribusi *Weibull*

H_1 : Data TTR komponen gun mesin las MIG tidak berdistribusi *Weibull*

2. Penentuan nilai α (taraf nyata) dan nilai M_{tabel}

$$\alpha : 0,01$$

$$k_1 = \frac{r}{2} = \frac{128}{2} = 64 \rightarrow v_2 = (2)(64) = 128$$

$$k_2 = \frac{r-1}{2} = \frac{127}{2} = 63,5 \rightarrow v_2 = (2)(63,5) = 127$$

$$F_{\text{tabel}} = F_{0,01, 128, 127}$$

$$= 1,513$$

3. Kriteria pengujian

H_0 diterima jika $F_{\text{hitung}} \leq F_{\text{tabel}}$

H_0 ditolak jika $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$

4. Uji statistik

Berikut ini merupakan uji *Mann* data TTR komponen gun mesin las MIG dan untuk hasil selengkapnya akan ditampilkan pada Lampiran 5.

5. Penarikan kesimpulan

Dari hasil perhitungan di atas $F_{\text{hitung}} \leq F_{\text{tabel}}$ ($0,852 \leq 1,513$), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima, yaitu data TTR komponen gun mesin las MIG berdistribusi *Weibull*.

4.3.2.1.7 Perhitungan Parameter untuk *Time to Repair* (TTR) pada Komponen Gun Mesin Las MIG

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

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$\alpha = b$$

$$\beta = e^{-(a/b)}$$

Perhitungan nilai parameter β dan α adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Gradien } b &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\ &= \frac{(128)(29,114) - (33,975)(-72,909)}{(21,167) - (33,975)^2} \\ &= 3,989 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Interstep } a &= \bar{y} - b \cdot \bar{x} \\ &= -0,570 - (3,989)(0,265) \\ &= -1,628 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Parameter } \alpha &= b \\ &= 3,989 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Parameter } \beta &= e^{-(a/b)} \\ &= e^{-(-0,408)} \\ &= 1,504 \end{aligned}$$

4.3.2.1.8 Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk *Time to Repair* (TTR) pada Komponen Gun Mesin Las MIG

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

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \beta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \\ &= (1,504) \Gamma \left(1 + \frac{1}{3,989} \right) \\ &= (1,504) (0,906) \\ &= 1,363 \text{ jam} \end{aligned}$$

4.3.3 Rekapitulasi Hasil Penentuan Distribusi, Uji *Goodness of Fit*, Penentuan Parameter, Nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) dari Komponen Kritis Mesin Las MIG

Berdasarkan hasil pendugaan distribusi data TTF dan TTR komponen kritis, yaitu data TTF dan TTR komponen kritis berdistribusi *Weibull*, maka langkah-langkah uji *goodness of fit*, perhitungan parameter, nilai MTTF dan MTTR untuk komponen kabel *wire feeder* dan kabel power sama seperti langkah-langkah pengolahan data pada komponen gun. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya:

Tabel 4.5 Rekapitulasi Uji Distribusi Data TTF Komponen Kritis Mesin Las MIG

Komponen Kritis	Distribusi (TTF)	Uji Distribusi	M_{tabel}	M_{hitung}	Hasil
Gun	<i>Weibull</i>	<i>Mann</i>	$M_{0,01, 41,40,5} = 1,681$	1,527	Terima H_0
Kabel <i>wire feeder</i>	<i>Weibull</i>	<i>Mann</i>	$M_{0,01, 25,5,25} = 1,940$	0,920	Terima H_0
Kabel power	<i>Weibull</i>	<i>Mann</i>	$M_{0,01, 15,5,16} = 2,329$	1,418	Terima H_0

Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai MTTF Komponen Kritis Mesin Las MIG

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

Tabel 4.7 Rekapitulasi Uji Distribusi Data TTR Komponen Kritis Mesin Las MIG

Komponen Kritis	Distribusi (TTR)	Uji Distribusi	M_{tabel}	M_{hitung}	Hasil
Gun	<i>Weibull</i>	<i>Mann</i>	$M_{0,01, 63,5,64} = 1,513$	0,852	Terima H_0
Kabel <i>wire feeder</i>	<i>Weibull</i>	<i>Mann</i>	$M_{0,01, 48,5,48} = 1,611$	0,693	Terima H_0
Kabel power	<i>Weibull</i>	<i>Mann</i>	$M_{0,01, 37,36,5} = 1,729$	1,083	Terima H_0

Tabel 4.8 Rekapitulasi Nilai MTTR Komponen Kritis Mesin Las MIG

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

4.4 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.

4.4.1 Pembangkitan Skenario Interval Penggantian Komponen Gun Mesin Las MIG

Skenario interval waktu penggantian untuk komponen gun terdiri atas 3 skenario, antara lain:

1. Skenario 1: Perawatan Korektif

Pada skenario ini komponen gun akan diganti ketika mengalami kerusakan secara tiba-tiba (*breakdown*). Jadi dengan kata lain interval waktu penggantian komponen gun pada skenario 1 adalah ketika komponen tersebut mengalami *breakdown*.

2. Skenario 2: $tp = MTTF = 501,929$

Pada skenario ini komponen gun akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF). Jadi interval waktu penggantian gun pada skenario 2 sesuai dengan nilai MTTF, yaitu 501,929.

3. Skenario 3: Reliability = 90% $\rightarrow tp = 162$

Pada skenario ini komponen gun akan diganti ketika nilai keandalannya telah mencapai 90%. Interval waktu penggantian dicari dengan sistem *trial error* menggunakan rumus dan perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4.9 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Gun

tp	R(tp)
10	0,999
20	0,998
30	0,995
40	0,992
50	0,987
...	...
130	0,932
140	0,922
150	0,913
160	0,902
161	0,901
162	0,900

Contoh perhitungan untuk $t_p = 10$

$$\begin{aligned} R(t_p) &= e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \\ &= e^{-\left(\frac{10}{564,482}\right)^{1,804}} \\ &= 0,999 \end{aligned}$$

4.4.2 Pembangkitan Skenario Interval Penggantian Komponen Kabel *Wire Feeder* Mesin Las MIG

Skenario interval waktu penggantian untuk komponen kabel *wire feeder* terdiri atas 3 skenario, antara lain:

1. Skenario 1: Perawatan Korektif

Pada skenario ini komponen kabel *wire feeder* akan diganti ketika mengalami kerusakan secara tiba-tiba (*breakdown*). Jadi dengan kata lain interval waktu penggantian komponen kabel *wire feeder* pada skenario 1 adalah ketika komponen tersebut mengalami *breakdown*.

2. Skenario 2: $t_p = \text{MTTF} = 525,669$

Pada skenario ini komponen kabel *wire feeder* akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF). Jadi interval waktu penggantian kabel *wire feeder* pada skenario 2 sesuai dengan nilai MTTF, yaitu 525,669

3. Skenario 3: Reliability = 90% $\rightarrow t_p = 195$

Pada skenario ini komponen kabel *wire feeder* akan diganti ketika nilai keandalannya telah mencapai 90%. Interval waktu penggantian dapat dilihat pada Lampiran 26.

4.4.3 Pembangkitan Skenario Interval Penggantian Komponen Kabel Power Mesin Las MIG

Skenario interval waktu penggantian untuk komponen kabel power terdiri atas 3 skenario, antara lain:

1. Skenario 1: Perawatan Korektif

Pada skenario ini komponen kabel power akan diganti ketika mengalami kerusakan secara tiba-tiba (*breakdown*). Jadi dengan kata lain interval waktu penggantian komponen kabel power pada skenario 1 adalah ketika komponen tersebut mengalami *breakdown*.

2. Skenario 2: $tp = MTTF = 449,707$

Pada skenario ini komponen kabel power akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF). Jadi interval waktu penggantian kabel power pada skenario 2 sesuai dengan nilai MTTF, yaitu 449,707

3. Skenario 3: Reliability = 90% $\rightarrow tp = 146$

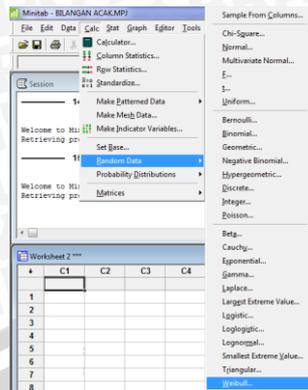
Pada skenario ini komponen kabel power akan diganti ketika nilai keandalannya telah mencapai 90%. Interval waktu penggantian dapat dilihat pada Lampiran 27.

4.5 Pembangkitan Bilangan Acak Data *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis Mesin Las MIG

Pembangkitan bilangan acak untuk data TTF dan TTR komponen kritis mesin las MIG merupakan tahap yang dilakukan pada Simulasi *Monte Carlo* setelah melakukan tahap penentuan distribusi dan parameter distribusi. Bilangan-bilangan acak ini akan dibangkitkan sesuai dengan distribusi data TTF dan TTR yang telah ditentukan sebelumnya. 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. Hasil pembangkitan data TTF dan TTR komponen kritis mesin las MIG akan digunakan sebagai dasar pembuatan skenario perawatan.

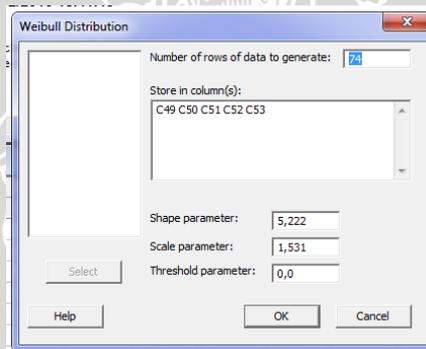
Pembangkitan bilangan acak ini dilakukan dengan bantuan *software Minitab 16.0*. Berikut ini adalah cara pembangkitan bilangan acak dengan menggunakan *Minitab 16.0*:

1. Pilih tab *Calc* \rightarrow *Random Data* \rightarrow Jenis distribusi data yang akan dibangkitkan



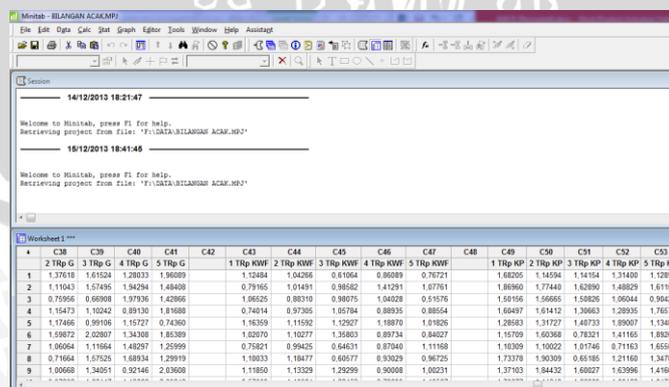
Gambar 4.8 Langkah-langkah Pembangkitan Bilangan Acak 1

2. Ketika muncul kotak dialog *Random Data* untuk jenis distribusi yang dipilih, pada baris *number of rows data to generate*, isikan jumlah data yang akan dibangkitkan. Pada baris *store in column (s)* isikan letak kolom tempat hasil bilangan acak yang akan dibangkitkan. Setelah itu isikan parameter distribusi sesuai dengan distribusi yang akan dibangkitkan kemudian klik OK.



