

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bagian ini berisikan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian serta proses pengolahan data penelitian.

#### 4.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan didapatkan dari hasil wawancara dengan Kepala Bagian Instalasi Pemeliharaan Sarana RS X dan karyawan Instalasi A RS X. Berikut adalah data yang dikumpulkan untuk keperluan penelitian di RS X.

1. *Downtime* mesin

Data *downtime* mesin merupakan data histori kerusakan mesin sehingga mesin berhenti beroperasi. Data ini berisikan waktu kerusakan, durasi kerusakan, jenis mesin yang mengalami kerusakan, penanganan kerusakan, dan status mesin setelah dilakukan pemeliharaan. Data yang digunakan adalah data periode Januari 2024 hingga Mei 2025.

2. Komponen mesin

Data komponen mesin ini berisikan jenis-jenis komponen pada mesin *teletherapy cobalt-60*. Data ini juga berisikan kegunaan komponen terhadap proses kerja mesin. Data komponen mesin juga berisikan rincian jenis komponen yang mengalami kerusakan ketika *downtime* mesin.

3. Dampak dan penyebab kerusakan

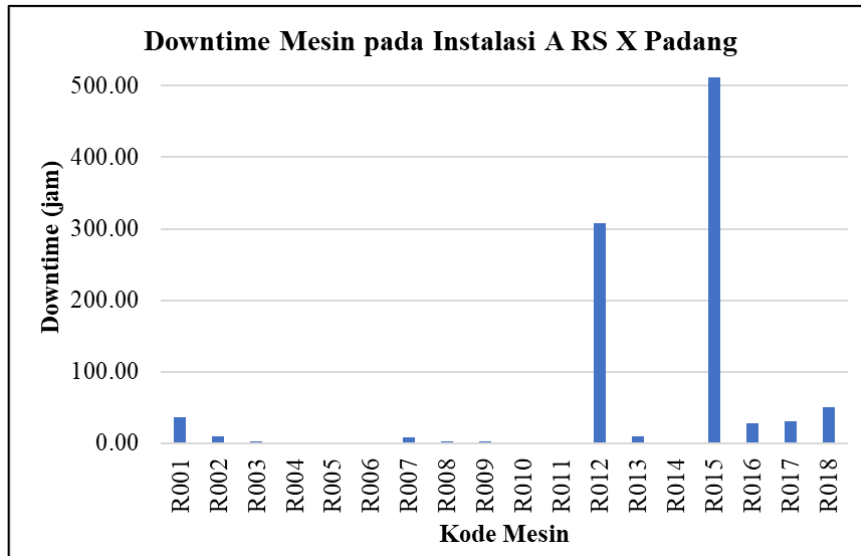
Data penyebab kerusakan digunakan untuk melihat akar permasalahan kerusakan pada komponen mesin *teletherapy cobalt-60*. Data dampak kerusakan digunakan untuk menentukan *Risk Priority Number* (RPN) komponen dan menentukan strategi pemeliharaan yang tepat. Kedua data ini didapatkan dari hasil wawancara dengan Kepala Bagian Instalasi Pemeliharaan Sarana RS X.

#### 4.2 Penentuan Mesin Kritis

Mesin kritis ditentukan melalui durasi *downtime* terbesar selama periode Januari 2024 hingga Mei 2025. Terdapat 14 mesin yang digunakan di Instalasi A. Berikut adalah hasil perhitungan *downtime* seluruh mesin di Instalasi A RS X Padang.

**Tabel 4.1** *Downtime* Mesin

No	Mesin	Kode Mesin	<i>Downtime</i> (jam)
1	<i>Automatic Cutting Device</i>	R001	36.77
2	Bondensitometri	R002	9.00
3	<i>Brachytherapy</i>	R003	2.25
4	<i>Digital Radiografi</i>	R004	0.33
5	Laminar Air Flow	R005	8.00
6	Lampu Sorot	R006	1.83
7	<i>Mobile X-Ray</i>	R007	3.00
8	MRI	R008	0.33
9	<i>Printer CR</i>	R009	0.17
10	<i>Simulator</i>	R010	307.68
11	Spec CT	R011	9.33
12	<i>Teletherapy Cobalt-60</i>	R012	511.18
13	USG	R013	30.30
14	<i>X-Ray Ceiling</i>	R014	49.75
15	<i>Gamma Chamber</i>	R015	0.17
16	Komputer ISP Stenlond	R016	0.50
17	<i>Suction Pump</i>	R017	0.38
18	<i>Trolley Tensimeter Digital</i>	R018	27.17