Gambar 4.9 Langkah-langkah Pembangkitan Bilangan Acak 2

3. Berikut ini adalah contoh hasil pembangkitan bilangan acak sesuai dengan langkah-langkah di atas.



Gambar 4.10 Langkah-langkah Pembangkitan Bilangan Acak 3

4.5.1 Pembangkitan Bilangan Acak Data *Time to Failure* (TTF) Komponen Kritis Mesin Las MIG

4.5.1.1 Pembangkitan Bilangan Acak Data *Time to Failure* (TTF) Komponen Gun Mesin Las MIG

Pembangkitan bilangan acak ini dilakukan sebanyak 75 data dengan 3 replikasi. Pembangkitan bilangan acak data TTF komponen gun mesin las MIG ini sesuai dengan distribusi data *Weibull* dengan parameter $\alpha = 1,804$ dan $\beta = 564,482$. Berikut ini adalah hasil pembangkitan bilangan acak data TTF komponen gun mesin las MIG:

Tabel 4.10 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
6	164,045	647,350	773,378
7	170,914	389,840	745,542
8	141,602	267,896	69,853
9	384,988	334,399	518,454
...
10	554,087	885,047	429,441
60	289,719	911,293	412,260
61	932,382	390,923	280,706
62	838,517	279,622	152,210
63	461,988	859,403	661,040
64	264,406	906,528	720,493
65	245,253	598,366	566,207
66	477,319	700,040	531,843
67	542,520	214,924	632,804
68	490,627	334,346	436,474
69	768,575	1133,825	445,276
70	435,396	233,784	1052,517
71	323,915	295,719	516,891
72	928,464	466,864	1005,818
73	327,470	628,592	536,301
74	339,826	216,078	311,681
75	491,508	381,243	315,874

Pembangkitan bilangan acak TTF komponen kabel *wire feeder* terdapat pada Lampiran 11, sedangkan untuk komponen kabel power terdapat pada Lampiran 12.

4.5.2 Pembangkitan Bilangan Acak Data *Time to Repair - Failure* (TTR-F) Komponen Kritis Mesin Las MIG

Time to Repair – Failure adalah waktu *downtime* akibat pelaksanaan tindakan perawatan korektif. Hasil pembangkitan bilangan acak data *Time to Repair-Failure* (TTR-F) digunakan untuk simulasi perawatan. Pembangkitan bilangan acak data TTR-F komponen kritis dapat dilihat pada Lampiran 13 - Lampiran 15.

4.5.3 Pembangkitan Bilangan Acak Data *Time to Repair - Preventive* (TTR-P) Komponen Kritis Mesin Las MIG

Time to Repair - Preventive adalah waktu *downtime* akibat pelaksanaan tindakan perawatan preventif. Hasil pembangkitan bilangan acak data *Time to Repair-Preventive* (TTR-P) digunakan untuk simulasi perawatan. Pembangkitan bilangan acak data TTR-P komponen kritis dapat dilihat pada Lampiran 16 - Lampiran 18.

4.6 Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis Mesin Las MIG

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 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 dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan rata-rata nilai TTF dan TTR komponen kritis mesin las MIG antara sistem riil dengan pembangkitan bilangan acak. Jika dalam uji tersebut didapat hasil bahwa kedua nilai rata-rata tidak berbeda secara signifikan, maka dapat disimpulkan bahwa data TTF dan TTR hasil pembangkitan bilangan acak tersebut valid.

4.6.1 Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Failure* (TTF) Komponen Kritis Mesin Las MIG

4.6.1.1 Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Failure* (TTF) Komponen Gun Mesin Las MIG

Pengujian validitas data ini menggunakan uji kesamaan dua rata-rata dari dua populasi, yaitu data TTF komponen gun mesin las MIG dari sistem riil dan data TTF komponen gun mesin las MIG hasil dari pembangkitan bilangan acak. Hipotesis dan perhitungannya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.11 Data TTF Gun Awal dan Hasil Pembangkitan Bilangan Acak

No	Data Awal	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3
1	679,583	531,672	324,217	824,497
2	587,917	614,610	420,892	784,331
3	926,000	286,646	415,053	1153,325
4	443,500	258,973	625,439	433,601
5	94,750	582,402	453,013	174,682
6	125,250	164,045	647,350	773,378
7	921,833	170,914	389,840	745,542
8	124,750	141,602	267,896	69,853
9	380,000	384,988	334,399	518,454
10	992,333	554,087	885,047	429,441
11	1113,500	731,079	440,000	727,522
12	67,667	138,870	507,761	273,035
13	986,500	412,752	597,720	749,540
14	206,917	102,312	553,649	546,979
15	237,333	317,173	366,183	408,752
...
70	324,833	435,396	233,784	1052,517
71	267,583	323,915	295,719	516,891
72	315,500	928,464	466,864	1005,818
73	322,750	327,470	628,592	536,301
74	864,000	339,826	216,078	311,681
75	77,500	491,508	381,243	315,874
76	262,250			
77	364,583			
78	551,000			
79	502,167			
80	199,750			
81	1120,000			
82	257,500			

Berikut ini adalah hipotesis dan contoh perhitungan uji kesamaan dua rata-rata antara data TTF gun riil dengan TTF gun hasil pembangkitan bilangan acak replikasi pertama:

1. Formulasi hipotesis

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

: Rata-rata nilai TTF komponen gun sistem riil = rata-rata nilai TTF komponen gun hasil pembangkitan bilangan acak.

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

: 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

	N	Mean	StDev	SE 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.

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi uji kesamaan dua rata-rata antara data TTF gun riil dengan TTF gun hasil pembangkitan bilangan acak:

Tabel 4.12 Rekapitulasi Uji Kesamaan Dua Rata-Rata Data TTF Gun

	df	T _{tabel}	T _{hitung}	Hasil	Keterangan
Replikasi 1	155	1,975	0,80	$-1,975 \leq 0,80 < 1,975$	H ₀ diterima
Replikasi 2	155	1,975	-0,28	$-1,975 \leq -0,28 < 1,975$	H ₀ diterima
Replikasi 3	155	1,975	-0,68	$-1,975 \leq -0,68 < 1,975$	H ₀ diterima

4.6.1.2 Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Failure* (TTF)

Komponen Kabel *Wire Feeder* Mesin Las MIG

Pengujian validitas data ini menggunakan uji kesamaan dua rata-rata dari dua populasi, yaitu data TTF komponen kabel *wire feeder* mesin las MIG dari sistem riil dan data TTF komponen kabel *wire feeder* mesin las MIG hasil dari pembangkitan bilangan acak yang terdapat pada Lampiran 20. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi uji kesamaan dua rata-rata antara data TTF kabel *wire feeder* riil dengan TTF kabel *wire feeder* hasil pembangkitan bilangan acak:

Tabel 4.13 Rekapitulasi Uji Kesamaan Dua Rata-Rata Data TTF Kabel *Wire Feeder*

	df	T _{tabel}	T _{hitung}	Hasil	Keterangan
Replikasi 1	104	1,983	-0,47	$-1,983 \leq -0,47 < 1,983$	H ₀ diterima
Replikasi 2	104	1,983	-0,27	$-1,983 \leq -0,27 < 1,983$	H ₀ diterima
Replikasi 3	104	1,983	-0,31	$-1,983 \leq -0,31 < 1,983$	H ₀ diterima

4.6.1.3 Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Failure* (TTF)

Komponen Kabel Power Mesin Las MIG

Pengujian validitas data ini menggunakan uji kesamaan dua rata-rata dari dua populasi, yaitu data TTF komponen kabel power mesin las MIG dari sistem riil dan data TTF komponen kabel power mesin las MIG hasil dari pembangkitan bilangan acak yang terdapat pada Lampiran 21. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi uji kesamaan dua rata-rata antara data TTF kabel power riil dengan TTF kabel power hasil pembangkitan bilangan acak:

Tabel 4.14 Rekapitulasi Uji Kesamaan Dua Rata-Rata Data TTF Kabel Power

	df	T _{tabel}	T _{hitung}	Hasil	Keterangan
Replikasi 1	105	1,983	0,49	$-1,983 \leq 0,49 < 1,983$	H ₀ diterima
Replikasi 2	105	1,983	-0,57	$-1,983 \leq -0,57 < 1,983$	H ₀ diterima
Replikasi 3	105	1,983	-0,18	$-1,983 \leq -0,18 < 1,983$	H ₀ diterima

4.6.2 Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Repair - Failure* (TTR-F) Komponen Kritis Mesin Las MIG

4.6.2.1 Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Repair - Failure* (TTR-F) Komponen Gun Mesin Las MIG

Pengujian validitas data ini menggunakan uji kesamaan dua rata-rata dari dua populasi, yaitu data TTR - F komponen gun mesin las MIG dari sistem riil dan data TTR - F komponen gun mesin las MIG hasil dari pembangkitan bilangan acak yang terdapat pada Lampiran 22. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi uji kesamaan dua rata-rata antara data TTR-F gun riil dengan TTR-F gun hasil pembangkitan bilangan acak:

Tabel 4.15 Rekapitulasi Uji Kesamaan Dua Rata-Rata Data TTR-F Gun

	df	T _{tabel}	T _{hitung}	Hasil	Keterangan
Replikasi 1	201	1,972	1,32	$-1,972 \leq 1,32 < 1,972$	H ₀ diterima
Replikasi 2	201	1,972	0,01	$-1,972 \leq 0,01 < 1,972$	H ₀ diterima
Replikasi 3	201	1,972	0,00	$-1,972 \leq -0,00 < 1,972$	H ₀ diterima

4.6.2.2 Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Repair - Failure* (TTR-F) Komponen Kabel *Wire Feeder* Mesin Las MIG

Pengujian validitas data ini menggunakan uji kesamaan dua rata-rata dari dua populasi, yaitu data TTR - F komponen kabel *wire feeder* mesin las MIG dari sistem riil dan data TTR - F komponen kabel *wire feeder* mesin las MIG hasil dari pembangkitan bilangan acak yang terdapat pada Lampiran 23. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi uji kesamaan dua rata-rata antara data TTR-F kabel *wire feeder* riil dengan TTR-F kabel *wire feeder* hasil pembangkitan bilangan acak:

Tabel 4.16 Rekapitulasi Uji Kesamaan Dua Rata-Rata Data TTR-F Kabel *Wire Feeder*

	df	T _{tabel}	T _{hitung}	Hasil	Keterangan
Replikasi 1	149	1,976	-0,36	$-1,976 \leq -0,36 < 1,976$	H ₀ diterima
Replikasi 2	149	1,976	0,10	$-1,976 \leq 0,10 < 1,976$	H ₀ diterima
Replikasi 3	149	1,976	-1,23	$-1,976 \leq -1,23 < 1,976$	H ₀ diterima

4.6.2.3 Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Repair - Failure* (TTR-F) Komponen Kabel Power Mesin Las MIG

Pengujian validitas data ini menggunakan uji kesamaan dua rata-rata dari dua populasi, yaitu data TTR - F komponen kabel power mesin las MIG dari sistem riil

dan data TTR - F komponen kabel power mesin las MIG hasil dari pembangkitan bilangan acak yang terdapat pada Lampiran 24. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi uji kesamaan dua rata-rata antara data TTR-F kabel power riil dengan TTR-F kabel power hasil pembangkitan bilangan acak:

Tabel 4.17 Rekapitulasi Uji Kesamaan Dua Rata-Rata Data TTR-F Kabel Power

	df	T _{tabel}	T _{hitung}	Hasil	Keterangan
Replikasi 1	147	1,976	0,76	$-1,976 \leq 0,76 < 1,976$	H ₀ diterima
Replikasi 2	147	1,976	0,14	$-1,976 \leq 0,14 < 1,976$	H ₀ diterima
Replikasi 3	147	1,976	0,15	$-1,976 \leq 0,15 < 1,976$	H ₀ diterima

4.7 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, total *downtime*, proporsi *downtime* per siklus dan *availability* 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.

4.7.1 Simulasi Perawatan Komponen Gun Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario Interval Waktu Penggantian

Simulasi perawatan komponen gun ini menggunakan data-data TTF, TTR-F dan TTR-P yang telah dibangkitkan sebelumnya. Berikut ini adalah simulasi perawatan komponen gun.

4.7.1.1 Simulasi Perawatan Komponen Gun Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario 1

Pada skenario ini komponen gun akan diganti ketika mengalami kerusakan secara tiba-tiba (*breakdown*). Berikut ini adalah simulasi perawatan komponen gun berdasarkan Skenario 1 dengan 3 replikasi.

1. Skenario 1 : Korektif – Replikasi 1

Tabel 4.18 Simulasi Perawatan Komponen Gun Skenario 1 – Replikasi 1

	TTF	WM	WS	CM	PM	DT
1	531,672	531,672	532,986	1		1,314
2	614,610	1147,596	1148,763	1		1,167
3	286,646	1435,409	1436,781	1		1,372
4	258,973	1695,754	1696,175	1		0,421
5	582,402	2278,576	2279,922	1		1,345
6	164,045	2443,967	2445,626	1		1,659
7	170,914	2616,540	2618,274	1		1,734
8	141,602	2759,876	2760,939	1		1,063
9	384,988	3145,927	3147,174	1		1,247
10	554,087	3701,261	3702,553	1		1,292
11	731,079	4433,632	4435,076	1		1,444
12	138,870	4573,946	4574,356	1		0,411
13	412,752	4987,108	4988,240	1		1,132
14	102,312	5090,553	5091,077	1		0,524
15	317,173	5408,250	5409,977	1		1,727
16	773,304	6183,281	6185,559	1		2,278
17	244,072	6429,631	6430,869	1		1,238
18	687,162	7118,031	7119,260	1		1,228
19	589,369	7708,629	7710,573	1		1,945
20	183,561	7894,134	7895,879	1		1,745
21	385,278	8281,157	8282,282	1		1,125
22	469,349	8751,631	8752,815	1		1,183
23	223,729	8976,543	8976,932	1		0,388
24	735,035	9711,967	9712,701	1		0,734
				24 kali		29,718 jam

WM: Waktu Mulai; WS: Waktu Selesai; CM: *Corrective Maintenance*; PM: *Preventive Maintenance*

Contoh perhitungan:

a. Baris 1

Pembangkitan TTF : 531,672

Pembangkitan TTR-K : 1,314

Waktu mulai (WM) : Pembangkitan TTF = 531,672

Waktu selesai (WS) : WM + TTR-K = 531,672 + 1,314 = 532,986

Downtime (DT) : WS – WM = 532,986 – 531,672 = 1,314

b. Baris 2

Pembangkitan TTF : 614,610

Pembangkitan TTR-K : 1,167

Waktu mulai (WM) : WS₁ + Pembangkitan TTF = 1147,596

Waktu selesai (WS) : WM + TTR-K = 1147,596 + 1,167 = 1148,763

$$\text{Downtime (DT)} : \text{WS} - \text{WM} = 1148,763 - 1147,596 = 1,167$$

- c. Total *corrective maintenance* = 24 kali
- d. Total *downtime* dengan *corrective maintenance* = 29,718 jam

Simulasi perawatan komponen gun menggunakan Skenario 1 dapat dilihat pada Lampiran 28. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi simulasi perawatan komponen gun masing-masing replikasi dengan menggunakan skenario 1, yaitu interval penggantian dilakukan saat terjadi kerusakan (*breakdown*).

Tabel 4.19 Rekapitulasi Hasil Simulasi Perawatan Komponen Gun – Skenario 1

	Total Perawatan	Total Downtime
Replikasi 1	24 kali	29,718 jam
Replikasi 2	20 kali	27,776 jam
Replikasi 3	17 kali	22,604 jam
Rata-Rata	20 kali	26,699 jam

4.7.1.2 Simulasi Perawatan Komponen Gun Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario 2

Pada skenario ini komponen gun akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF). Berikut ini adalah simulasi perawatan komponen gun berdasarkan Skenario 2 dengan 3 replikasi.

1. Skenario 2: $tp = \text{MTTF} = 501,929$ – Replikasi 1

Tabel 4.20 Simulasi Perawatan Komponen Gun Skenario 2 – Replikasi 1

	TTF	WM	WS	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
12	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

Lanjutan Tabel 4.20 Simulasi Perawatan Komponen Gun Skenario 2 – Replikasi 1

	TTF	WM	WS	CM	PM	DT
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 kali	10 kali	29,713
				19,095 jam	10,619 jam	

WM: Waktu Mulai; WS: Waktu Selesai; CM: *Corrective Maintenance*; PM: *Preventive Maintenance*

Contoh perhitungan:

a. Baris 1

Pembangkitan TTF : 531,672
 Pembangkitan TTR-P : 1,270
 Waktu mulai (WM) : $tp = 501,929$
 Waktu selesai (WS) : $WM + TTR-P = 501,929 + 1,270 = 503,199$
 Downtime (DT) : $WS - WM = 503,199 - 501,929 = 1,270$

b. Baris 2

Pembangkitan TTF : 614,610
 Pembangkitan TTR-P : 0,855
 Waktu mulai (WM) : $WS_1 + tp = 1005,128$
 Waktu selesai (WS) : $WM + TTR-P = 1005,128 + 0,855 = 1005,983$
 Downtime (DT) : $WS - WM = 1005,983 - 1005,128 = 0,855$

- c. Total *corrective maintenance* = 17 kali
 d. Total *downtime* akibat *corrective maintenance* = 19,095 jam
 e. Total *preventive maintenance* = 10 kali
 f. Total *downtime* akibat *preventive maintenance* = 10,619 jam

Simulasi perawatan komponen gun menggunakan Skenario 2 dapat dilihat pada Lampiran 29. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi simulasi perawatan komponen gun masing-masing replikasi dengan menggunakan skenario 2, yaitu interval

penggantian dilakukan sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF).

Tabel 4.21 Rekapitulasi Hasil Simulasi Perawatan Komponen Gun – Skenario 2

	TP		TD		TP Keseluruhan	TD Keseluruhan
	CM	PM	CM	PM		
Replikasi 1	17	10	19,095	10,619	27	29,713
Replikasi 2	15	9	20,665	8,120	24	28,784
Replikasi 3	12	12	16,912	12,344	24	29,257
Rata-Rata	15 kali	10 kali	18,891 jam	10,361 jam	25 kali	29,251 jam

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

4.7.1.3 Simulasi Perawatan Komponen Gun Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario 3

Pada skenario ini komponen gun akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF). Berikut ini adalah simulasi perawatan komponen gun berdasarkan Skenario 2 dengan 3 replikasi.

1. Skenario 3: R = 90%, tp = 162 – Replikasi 1

Pada skenario ini komponen gun akan diganti ketika nilai keandalannya telah mencapai 90%. Berikut ini adalah simulasi perawatan komponen gun berdasarkan Skenario 3 dengan 3 replikasi.