**Gambar 4.1** Downtime Mesin

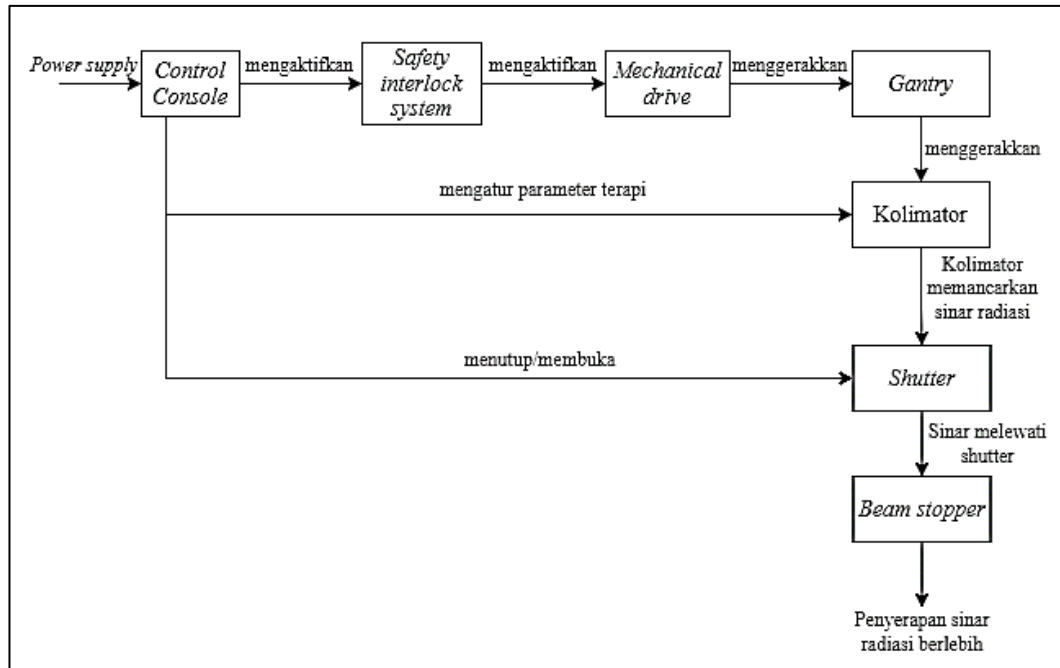
Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa mesin dengan *downtime* terbesar adalah mesin *teletherapy cobalt-60* (R012) dengan durasi *downtime* 256.48 jam. *Downtime* tersebut disebabkan oleh kerusakan mesin sehingga berhentinya proses operasi mesin. Sehingga mesin *teletherapy cobalt-60* sebagai mesin kritis yang akan dilakukan perencanaan penjadwalan pemeliharaan.

#### 4.3 Reliability Centered Maintenance (RCM)

Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) memiliki beberapa tahapan. Berikut adalah tahapan RCM dengan fokus pada mesin *teletherapy cobalt-60*.

##### 4.3.1 Deskripsi Sistem

Deskripsi sistem memberikan informasi mengenai gambaran proses kerja mesin *teltherapy cobalt-60* di RS X Padang. Gambaran ini meliputi komponen yang terlibat, input yang dibutuhkan sehingga mesin berhasil melakukan operasinya. Deskripsi sistem digambarkan dengan *functional block diagram* (FBD). Berikut adalah deskripsi sistem mesin *teletherapy cobalt-60*.



**Gambar 4.2** Deskripsi Sistem Mesin *Teletherapy Cobalt-60*

Mesin *teletherapy cobalt-60* membutuhkan *power supply* untuk memulai proses. Jika *power supply* aktif, secara otomatis *control console* akan menyala. *Control console* dapat mengaktifkan *safety interlock system*, yang meliputi *door interlock* dan *source interlock*. *Mechanical drive* dapat aktif jika *door interlock* telah aktif, atau ketika pintu ruangan terapi terkunci. *Mechanical drive* ini dapat menggerakkan *gantry* yang berfungsi untuk mengatur perputaran kepala mesin yang berisi sumber radiasi. Jika *gantry* bergerak, maka kolimator yang tertanam di *gantry* akan bergerak. Kolimator ini berfungsi sebagai pengatur sudut dan dosis radiasi yang dapat diatur oleh operator melalui *control console*. Sinar radiasi bisa lewat jika operator membuka *shutter* melalui *control console*. Ketika sinar melewati *shutter*, maka sinar radiasi akan terpancar ke pasien. Sisa radiasi yang berlebih atau melewati pasien akan dihentikan oleh *beam stopper*, sehingga radiasi berlebih tersebut tidak terpancar ke seisi ruangan terapi.

### 4.3.2 Penentuan Jenis dan Penyebab Kegagalan

Penentuan jenis dan penyebab kegagalan pada mesin *teletherapy cobalt-60* dapat dilakukan dengan pembuatan *Root Cause Failure Analysis* (RCFA). Hasil RCFA didapatkan berdasarkan wawancara dengan Kepala Bagian Instalasi Pemeliharaan Sarana Rumah Sakit X. Teknik yang digunakan pada RCFA adalah *five-why tools*. Berikut adalah hasil RCFA komponen mesin *teletherapy cobalt-60*.

**Tabel 4.2** RCFA Komponen Kolimator

Komponen: Kolimator				
Fungsi: membentuk dan mengatasi dosis sinar radiasi yang diterima tubuh.				
Mode Kegagalan: Kolimator tidak aktif.				
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Lampu kolimator tidak menyala.	Arus listrik dari <i>power supply</i> terputus.	Kabel <i>grounding</i> putus.	-	-

**Tabel 4.3** RCFA Komponen *Gantry*

Komponen: <i>Gantry</i>				
Fungsi: Mengatur sudut penyinaran dan perputaran.				
Mode Kegagalan: <i>Gantry</i> tidak berputar sesuai prosedur.				
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Gangguan perputaran gantry.	Terjadi aus pada <i>bearing</i> .	-	-	-

**Tabel 4.4** RCFA Komponen *Beam Stopper*

Komponen: <i>Beam stopper</i>				
Fungsi: Menahan sisa radiasi yang telah melewati pasien.				
Mode Kegagalan: Kebocoran radiasi.				
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Penurunan kemampuan penyerapan radiasi.	Retak pada material shielding.	-	-	-

**Tabel 4.5** RCFA Komponen *Control Console*

Komponen: <i>Control console</i>				
Fungsi: Mengendalikan proses penyinaran terapi.				
Mode Kegagalan: Mesin gagal beroperasi.				
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Alarm <i>source</i> menyala.	<i>Source</i> tidak pas mengenai sensor.	<i>Source</i> tertahan.	Aus pada kapsul sumber radiasi.	-

**Tabel 4.6** RCFA Komponen *Shutter*

Komponen: <i>Shutter</i>				
Fungsi: Mengontrol keluarnya sinar radiasi.				
Mode Kegagalan: Mesin tidak dapat beroperasi.				
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Shutter tidak bisa membuka.	Motor penggerak gagal.	Terjadi aus pada <i>gear shutter</i> .	-	-

**Tabel 4.7** RCFA Komponen *Motorized Driver*

Komponen: <i>Motorized driver</i>				
Fungsi: Penggerak bagian mekanis mesin.				
Mode Kegagalan: Mesin tidak dapat beroperasi.				
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Gantry tidak dapat bergerak.	Motor penggerak mati.	-	-	-

**Tabel 4.8** RCFA Komponen *Counterweight*

Komponen: <i>Counterweight</i>				
Fungsi: Penyeimbang distribusi massa pada <i>gantry</i> .				
Mode Kegagalan: Gantry tidak presisi.				
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Terjadinya korosi pada blok logam	Kerusakan pelapisan pelindung.	-	-	-

**Tabel 4.9** RCFA Komponen *Source Interlock*

Komponen: <i>Source interlock</i>				
Fungsi: Pengaman otomatis memastikan radiasi hanya aktif jika semua parameter aman.				
Mode Kegagalan: Mesin gagal beroperasi.				
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Sensor posisi sumber tidak mendeteksi.	Kerusakan pada limit switch dan relay.			