Tabel 4.22 Simulasi Perawatan Komponen Gun Skenario 3 – Replikasi 1

	TTF	WM	WS	CM	PM	DT
1	531,672	162,000	163,270		1	1,270
2	614,610	325,270	326,125		1	0,855
3	286,646	488,125	488,889		1	0,764
4	258,973	650,889	651,936		1	1,046
5	582,402	813,936	814,906		1	0,970
6	164,045	976,906	977,884		1	0,978
7	170,914	1139,884	1140,613		1	0,729
8	141,602	1282,215	1283,278	1		1,063
9	384,988	1445,278	1446,207		1	0,928
10	554,087	1608,207	1609,116		1	0,910
...
55	536,460	8819,627	8820,899		1	1,272
56	275,384	8982,899	8983,914		1	1,015
57	628,180	9145,914	9146,639		1	0,725
58	835,580	9308,639	9309,935		1	1,296
59	530,385	9471,935	9473,095		1	1,159
60	289,719	9635,095	9636,105		1	1,010
61	932,382	9798,105	9798,863		1	0,758
62	838,517	9960,863	9961,756		1	0,893
				6 kali	56 kali	60,374
				4,917 jam	55,457 jam	

WM: Waktu Mulai; WS: Waktu Selesai; CM: *Corrective Maintenance*; PM: *Preventive Maintenance*

Contoh perhitungan:

a. Baris 1

Pembangkitan TTF	: 531,672
Pembangkitan TTR-P	: 1,270
Waktu mulai (WM)	: $tp = 162$
Waktu selesai (WS)	: $WM + TTR-K = 162,000 + 1,270 = 163,270$
Downtime (DT)	: $WS - WM = 163,270 - 162,000 = 1,270$

b. Baris 2

Pembangkitan TTF	: 614,610
Pembangkitan TTR-P	: 0,855
Waktu mulai (WM)	: $WS_1 + tp = 325,270$
Waktu selesai (WS)	: $WM + TTR-P = 325,270 + 0,855 = 326,125$
Downtime (DT)	: $WS - WM = 326,125 - 325,270 = 0,855$

- c. Total *corrective maintenance* = 6 kali
 d. Total *downtime* akibat *corrective maintenance* = 4,917 jam
 e. Total *preventive maintenance* = 56 kali
 f. Total *downtime* akibat *preventive maintenance* = 55,457 jam

Simulasi perawatan komponen gun menggunakan Skenario 2 dapat dilihat pada Lampiran 30. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi simulasi perawatan komponen gun masing-masing replikasi dengan menggunakan skenario 3, yaitu interval penggantian dilakukan ketika nilai keandalannya telah mencapai 90%

Tabel 4.23 Rekapitulasi Hasil Simulasi Perawatan Komponen Gun – Skenario 3

	TP		TD		TP Keseluruhan	TD Keseluruhan
	CM	PM	CM	PM		
Replikasi 1	6	56	4,917	55,457	62	60,374
Replikasi 2	6	57	9,112	56,042	63	65,154
Replikasi 3	6	58	8,828	55,849	64	64,677
Rata-Rata	6 kali	57 kali	7,619 jam	55,783 jam	63 kali	63,402 jam

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

4.7.2 Simulasi Perawatan Komponen Kabel *Wire Feeder* Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario Interval Waktu Penggantian

Simulasi perawatan komponen kabel *wire feeder* ini menggunakan data-data TTF, TTR-F dan TTR-P yang telah dibangkitkan sebelumnya. Berikut ini adalah simulasi perawatan komponen kabel *wire feeder*.

4.7.2.1 Simulasi Perawatan Komponen Kabel *Wire Feeder* Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario 1

Pada skenario ini komponen kabel *wire feeder* akan diganti ketika mengalami kerusakan secara tiba-tiba (*breakdown*). Simulasi perawatan komponen kabel *wire feeder* berdasarkan Skenario 1 dengan 3 replikasi dapat dilihat pada Lampiran 31.

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi simulasi perawatan komponen kabel *wire feeder* masing-masing replikasi dengan menggunakan skenario 1, yaitu interval penggantian dilakukan saat terjadi kerusakan (*breakdown*).

Tabel 4.24 Rekapitulasi Hasil Simulasi Perawatan Komponen Kabel *Wire Feeder* – Skenario 1

	Total Perawatan	Total Downtime
Replikasi 1	18	24,743
Replikasi 2	18	24,497
Replikasi 3	17	24,774
Rata-Rata	18 kali	24,672 jam

4.7.2.2 Simulasi Perawatan Komponen Kabel *Wire Feeder* Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario 2

Pada skenario ini komponen kabel *wire feeder* akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF). Simulasi perawatan komponen kabel *wire feeder* berdasarkan Skenario 2 dengan 3 replikasi dapat dilihat pada Lampiran 32.

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi simulasi perawatan komponen kabel *wire feeder* masing-masing replikasi dengan menggunakan skenario 2, yaitu interval penggantian dilakukan sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF).

Tabel 4.25 Rekapitulasi Hasil Simulasi Perawatan Komponen Kabel *Wire Feeder* – Skenario 2

	TP		TD		TP Keseluruhan	TD Keseluruhan
	CM	PM	CM	PM		
Replikasi 1	14	9	19,441	5,291	23	24,732
Replikasi 2	11	11	15,742	7,548	22	23,290
Replikasi 3	10	12	14,800	7,693	22	22,493
Rata-Rata	12 kali	11 kali	16,661 jam	6,844 jam	22 kali	23,505 jam

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

4.7.2.3 Simulasi Perawatan Komponen Kabel *Wire Feeder* Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario 3

Pada skenario ini komponen kabel *wire feeder* akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF). simulasi perawatan komponen kabel *wire feeder* berdasarkan Skenario 2 dengan 3 replikasi dapat dilihat pada Lampiran 33.

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi simulasi perawatan komponen kabel *wire feeder* masing-masing replikasi dengan menggunakan skenario 3, yaitu interval penggantian dilakukan ketika nilai keandalannya telah mencapai 90%.

Tabel 4.26 Rekapitulasi Hasil Simulasi Perawatan Komponen Kabel *Wire Feeder* – Skenario 3

	TP		TD		TP Keseluruhan	TD Keseluruhan
	CM	PM	CM	PM		
Replikasi 1	3	49	3,296	28,668	52	31,965
Replikasi 2	2	49	3,098	30,952	51	34,050
Replikasi 3	3	48	4,312	30,950	51	35,262
Rata-Rata	3 kali	49 kali	3,569 jam	30,190 jam	51 kali	33,759 jam

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

4.7.3 Simulasi Perawatan Komponen Kabel Power Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario Interval Waktu Penggantian

Simulasi Perawatan komponen kabel power ini menggunakan data-data TTF, TTR-F dan TTR-P yang telah dibangkitkan sebelumnya. Berikut ini adalah simulasi perawatan komponen kabel power.

4.7.3.1 Simulasi Perawatan Komponen Kabel Power Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario 1

Pada skenario ini komponen kabel power akan diganti ketika mengalami kerusakan secara tiba-tiba (*breakdown*). Simulasi perawatan komponen power berdasarkan Skenario 1 dengan 3 replikasi dapat dilihat pada Lampiran 34.

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi simulasi perawatan komponen kabel power masing-masing replikasi dengan menggunakan skenario 1, yaitu interval penggantian dilakukan saat terjadi kerusakan (*breakdown*).

Tabel 4.27 Rekapitulasi Hasil Simulasi Perawatan Komponen Kabel Power –
Skenario 1

	Total Perawatan	Total Downtime
Replikasi 1	22	31,129
Replikasi 2	20	28,475
Replikasi 3	20	29,054
Rata-Rata	21 kali	29,552 jam

4.7.3.2 Simulasi Perawatan Komponen Kabel Power Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario 2

Pada skenario ini komponen kabel power akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF). Simulasi perawatan komponen kabel power berdasarkan Skenario 2 dengan 3 replikasi dapat dilihat pada Lampiran 35.

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi simulasi perawatan komponen kabel power masing-masing replikasi dengan menggunakan skenario 2, yaitu interval penggantian dilakukan sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF).

Tabel 4.28 Rekapitulasi Hasil Simulasi Perawatan Komponen Kabel Power –
Skenario 2

	TP		TD		TP Keseluruhan	TD Keseluruhan
	CM	PM	CM	PM		
Replikasi 1	17	12	23,956	12,222	29	36,177
Replikasi 2	13	15	17,832	13,650	28	31,482
Replikasi 3	17	11	24,345	16,256	28	40,602
Rata-Rata	16 kali	13 kali	22,044 jam	14,043 jam	28 kali	36,087 jam

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

4.7.3.3 Simulasi Perawatan Komponen Kabel Power Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario 3

Pada skenario ini komponen kabel power akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF). Simulasi perawatan komponen kabel power berdasarkan Skenario 2 dengan 3 replikasi dapat dilihat pada Lampiran 36.

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi simulasi perawatan komponen kabel power masing-masing replikasi dengan menggunakan skenario 3, yaitu interval penggantian dilakukan ketika nilai keandalannya telah mencapai 90%

Tabel 4.29 Rekapitulasi Hasil Simulasi Perawatan Komponen Kabel Power –
Skenario 3

	TP		TD		TP Keseluruhan	TD Keseluruhan
	CM	PM	CM	PM		
Replikasi 1	10	61	14,894	59,247	71	74,140
Replikasi 2	6	64	8,852	59,765	70	68,618
Replikasi 3	10	61	15,324	83,374	71	98,698
Rata-Rata	9 kali	62 kali	13,023 jam	67,462 jam	71 kali	80,485 jam

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

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

Proporsi *downtime* per siklus adalah proporsi waktu dalam satu siklus yang diperlukan suatu komponen ketika mengalami *downtime*. *Availability* adalah salah satu dari konsep perawatan, yang dapat diinterpretasikan sebagai proporsi waktu teoritis yang tersedia untuk komponen dalam sistem dapat beroperasi dengan baik. Sedangkan *reliability* adalah probabilitas dari sebuah unit dapat bekerja secara normal ketika digunakan untuk kondisi tertentu setidaknya bekerja dalam suatu kondisi yang telah ditetapkan.

4.8.1 Penentuan Nilai Proporsi Downtime per Siklus, Availability, dan Reliability Komponen Gun 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 ($P(d(t))$)

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

b. *Availability* ($A(t)$)

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

c. *Reliability* ($R(t)$)

$$R(t) = \frac{(\text{Waktu siklus} - d(p)) - d(c)}{(\text{Waktu siklus} - d(p))}$$

$$= \frac{(10.000-0)-26,699}{(10.000-0)}$$

$$= 0,9973$$

2. Skenario 2

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

$$P(d(t)) = \frac{\text{Total downtime}}{\text{Waktu siklus}}$$

$$= \frac{29,251}{10.000}$$

$$= 0,002925$$

b. *Availability* ($A(t)$)

$$A(t) = 1 - P(d(t))$$

$$= 1 - 0,002925$$

$$= 0,9971$$

c. *Reliability* ($R(t)$)

$$R(t) = \frac{(\text{Waktu siklus}-d(p))-d(c)}{(\text{Waktu siklus}-d(p))}$$

$$= \frac{(10.000-10,361)-18,891}{(10.000-10,361)}$$

$$= 0,9981$$

3. Skenario 3

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

$$P(d(t)) = \frac{\text{Total downtime}}{\text{Waktu siklus}}$$

$$= \frac{63,402}{10.000}$$

$$= 0,00634$$

b. *Availability* ($A(t)$)

$$A(t) = 1 - P(d(t))$$

$$= 1 - 0,00634$$

$$= 0,9937$$

c. *Reliability* ($R(t)$)

$$R(t) = \frac{(\text{Waktu siklus}-d(p))-d(c)}{(\text{Waktu siklus}-d(p))}$$

$$= \frac{(10.000-63,240)-8,870}{(10.000-62,240)}$$

$$= 0,9991$$

4.8.2 Penentuan Nilai Proporsi *Downtime* per Siklus, *Availability*, dan *Reliability* Komponen Kabel *Wire Feeder* Mesin Las MIG

Perhitungan nilai proporsi *downtime* per siklus, *availability*, dan *reliability* komponen kabel *wire feeder* mesin las MIG untuk masing-masing skenario sama dengan perhitungan pada komponen gun. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi perhitungan nilai proporsi *downtime* per siklus, *availability* dan *reliability* untuk masing-masing skenario.