**Tabel 4.10** RCFA Komponen *Door Interlock*

Komponen: <i>Door interlock</i>				
Fungsi: Mengunci dan memantau kondisi pintu ruang terapi.				
Mode Kegagalan: Meisn gagal beroperasi.				
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Alarm pintu hidup walaupun pintu sudah ditutup.	Kabel grounding putus.			

Berdasarkan Tabel 4.2, kegagalan pada komponen kolimator dapat menyebabkan mesin gagal beroperasi. Penggunaan *five why tools* membantu mengidentifikasi penyebab kegagalan hingga ke akar permasalahannya. Sebagai contoh mesin tidak dapat beroperasi disebabkan oleh lampu kolimator yang tidak menyala. Lampu kolimator yang tidak menyala disebabkan oleh arus listrik dari *power supply* yang terputus. Terputusnya arus listrik disebabkan oleh kabel *grounding* pada *power supply* yang putus.

#### 4.3.3 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

*Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* bertujuan untuk mendapatkan nilai *Risk Priority Number (RPN)* yang nantinya dapat digunakan untuk menentukan komponen kritis. Terdapat tiga parameter dalam perhitungan RPN, yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Pemberian nilai pada setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 2.1, Tabel 2.2, dan Tabel 2.3. Nilai parameter didapatkan dari hasil diskusi dengan karyawan Instalasi Pemeliharaan RS X.

Salah satu komponen adalah kolimator. Komponen kolimator merupakan komponen yang berfungsi untuk mengatur dosis dan sudut penyinaran radiasi, sehingga efek kerusakan akan berakibat fatal pada proses operasi mesin dan kegagalan komponen akan diberikan peringatan oleh sistem. Oleh karena itu diberikan nilai *severity* (efek kerusakan) sebesar 9. Berdasarkan data yang dapat dilihat pada Lampiran A, kolimator mengalami kerusakan sebanyak 21 kali dalam

periode Januari 2022 hingga April 2025 (40 bulan), sehingga laju kegagalan komponen kolimator adalah sebagai berikut.

$$\text{Kegagalan per periode} = \frac{21}{40} = 0.525 \text{ kegagalan per bulan}$$

$$\text{Lama periode per kegagalan} = \frac{1}{0.525}$$

$$\text{Lama periode per kegagalan} = 1.9048 \text{ bulan per kegagalan}$$

$$\text{Lama periode per kegagalan} = 57.143 \text{ hari per kegagalan}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan bahwa 1 kegagalan terjadi dalam 57.1429 hari. Sehingga nilai *occurrence* (tingkat kejadian kerusakan) sebesar 6 poin. Sistem akan mendeteksi setelah kolimator mengalami kegagalan, sehingga diberikan nilai *detection* (deteksi) sebesar 4 poin. Berdasarkan nilai ketiga parameter tersebut, akan dihitung nilai RPN.

$$\text{RPN} = 9 \times 6 \times 4 = 216$$

Didapatkan nilai RPN kolimator sebesar 216. Perhitungan RPN akan dilakukan pada seluruh komponen. Berikut adalah hasil perhitungan RPN komponen mesin *teletherapy cobalt-60*.

**Tabel 4.11** Perhitungan RPN Komponen Mesin *Teletherapy Cobalt-60*

No	Komponen	Downtime (jam)	Penyebab Kegagalan	Dampak Kegagalan	S	O	D	RPN
1	Kolimator	76.20	Kabel <i>grounding</i> putus.	Dosis tidak akurat.	9	6	4	216
2	<i>Gantry</i>	44.50	Terjadi aus pada <i>bearing</i> .	Kesalahan arah dan sudut penyinaran.	7	6	7	294
3	<i>Beam stopper</i>	13.78	Keretakan pada <i>material shielding</i> .	Sisa radiasi menyebar ke area sekitar.	9	4	3	108
4	<i>Control Console</i>	55.30	Terjadi aus pada sumber radiasi.	Mesin tidak berfungsi.	8	6	7	336
5	<i>Shutter</i>	0.92	Terjadi aus pada <i>gear shutter</i> .	Fungsi utama hilang.	9	6	7	378
6	<i>Motorized Drive</i>	3.83	Kerusakan pada driver.	Mesin tidak berfungsi.	7	5	3	105
7	<i>Counterweight</i>	4.08	Lapisan pelindung rusak.	Fungsi utama berkurang.	7	5	4	140
8	<i>Source Interlock</i>	8.37	<i>Limit switch</i> rusak.	Mesin tidak berfungsi.	5	5	2	50
9	<i>Door interlock</i>	9.83	Kabel <i>grounding</i> putus.	Mesin tidak berfungsi.	5	5	2	50

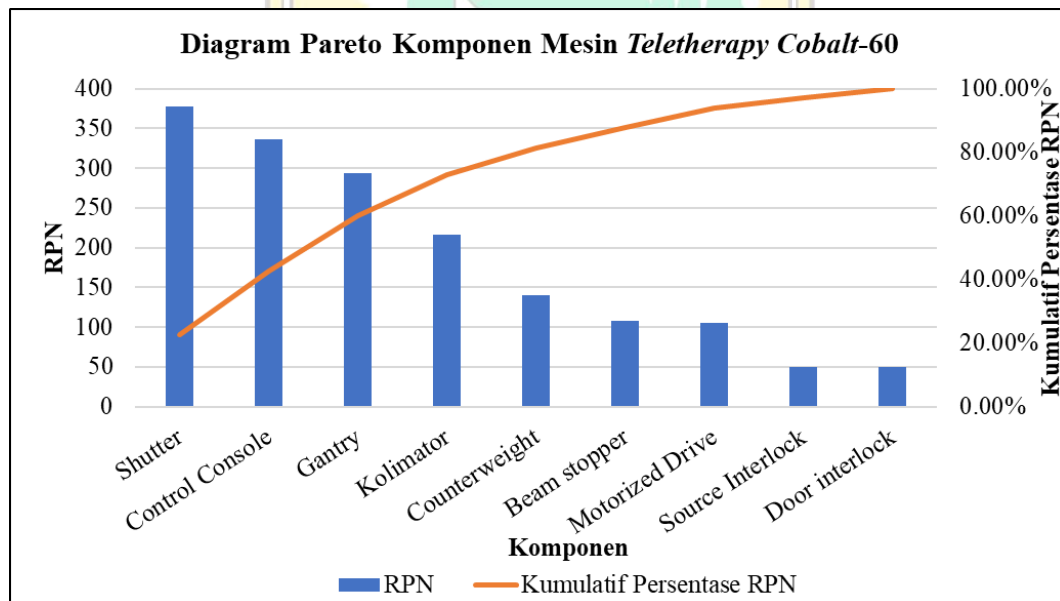
#### 4.3.4 Penentuan Komponen Kritis

Komponen kritis dapat ditentukan dengan menggunakan analisis pareto berdasarkan nilai RPN. Terdapat tiga kelompok dalam analisis pareto, yaitu kelompok A, B, dan C. Penggolompokan ini didasarkan pada nilai kumulatif RPN komponen yang sudah diurutkan dari komponen dengan nilai RPN terbesar. Kelompok A terdiri dari komponen dengan rentang kumulatif persentase RPN 0%-

80%, kelompok B terhitung dari komponen dengan rentang kumulatif persentase RPN 81%-95% dan kelompok C rentang 96%-100%. Berikut adalah hasil pengelompokan komponen mesin *teletherapy cobalt-60*.

**Tabel 4.12** Analisis Pareto Komponen Mesin *Teletherapy Cobalt-60*

No	Komponen	RPN	Persentase RPN	Kumulatif Persentase RPN	Kelompok
1	<i>Shutter</i>	378	22.54%	22.54%	A
2	<i>Control Console</i>	336	20.04%	42.58%	A
3	<i>Gantry</i>	294	17.53%	60.11%	A
4	Kolimator	216	12.88%	72.99%	A
5	<i>Counterweight</i>	140	8.35%	81.34%	B
6	<i>Beam stopper</i>	108	6.44%	87.78%	B
7	<i>Motorized Drive</i>	105	6.26%	94.04%	B
8	<i>Source Interlock</i>	50	2.98%	97.02%	C
9	<i>Door interlock</i>	50	2.98%	100.00%	C



**Gambar 4.3** Diagram Pareto Komponen Mesin *Teletherapy Cobalt-60*

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan analisis pareto, didapatkan bahwa terdapat empat komponen yang termasuk pada kelompok A. Komponen tersebut meliputi *control concole*, *gantry*, *shutter*, dan kolimator. Komponen-komponen tersebut memiliki dampak kerusakan 80% terhadap mesin *teletherapy*

*cobalt-60*. Oleh karena itu keempat mesin tersebut dapat digolongkan kepada komponen kritis mesin *teletherapy cobalt-60*.