Tabel 4.30 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Proporsi *Downtime*, *Availability*, dan *Reliability* Komponen Kabel *Wire Feeder*

	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Proporsi Downtime (P(d(t)))	0,002467	0,002351	0,003367
Availability A(t)	0,9975	0,9976	0,9966
Reliability R(t)	0,9975	0,9983	0,9996

4.8.3 Penentuan Nilai Proporsi *Downtime* per Siklus, *Availability*, dan *Reliability* Komponen Kabel Power Mesin Las MIG

Perhitungan nilai proporsi *downtime* per siklus, *availability*, dan *reliability* komponen kabel power mesin las MIG untuk masing-masing skenario sama dengan perhitungan pada komponen gun. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi perhitungan nilai proporsi *downtime* per siklus, *availability* dan *reliability* untuk masing-masing skenario.

Tabel 4.31 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Proporsi *Downtime*, *Availability*, dan *Reliability* Komponen Kabel Power

	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Proporsi Downtime (P(d(t)))	0,002955	0,003609	0,008049
Availability A(t)	0,9970	0,9964	0,9920
Reliability R(t)	0,9970	0,9978	0,9987

4.9 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. Perhitungan biaya perawatan ini akan digunakan sebagai dasar pemilihan skenario

perawatan untuk masing-masing komponen kritis yang menghasilkan biaya perawatan yang paling minimal.

Sebelum menghitung biaya perawatan komponen kritis untuk masing-masing skenario, langkah yang dilakukan terlebih dahulu adalah perhitungan biaya kehilangan produksi. Berikut ini adalah rumus dan perhitungannya:

1. Biaya produksi

Kapasitas produksi	= 5 unit/hari
Biaya produksi bus	= Rp 750.000.000,00 per unit
Total biaya produksi	= Rp 3.750.000.000,00 per hari = Rp 416.000.000,00 per jam

2. Pendapatan penjualan bis

Kapasitas produksi	= 5 unit/hari
Harga penjualan	= Rp 1.245.450.000,00 per unit
Total pendapatan	= Rp 6.227.250.000,00 per hari = Rp 691.916.667,00 per jam

3. Biaya *opportunity*

= Pendapatan penjualan – Biaya produksi
= Rp 691.916.667,00 - Rp 416.000.000,00
= Rp 275.250.000,00

4.9.1 Perhitungan Biaya Perawatan Komponen Gun Mesin Las MIG Berdasarkan Masing-Masing Skenario Perawatan

Biaya-biaya yang digunakan untuk menghitung biaya perawatan komponen gun adalah biaya teknisi sebesar Rp 40.000,00 per hari atau Rp 4.444,00 per jam, waktu standar perbaikan *failure* (T_f) sebesar 1,363 jam, waktu standar perbaikan *preventive* (T_p) sebesar 0,974 jam dan harga komponen gun sebesar Rp 380.000,00. Berikut ini adalah perhitungan biaya perawatan komponen gun untuk masing-masing skenario:

1. Skenario 1

Pada skenario 1, penggantian komponen dilakukan ketika komponen gun mengalami kerusakan secara tiba-tiba (*breakdown*), sehingga ketika terjadi *breakdown* maka dilakukan *corrective maintenance*. Jumlah *corrective*

maintenance untuk komponen gun pada skenario 1 adalah 18 kali. Biaya karena terjadinya kerusakan mesin di luar perkiraan yang menyebabkan mesin las terhenti ketika proses produksi berjalan disebut dengan biaya *failure*. Berikut ini adalah rumus dan perhitungan biaya *failure*:

$$\begin{aligned}
 C_f &= \text{Jumlah } \textit{corrective maintenance} \times (((\text{Biaya teknisi/jam} + \text{Biaya opportunity}) \times T_f) + \text{Harga komponen}) \\
 &= 20 \times (((\text{Rp } 4.444,00 + \text{Rp } 275.250.000,00) \times 1,363) + \text{Rp } 380.000,00) \\
 &= 20 \times (\text{Rp } 375.171,807,00 + \text{Rp } 380.000,00) \\
 &= 20 \times \text{Rp } 375.551.807,00 \\
 &= \text{Rp } 7.636.220.091,00
 \end{aligned}$$

2. Skenario 2

Pada skenario ini komponen gun akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF), yaitu 501,929 jam. Berdasarkan hasil simulasi skenario 2, jenis perawatan yang dilakukan ada dua, yaitu *corrective maintenance* sebanyak 15 kali dan *preventive maintenance* sebanyak 10 kali, 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*:

$$\begin{aligned}
 C_f &= \text{Jumlah } \textit{corrective maintenance} \times (((\text{Biaya teknisi/jam} + \text{Biaya opportunity}) \times T_f) + \text{Harga komponen}) \\
 &= 15 \times (((\text{Rp } 4.444,00 + \text{Rp } 275.250.000,00) \times 1,363) + \text{Rp } 380.000,00) \\
 &= 15 \times (\text{Rp } 375.171,807,00 + \text{Rp } 380.000,00) \\
 &= 15 \times \text{Rp } 375.551.807,00 \\
 &= \text{Rp } 5.508.093.181,00
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 &\text{Total biaya perawatan} \\
 &= \text{Biaya } \textit{failure} + \text{Biaya } \textit{preventive}
 \end{aligned}$$

$$= \text{Rp } 5.508.093.181,00 + \text{Rp } 2.773.051.915,00$$

$$= \text{Rp } 8.281.145.095,00$$

3. Skenario 3

Pada skenario ini komponen gun akan diganti ketika keandalannya mencapai 90%, sehingga interval waktu pengantiannya sebesar 162 jam. Berdasarkan hasil simulasi skenario 3, jenis perawatan yang dilakukan ada dua, yaitu *corrective maintenance* sebanyak 6 kali dan *preventive maintenance* sebanyak 57 kali, 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*:

$$C_f = \text{Jumlah } \textit{corrective maintenance} \times (((\text{Biaya teknisi/jam} + \text{Biaya opportunity}) \times T_f) + \text{Harga komponen})$$

$$= 6 \times (((\text{Rp } 4.444,00 + \text{Rp } 275.250.000,00) \times 1,363) + \text{Rp } 380.000,00)$$

$$= 6 \times (\text{Rp } 375.171,807,00 + \text{Rp } 380.000,00)$$

$$= 6 \times \text{Rp } 375.551.807,00$$

$$= \text{Rp } 2.253.310.847,00$$

$$C_p = \text{Jumlah } \textit{preventive maintenance} \times (((\text{Biaya teknisi/jam} + \text{Biaya opportunity}) \times T_p) + \text{Harga komponen})$$

$$= 57 \times ((\text{Rp } 4.444,00 + \text{Rp } 275.250.000,00) \times 0,974) + \text{Rp } 380.000,00))$$

$$= 57 \times (\text{Rp } 268.097.828,00 + \text{Rp } 380.000,00)$$

$$= 57 \times \text{Rp } 268.477.828,00$$

$$= \text{Rp } 15.296.512,174,00$$

Total biaya perawatan

$$= \text{Biaya } \textit{failure} + \text{Biaya } \textit{preventive}$$

$$= \text{Rp } 2.253.310.847,00 + \text{Rp } 15.296.512,174,00$$

$$= \text{Rp } 17.549.823.020,00$$

4.9.2 Perhitungan Biaya Perawatan Komponen Kabel *Wire Feeder* Mesin Las MIG Berdasarkan Masing-Masing Skenario Perawatan

Biaya-biaya yang digunakan untuk menghitung biaya perawatan komponen kabel *wire feeder* adalah biaya teknisi sebesar Rp 40.000,00 per hari atau Rp 4.444,00 per jam, waktu standar perbaikan *failure* (T_f) sebesar 0,915 jam, waktu standar perbaikan *preventive* (T_p) sebesar 0,610 jam dan harga komponen kabel *wire feeder*

sebesar Rp 140.000,00. Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan biaya perawatan komponen kabel *wire feeder* untuk masing-masing skenario:

Tabel 4.32 Rekapitulasi Perhitungan Biaya Perawatan Kabel *Wire Feeder*

	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Biaya <i>Failure</i>	Rp 4.451.961.428,00	Rp 2.939.974.528,00	Rp 671.994.178,00
Biaya <i>Preventive</i>		Rp 1.792.482.252,00	Rp 8.178.200.274,00
Total Biaya Perawatan	Rp 4.451.961.428,00	Rp 4.732.456.780,00	Rp 8.850.194.452,00

4.9.3 Perhitungan Biaya Perawatan Komponen Kabel Power Mesin Las MIG Berdasarkan Masing-Masing Skenario Perawatan

Biaya-biaya yang digunakan untuk menghitung biaya perawatan komponen kabel power adalah biaya teknisi sebesar Rp 40.000,00 per hari atau Rp 4.444,00 per jam, waktu standar perbaikan *failure* (T_f) sebesar 1,41 jam, waktu standar perbaikan *preventive* (T_p) sebesar 0,940 jam dan harga komponen kabel power sebesar Rp 126.000,00. Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan biaya perawatan komponen kabel power untuk masing-masing skenario:

Tabel 4.33 Rekapitulasi Perhitungan Biaya Perawatan Kabel Power

	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Biaya <i>Failure</i>	Rp 8.023.518.511,00	Rp 6.082.344.678,00	Rp 3.364.701.311,00
Biaya <i>Preventive</i>		Rp 3.278.958.919,00	Rp 16.049.641.022,00
Total Biaya Perawatan	Rp 8.023.518.511,00	Rp 9.361.303.596,00	Rp 19.414.342.333,00

4.10 Analisis Data

4.10.1 Analisis Pemilihan Departemen Kritis dan Komponen Kritis

Dalam penelitian ini, hal yang pertama kali dilakukan yaitu memilih departemen kritis dan komponen-komponen mesin las MIG apa saja yang akan diteliti lebih lanjut. Dalam pemilihan departemen kritis dan komponen kritis, proses pemilihan berdasarkan pada diagram pareto. Prinsip Pareto ini sangat penting karena prinsip ini mampu mengidentifikasi penyebab utama dari masalah yang ada, dengan mengurutkan klasifikasi data dari ranking tertinggi hingga terendah. Menurut prinsip Pareto, 80% masalah disebabkan oleh 20% penyebab.

Langkah pertama yang dilakukan dalam menentukan departemen kritis adalah dengan mengurutkan data frekuensi kerusakan tiap departemen dari ranking tertinggi hingga yang terendah dan kemudian menerapkan prinsip Pareto, yaitu prinsip 80-20.

Berdasarkan data jumlah *breakdown* mesin las MIG pada Tabel 4.1 dan diagram Pareto pada Gambar 4.2, menunjukkan bahwa Departemen Rangka dengan jumlah kerusakan sebesar 332 kali dan Departemen Panelling dengan jumlah kerusakan sebesar 241 kali berkontribusi menyebabkan terhambatnya proses produksi bus karena *breakdown* mesin las MIG sebesar 80%. Pada penelitian ini, departemen yang akan dibahas dan diAnalisis lebih lanjut adalah Departemen Rangka Bus.

Setelah menentukan departemen kritis, tahap selanjutnya yang dilakukan yaitu menentukan komponen mesin las MIG. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pemilihan komponen kritis sama dengan proses pemilihan departemen kritis. Berdasarkan jumlah *breakdown* komponen mesin las MIG pada Tabel 4.2 dan diagram Pareto pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa 80% *breakdown* mesin las MIG pada Departemen Rangka disebabkan oleh komponen gun sebesar 128 kali, kabel *wire feeder* sebesar 97 kali, dan kabel gun sebesar 74.

4.10.2 Analisis *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis Mesin Las MIG

Setelah diketahui departemen kritis dan komponen kritis yang akan diteliti, maka tahap selanjutnya yaitu menghitung nilai TTF dan TTR. Dalam melakukan perhitungan TTF dan TTR diperlukan data-data yang berasal dari bagian *maintenance* seperti data tanggal kerusakan, data waktu terjadinya kerusakan, dan data waktu dimana mesin tersebut selesai diperbaiki. Perhitungan TTF dan TTR komponen kritis mesin las MIG pada Departemen Rangka berdasarkan nomor mesin yang sejenis dan dengan menggunakan satuan jam.

Nilai TTF merupakan interval waktu pada saat mesin las MIG yang rusak selesai diperbaiki sampai mesin tersebut mengalami kerusakan kembali. Pada perhitungan nilai TTF hasil yang diperoleh akan berbeda-beda untuk setiap komponen, hal ini disebabkan karena perbedaan kualitas komponen yang digunakan, frekuensi penggunaan, dan cara penggunaan yang berpengaruh pada cepat tidaknya komponen mengalami kerusakan. Rata-rata nilai interval waktu kerusakan untuk komponen gun sebesar 505,047 jam, komponen kabel *wire feeder* sebesar 521,799 jam, dan komponen kabel power sebesar 443,656 jam.

Nilai TTR diperoleh dari lamanya waktu diperlukan untuk memperbaiki mesin las MIG pada saat rusak sampai mesin tersebut dapat beroperasi kembali, yang disebut sebagai *downtime*. Nilai TTR yang diperoleh dari perhitungan tidak selalu sama untuk setiap komponen. Hal ini disebabkan oleh tingkat kerusakan yang terjadi tidak selalu sama dan kemampuan teknisi yang berbeda-beda dalam memperbaiki kerusakan yang ada. Dari perhitungan TTR diperoleh total *downtime* untuk komponen gun sebesar 174,45 jam, komponen kabel *wire feeder* sebesar 127,76 jam, dan komponen kabel power sebesar 104,30 jam dalam kurun waktu 12 bulan.

4.10.3 Analisis Penentuan Distribusi dan Uji *Goodness of Fit* Data TTF dan TTR Komponen Kritis Mesin Las MIG

Setelah menghitung nilai TTF dan TTR masing-masing komponen kritis, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi pola distribusi dari data TTF dan TTR komponen kritis. Tujuan mengidentifikasi pola distribusi data TTF dan TTR terlebih dahulu adalah untuk memudahkan pencarian parameter sesuai dengan distribusi data TTF dan TTR. Langkah awal yang dilakukan dalam menentukan pola distribusi ini adalah dengan menduga pola suatu distribusi data waktu kerusakan berdasarkan karakteristik dari macam-macam jenis distribusi kerusakan yang sesuai dengan penerapannya dalam suatu aplikasi. Setelah menduga jenis distribusi data TTF dan TTR, maka langkah selanjutnya adalah melakukan 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. Rekapitulasi pendugaan distribusi dan hasil uji *goodness of fit* dapat dilihat pada Tabel 4.5 untuk data TTF komponen kritis dan Tabel 4.7 untuk data TTR komponen kritis.

Data TTF dan TTR masing-masing komponen kritis diduga berdistribusi *Weibull*. Pendugaan jenis distribusi data TTF dan TTR 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. Setelah pendugaan jenis distribusi pada data TTF komponen mesin las MIG, maka langkah yang dilakukan adalah pengujian hipotesa lebih lanjut untuk memperkuat distribusi *Weibull* yang diduga adalah benar merupakan distribusi *Weibull*. Pengujian lebih lanjut itu adalah

dengan melakukan uji *goodness of fit* untuk distribusi *Weibull*, yaitu uji *Mann*. Dari hasil perhitungan uji *Mann* dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima, yaitu data TTF dan TTR komponen kritis mesin las MIG, yang terdiri dari gun, kabel *wire feeder*, dan kabel power berdistribusi *Weibull*.

4.10.4 Analisis Parameter *Time to Failure* (TTF) dan *Mean Time to Failure* (MTTF) Komponen Kritis Mesin Las MIG

Setelah ditentukan distribusi yang mewakili masing-masing data TTF komponen kritis, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan parameter berdasarkan distribusi yang terpilih untuk masing-masing komponen. Data TTF komponen gun, kabel *wire feeder*, dan kabel power sama-sama berdistribusi *Weibull*, sehingga parameter untuk data TTF komponen-komponen tersebut adalah α dan β . α yang disebut parameter bentuk/*shape* dan β yang disebut parameter skala/*scale*. Perhitungan parameter data TTF komponen kritis mesin las MIG dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Berdasarkan hasil perhitungan parameter TTF masing-masing komponen kritis, nilai α untuk komponen gun dan kabel power berada pada nilai $1 < \alpha < 2$, sedangkan nilai α untuk komponen kabel *wire feeder* berada pada nilai $\alpha > 2$. Menurut Ebeling (1997:60), apabila nilai α yang dihasilkan berada pada rentang nilai $1 < \alpha < 2$, maka akan terjadi peningkatan laju kerusakan, *konkaf*. Sedangkan bila nilai α yang dihasilkan berada pada rentang nilai $\alpha > 2$, maka akan terjadi peningkatan laju kerusakan, *konveks*. Jadi komponen gun dan kabel power mengalami peningkatan laju kerusakan, *konkaf* dan komponen kabel *wire feeder* mengalami peningkatan laju kerusakan, *konveks*. Apabila nilai parameter *shape* semakin kecil, maka semakin besar laju kerusakan yang dihasilkan sehingga kurva laju kerusakan memiliki bentuk kurva yang semakin memuncak. Hal ini bisa terjadi karena pada awal umur komponen sudah mengalami kerusakan, kemudian laju kerusakan mulai mengalami penurunan dan meningkat kembali seiring bertambahnya umur komponen. Selain itu, laju kerusakan yang besar dapat disebabkan oleh jarangya pemeriksaan yang dilakukan terhadap komponen.

Nilai dari parameter masing-masing komponen digunakan untuk melakukan perhitungan MTTF berdasarkan jenis distribusi yang terpilih. MTTF menunjukkan

rata-rata interval waktu pada saat komponen selesai diperbaiki sampai pada saat komponen tersebut mengalami kerusakan berikutnya. Hasil rekapitulasi perhitungan nilai MTTF dapat dilihat pada Tabel 4.6. Semakin banyak kerusakan yang terjadi pada suatu komponen tidak selalu menghasilkan nilai rentang waktu perbaikan atau penggantian yang cepat pula. Dalam penelitian ini, komponen gun memiliki frekuensi kerusakan sebanyak 128 kali dan nilai MTTF sebesar 501,929 jam, komponen kabel *wire feeder* memiliki frekuensi kerusakan sebanyak 97 kali dan nilai MTTF sebesar 525,669, serta kompoen kabel power memiliki frekuensi kerusakan sebanyak 74 kali dan nilai MTTF sebesar 449,707. Komponen kabel power yang frekuensi kerusakannya lebih sedikit daripada komponen gun, memiliki nilai MTTF atau rentang waktu lebih cepat daripada komponen gun. Hal ini dapat disebabkan oleh, rata-rata rentang waktu kerusakan komponen kabel power setiap mesin las MIG pada Departemen Rangka lebih cepat, tetapi memiliki frekuensi kerusakan yang tidak sering terjadi. Sedangkan pada komponen gun rata-rata rentang waktu kerusakannya lebih lama, tetapi frekuensi kerusakannya sering.

4.10.5 Analisis Parameter *Time to Repair* (TTR) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) Komponen Kritis Mesin Las MIG

Setelah ditentukan distribusi yang mewakili masing-masing data TTR komponen kritis, maka langkah selanjtnya adalah melakukan perhitungan parameter berdasarkan distribusi yang terpilih untuk masing-masing komponen. Data TTR komponen gun, kabel *wire feeder*, dan kabel power sama-sama berdistribusi *Weibull*, sehingga parameter untuk data TTR komponen-komponen tersebut adalah α dan β . α yang disebut parameter bentuk/*shape* dan β yang disebut parameter skala/*scale*. Perhitungan parameter data TTR komponen kritis mesin las MIG dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Berdasarkan hasil perhitungan parameter TTR masing-masing komponen kritis, nilai α untuk komponen gun, kabel *wire feeder* dan kabel power berada pada nilai $3 \leq \alpha \leq 5$. Menurut Ebeling (1997:60), apabila nilai α yang dihasilkan berada pada rentang nilai $3 \leq \alpha \leq 5$, maka akan terjadi peningkatan laju kerusakan, mendekati kurva normal. Jadi komponen gun, kabel *wire feeder* dan kabel power mengalami peningkatan laju kerusakan, mendekati kurva normal.

Nilai dari parameter masing-masing komponen digunakan untuk melakukan perhitungan MTTR berdasarkan jenis distribusi yang terpilih. MTTR menunjukkan rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam melakukan perbaikan terhadap komponen yang rusak. Hasil rekapitulasi perhitungan nilai MTTR dapat dilihat pada Tabel 4.8. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai MTTR tiap komponen berbeda-beda hal ini disebabkan karena perbedaan waktu yang digunakan untuk penggantian komponen. Komponen kabel *wire feeder* memiliki MTTR yang paling kecil karena waktu yang digunakan untuk penggantian kabel *wire feeder* lebih cepat dan memiliki langkah-langkah penggantian yang lebih sedikit daripada penggantian gun dan kabel power.

4.10.6 Analisis Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis Mesin Las MIG

Pembangkitan bilangan acak untuk data TTF dan TTR komponen kritis mesin las MIG merupakan tahap yang dilakukan pada Simulasi *Monte Carlo* setelah melakukan tahap penentuan distribusi dan parameter distribusi. Simulasi *Monte Carlo* merupakan metode analisis numerik yang melibatkan pengambilan sampel eksperimen bilangan acak. Proses acak ini akan melibatkan suatu distribusi probabilitas dari variable-variabel data yang dikumpulkan berdasarkan masa lalu maupun distribusi probabilitas teoritis. Bilangan acak digunakan untuk menjelaskan kejadian acak setiap waktu dari variabel acak secara berurutan mengikuti perubahan-perubahan yang terjadi dalam proses simulasi. Langkah-langkah utama dalam simulasi *Monte Carlo* adalah sebagai berikut:

1. Merancang model data TTF, TTR-F dan TTR-P masing-masing komponen kritis sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya.
2. Mendefinisikan distribusi probabilitas TTF dan TTR yang diketahui dari data yang didapat dengan pengumpulan data. Distribusi probabilitas data TTF dan TTR diketahui dari pendugaan distribusi dan kemudian dilakukan uji kesesuaian distribusi TTF dan TTR.
3. Menjalankan proses simulasi dengan menggunakan bilangan acak. Faktor-faktor yang sifatnya seringkali menggunakan bilangan acak untuk menggambarkan gambaran kondisi dan variasi data TTF, TTR-F, dan TTR-P masing-masing komponen kritis yang sesungguhnya. Pada penelitian ini bilangan acak TTF, TTR-

F dan TTR-P dibangkitkan dengan bantuan *software Minitab* dengan 3 replikasi sesuai dengan parameter distribusi masing-masing komponen. Data TTR-P tidak memiliki data historis yang dapat digunakan sebagai dasar penentuan parameter untuk membangkitkan bilangan acak, sehingga bilangan acak data TTR-P diperoleh dari pembangkitan bilangan acak TTR-F kemudian dilakukan perbandingan antara jumlah tahap-tahap perawatan korektif dan preventif. Hasil pembangkitan bilangan acak TTF, TTR-F dan TTR-P dapat dilihat pada Lampiran 10 – Lampiran 18.

4. Melakukan analisis dari keluaran simulasi TTF, TTR-F, dan TTR-P sebagai masukan bagi alternatif pembangkitan skenario perawatan untuk memecahkan masalah-masalah pada sistem perawatan dan pengambilan kebijakan terkait pemilihan skenario perawatan yang tepat untuk diterapkan pada sistem perawatan PT. Adi Putro Wirasejati. Dengan kata lain, pihak manajemen dapat melakukan evaluasi terhadap kondisi yang sedang terjadi dengan hasil simulasi tersebut.

4.10.7 Analisis Validasi Data Pembangkitan Bilangan Acak *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis Mesin Las MIG

Setelah data TTF dan TTR komponen kritis mesin las MIG hasil dari pembangkitan bilangan acak diperoleh, maka langkah yang dilakukan sebelum menganalisis keluaran hasil simulasi 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 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 dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan rata-rata nilai TTF dan TTR komponen kritis mesin las MIG antara sistem riil dengan pembangkitan bilangan acak. Jika dalam uji tersebut didapat hasil bahwa kedua nilai rata-rata tidak berbeda secara signifikan, maka dapat disimpulkan bahwa data TTF dan TTR hasil pembangkitan bilangan acak tersebut valid. Langkah-langkah yang dilakukan saat uji kesamaan dua rata-rata antara data TTF dan TTR masing-masing komponen data riil dengan hasil simulasi adalah sebagai berikut:

1. Formulasi hipotesis
2. Penentuan nilai α (taraf nyata) dan nilai t_{tabel}
3. Penentuan kriteria pengujian
4. Uji statistik
5. Penarikan kesimpulan

Hasil rekapitulasi uji kesamaan dua rata-rata antara data TTF dan TTR riil dengan hasil pembangkitan bilangan acak untuk masing-masing komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 4.11 sampai Tabel 4.16. Hasil dari pengujian kesamaan dua rata-rata antara data TTF dan TTR riil dengan hasil pembangkitan bilangan acak untuk masing-masing komponen kritis adalah H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa data TTF dan TTR riil tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan hasil pembangkitan bilangan acak untuk masing-masing komponen kritis.

4.10.8 Analisis Pembangkitan Skenario Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG

Setelah membangkitkan bilangan acak untuk data TTF, TTR-F dan TTR-P masing-masing komponen kritis mesin las MIG, maka langkah selanjutnya adalah menentukan skenario interval penggantian untuk masing-masing komponen kritis mesin las MIG. Skenario penggantian ini akan disimulasikan untuk mengetahui jenis perawatan dan interval penggantian yang tepat untuk masing-masing komponen kritis dengan melihat jumlah kerusakan yang terjadi, total *downtime*, nilai *availability*, nilai *reliability*, dan biaya. Proses simulasi perawatan ini dilakukan selama 10.000 jam dengan 3 kali replikasi untuk masing-masing skenario perawatan komponen kritis. Skenario perawatan yang diusulkan untuk komponen kritis ada 3, antara lain:

1. Skenario 1 : Perawatan Korektif

Pada skenario ini komponen gun akan diganti ketika mengalami kerusakan secara tiba-tiba (*breakdown*). Jadi dengan kata lain interval waktu penggantian komponen kritis pada skenario 1 adalah ketika komponen tersebut mengalami *breakdown*. Skenario 1 ini menggambarkan sistem perawatan riil yang terjadi pada PT. Adi Putro Wirasejati.

2. Skenario 2 : Perawatan dengan interval penggantian (t_p) = MTTF

Pada skenario ini komponen kritis akan diganti sesuai dengan waktu rata selang kerusakan atau disebut juga dengan *Mean Time to Failure* (MTTF). Penerapan skenario ini, pihak departemen perawatan akan mengetahui berapa selang waktu kerusakan masing-masing komponen dan melakukan penggantian saat selang waktu kerusakan komponen tersebut.

3. Skenario 3 : Perawatan ketika nilai *reliability* mencapai 90%

Pada skenario ini komponen gun akan diganti ketika nilai keandalannya telah mencapai 90%. Interval waktu penggantian dihitung terlebih dahulu dengan sistem *trial error* yang terdapat pada Lampiran 25 – Lampiran 27. Interval penggantian ketika *reliability* mencapai 90% termasuk dalam perawatan preventif, karena interval waktu pengantiannya lebih kecil daripada nilai selang waktu kerusakannya, sehingga pihak perawatan mampu mengantisipasi kerusakan sebelum terjadi dengan melakukan penggantian komponen.

4.10.9 Analisis Hasil Simulasi Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG

Proses simulasi yang melibatkan bilangan acak TTF, TTR-F dan TTR-P akan memberikan gambaran kondisi dan variasi yang sebenarnya ketika skenario tersebut diterapkan Simulasi Perawatan pada komponen kritis mesin las MIG berdasarkan skenario interval waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya, bertujuan untuk mengetahui jumlah kerusakan, total *downtime* sebagai dasar penentuan proporsi *downtime* per sikus, *availability*, *reliability* dan biaya. Hal ini digunakan sebagai dasar pertimbangan pemilihan jenis perawatan dan interval waktu penggantian yang tepat untuk masing-masing komponen kritis. Simulasi Perawatan komponen kritis masing-masing skenario per replikasi bisa dilihat di Lampiran 28 – Lampiran 36. Berikut ini adalah rekapitulasi rata-rata jumlah perawatan dan total *downtime* masing-masing komponen kritis:

Tabel 4.34 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*

Berdasarkan hasil simulasi di atas skenario 1 pada masing-masing komponen kritis memiliki nilai *downtime* yang paling rendah daripada nilai *downtime* skenario yang lain. Hal ini disebabkan karena jumlah perawatan karena kerusakan maupun tindakan preventif yang lebih sedikit daripada skenario yang lainnya, sehingga mesin lebih jarang berhenti akibat tindakan perawatan. Jumlah perawatan karena kerusakan maupun tindakan preventif dan total *downtime* merupakan aspek-aspek yang ikut dipertimbangkan dalam pemilihan skenario.

4.10.10 Analisis Penentuan Nilai Proporsi *Downtime* per Siklus, *Availability*, dan *Reliability* Komponen Kritis Mesin Las MIG

Proporsi *downtime*, *availability*, dan *reliability* merupakan aspek-aspek yang ikut dipertimbangkan dalam pemilihan skenario perawatan yang tepat untuk diterapkan pada sistem perawatan mesin las PT. Adi Putro Wirasejati. Berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan proporsi *downtime*, *availability*, dan *reliability* dari skenario yang telah diusulkan pada masing-masing komponen kritis.

Tabel 3.35 Rekapitulasi Perhitungan Proporsi *Downtime*, *Availability*, dan *Reliability* Komponen Kritis Berdasarkan Skenario Perawatan

		Proporsi <i>Downtime</i>	<i>Availability</i>	<i>Reliability</i>
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

Proporsi *downtime* per siklus adalah proporsi waktu dalam satu siklus yang diperlukan suatu komponen ketika mengalami *downtime*. Proporsi *downtime* seharusnya lebih sedikit daripada proporsi *uptime*. Proporsi *downtime* yang besar akan menyebabkan proses produksi terhambat dan target produksi tidak dapat terpenuhi. Berdasarkan perhitungan di atas, skenario 1 untuk ketiga komponen kritis tersebut memiliki nilai proporsi *downtime* terendah daripada skenario lain, yaitu 0,002670 untuk komponen gun, 0,002467 untuk komponen kabel *wire feeder*, dan 0,002955 untuk komponen kabel power. Dari hasil perbandingan proporsi per siklus, dapat disimpulkan bahwa dengan menerapkan skenario 1, yaitu perawatan korektif, maka proporsi waktu terjadinya *downtime* akan lebih sedikit dibandingkan dengan penerapan skenario lainnya.

Availability adalah salah satu dari konsep perawatan, yang dapat diinterpretasikan sebagai suatu nilai yang menunjukkan besarnya probabilitas suatu komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsinya pada kondisi normal apabila tindakan pemeliharaan dilakukan. Dari hasil rekapitulasi perhitungan nilai *availability* di atas, dapat dilihat bahwa nilai *availability* setiap komponen kritis pada masing-masing skenario memiliki nilai di atas 0,9. Nilai *availability* semakin baik bila mendekati 1, dan untuk komponen kabel *wire feeder* skenario yang memiliki nilai *availability* tertinggi terdapat pada skenario 2, yaitu sebesar 0,9976. Sedangkan untuk komponen gun dan kabel power, skenario yang menghasilkan nilai *availability* tertinggi terdapat pada skenario 1, yaitu sebesar 0,9973 dan 0,9970. Skenario yang memiliki nilai *availability* tertinggi menunjukkan bahwa tingkat ketersediaan komponen bisa dikatakan cukup baik, yang berarti jika terjadi kerusakan pada komponen dan segera dilakukan perbaikan, maka mesin yang bersangkutan masih dapat beroperasi dengan baik dalam tingkat ketersediaan yang cukup baik.

Reliability menunjukkan kemampuan suatu mesin atau komponen untuk diandalkan dapat bekerja sesuai dengan fungsinya sampai dengan periode waktu tertentu yang ditargetkan. Jika nilai *reliability* semakin mendekati 1, berarti menandakan tingkat keandalan suatu komponen atau mesin semakin bagus dan kerusakan yang terjadi pada komponen semakin kecil. Adanya peningkatan terhadap *reliability* diharapkan dapat memperpanjang umur suatu komponen. Berdasarkan hasil perhitungan *reliability* di atas, skenario yang menghasilkan nilai *reliability* tertinggi

dibandingkan dengan skenario lain atau menghasilkan nilai mendekati 1 untuk komponen kritis adalah skenario 3. Nilai *reliability* pada skenario untuk komponen gun sebesar 0,9991, komponen kabel *wire feeder* sebesar 0,9996, dan komponen kabel power sebesar 0,9988\7. Dari hal tersebut dapat disimpulkan ketika penggantian dilakukan ketika *reliability*nya mencapai 90% akan menghasilkan keandalan yang lebih besar. Hal ini dapat terjadi karena setiap komponen kritis dilakukan penggantian lebih sering dibandingkan dengan skenario lainnya meskipun komponen-komponen tersebut belum mengalami kerusakan dan masih mampu beroperasi sesuai dengan fungsinya, sehingga resiko kerusakan terhadap komponen dapat lebih diminimalisasi. Meskipun mengalami peningkatan *reliability* yang cukup baik dibandingkan dengan skenario lainnya, skenario ini memiliki kelemahan karena penggantian komponen yang terlalu sering berdampak pada pemborosan dalam penggunaan komponen.

4.10.11 Analisis Biaya Perawatan Komponen Kritis Mesin Las MIG Berdasarkan Skenario Perawatan

Setelah melakukan perhitungan biaya-biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk pemeliharaan terhadap komponen kritis untuk masing-masing skenario, maka dapat dilihat perbedaan biaya yang signifikan antara ketiga skenario perawatan yang diusulkan. Berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan biaya perawatan komponen kritis masing-masing skenario:

Tabel 4.36 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Perawatan 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

Dari data di atas dapat dilihat bahwa skenario perawatan yang menghasilkan biaya perawatan paling rendah untuk ketiga komponen kritis adalah skenario 1 (perawatan korektif), yaitu Rp 7.636.220.091,00 untuk komponen gun, Rp Rp 4.451.961.428,00 untuk komponen kabel *wire feeder*, dan Rp 8.023.518.511,00 untuk komponen kabel power. Biaya perawatan pada skenario 1 untuk masing-masing

komponen kritis lebih rendah daripada biaya perawatan pada skenario yang lain disebabkan oleh frekuensi perawatan yang lebih sedikit dibandingkan dengan frekuensi perawatan yang dilakukan pada skenario lain. Sedangkan pada skenario 3, yaitu perawatan yang dilakukan ketika nilai keandalan masing-masing komponen kritis mencapai 90%, menghasilkan biaya yang paling tinggi daripada skenario yang lain. Hal ini disebabkan karena selang waktu penggantian komponen kritis relatif cukup cepat, sehingga ketika dilakukan perawatan ketika keandalan komponen kritis mencapai 90% frekuensi penggantian masing-masing komponen kritis menjadi lebih sering. Seiring dengan seringnya frekuensi penggantian komponen kritis, maka proses produksi akan terganggu, sehingga target produksi tidak dapat terpenuhi dan biaya yang ditanggung perusahaan akibat tidak tercapainya target produksi semakin meningkat. Selain itu, ketika frekuensi penggantian komponen kritis semakin sering, maka biaya komponen yang dikeluarkan perusahaan akan semakin besar. Selain biaya komponen, dalam biaya perawatan juga memperhitungkan biaya kerugian akibat tidak tercapainya target produksi, sehingga dapat disimpulkan ketika biaya komponen dan biaya kerugian akibat tidak tercapainya target produksi meningkat, maka biaya perawatan, khususnya pada skenario 3, meningkat pula.

4.10.12 Analisis 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 masing-masing komponen dengan mempertimbangkan aspek-aspek diatas. Berikut ini adalah perbandingan jumlah perawatan, total *downtime*, proporsi *downtime*, *availability*, *reliability*, dan biaya perawatan untuk masing-masing komponen kritis:

Tabel 4.37 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. Kelebihan dari skenario ini adalah frekuensi *breakdown* lebih jarang terjadi daripada skenario lainnya. Frekuensi *breakdown* lebih jarang terjadi karena seringnya dilakukan penggantian komponen sebelum terjadi kerusakan, sehingga nilai *reliability* komponen kritis lebih tinggi daripada skenario yang lain. Kelemahan apabila menerapkan skenario ini adalah biaya perawatan yang dikeluarkan perusahaan lebih besar dibandingkan dengan skenario lainnya. Hal ini disebabkan oleh seringnya kegiatan perawatan berupa penggantian komponen, sehingga biaya komponen menjadi lebih besar. Selain itu, kegiatan perawatan ini menyebabkan proses produksi terhenti, sehingga dapat menyebabkan biaya kerugian akibat tidak tercapainya target produksi semakin besar pula. Biaya kerugian akibat tidak tercapainya target produksi juga ikut diperhitungkan dalam menghitung biaya perawatan.

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. Kelebihan dari skenario ini adalah tingkat ketersediaan mesin las MIG cukup baik. Kelemahan penerapan skenario ini adalah kemungkinan terjadinya *breakdown* lebih tinggi daripada skenario lainnya, karena kegiatan perawatan mesin hanya dilakukan ketika

mesin mengalami kerusakan secara tiba-tiba saja. Apabila mesin jarang dilakukan perawatan maka nilai keandalan komponen pada mesin las semakin rendah.

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. Frekuensi perawatan jarang menyebabkan kegiatan produksi jarang terganggu, sehingga biaya kerugian akibat tidak tercapainya target produksi semakin rendah. Selain itu biaya komponen yang dihabiskan akibat kegiatan perawatan semakin rendah karena jarang terjadi kegiatan penggantian komponen. Akan tetapi jarang terjadi kegiatan perawatan dapat menyebabkan kemungkinan terjadinya *breakdown* semakin sering dan tingkat keandalan komponen menurun.

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.

4.11 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* di luar hari aktif kerja 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. Selain itu, tujuan kegiatan ini melibatkan beberapa operator mesin las tersebut adalah untuk meningkatkan kesadaran operator untuk lebih memperhatikan, menjaga, dan merawat mesin las masing-masing. Kegiatan *preventive maintenance* mingguan ini meliputi kegiatan pembersihan bagian dalam mesin dari debu, pengecekan kabel-kabel, apakah ada yang terkelupas atau tidak, pengecekan kondisi komponen lainnya, serta pembersihan terak yang masih menempel pada

nozzle, tang massa, dan lain sebagainya. Kegiatan *preventive maintenance* ini hanya dilaksanakan pada mesin las MIG Departemen Rangka yang dalam waktu seminggu belum mengalami kerusakan.

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*. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk meningkatkan kesadaran operator untuk lebih memperhatikan, menjaga, dan merawat mesin las masing-masing, sehingga apabila ada kerusakan yang membutuhkan penanganan dari teknisi Departemen *Maintenance*, proses perbaikannya akan memakan waktu lebih cepat karena operator mesin mengetahui keadaan dari mesin tersebut dan jenis kerusakan akan lebih cepat teridentifikasi. Kegiatan *autonomous maintenance* ini sebaiknya dilaksanakan sebelum proses produksi dimulai, dengan meluangkan waktu kurang lebih 15 menit untuk operator melakukan pengecekan harian, pembersihan, dan reparasi sederhana. Pengecekan harian meliputi kegiatan pengecekan arus yang dipakai untuk mengelas, apakah sudah sesuai standar yang ditentukan atau belum. Selain itu kegiatan yang dilakukan adalah pengecekan kondisi alat, biasanya berupa kabel-kabel dan regulator gas pelindung, apakah sudah tertata rapi, tidak tertindih suatu barang serta terpasang dengan baik. Kegiatan pembersihan meliputi pembersihan terak yang menempel pada *nozzle*, dan pembersihan debu pada bagian dalam mesin serta kipas jika diperlukan.