#### 4.3.5 Logic Tree Analysis (LTA)

*Logic Tree Analysis* (LTA) merupakan analisis logika untuk menentukan strategi pemeliharaan berdasarkan 6 pertanyaan mode kegagalan. Penentuan strategi pemeliharaan dilakukan berdasarkan urutan logika pertanyaan pada Gambar 2.3. Berikut adalah rekapan pertanyaan pada LTA berdasarkan Gambar 2.3.

**Tabel 4.13** Pertanyaan *Logic Tree Analysis* (LTA)

No	Pertanyaan
1	Dibawah kondisi normal, apakah operator mengetahui bahwa kerusakan terjadi?
2	Apakah kegagalan memiliki efek yang langsung dan merugikan dalam aspek keamanan, kesehatan, dan lingkungan?
3	Apakah kegagalan memiliki efek langsung dan merugikan terhadap tujuan?
4	Apakah tindakan berbasis kondisi lebih efektif?
5	Apakah tindakan berbasis waktu lebih efektif?
6	Apakah tindakan secara proaktif lebih efektif?

Contohnya komponen *control console*, yang memiliki mode kegagalan *alarm source* yang tidak aktif. Berdasarkan pertanyaan 1 (P1) pada Tabel 4.14, jika *control console* mengalami kegagalan, maka operator dapat mengetahuinya. Maka jawaban pada P1 adalah ya. Jika jawaban P1 ya, maka akan berlanjut ke P2. *Control console* memiliki dampak langsung dan memberikan efek keselamatan yang berbahaya jika terjadi kegagalan, sehingga jawaban dari P2 adalah ya. Jika jawaban P2 adalah ya, maka akan berlanjut ke P4. *Control console* tidak cocok jika dilakukan pemeliharaan berbasis kondisi, dikarenakan tidak memungkinkannya dilakukan *monitoring* terhadap kondisi komponen secara langsung. Sehingga jawaban dari P4 adalah tidak. Jika jawaban P4 adalah tidak, maka akan berlanjut ke P5. Komponen *control console* lebih efektif jika dilakukan pemeliharaan berbasis

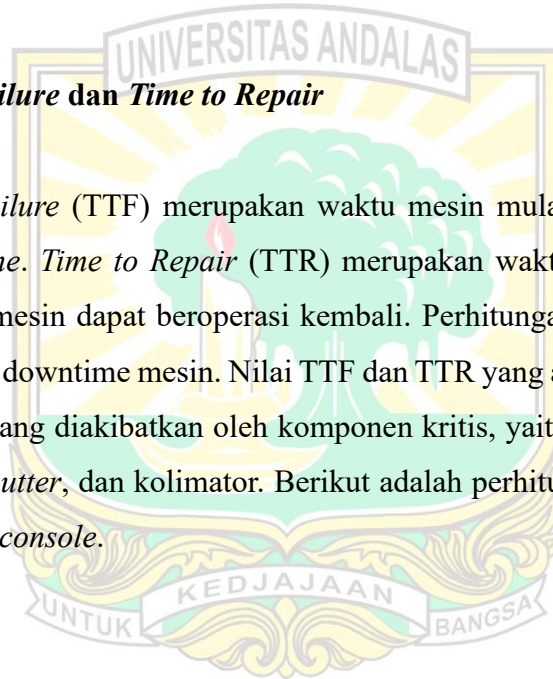
waktu. Sehingga jawaban dari P5 adalah ya. Jika jawaban P5 adalah ya, maka strategi pemeliharaan yang terpilih adalah *preventive maintenance*. Berikut adalah hasil pemilihan strategi pemeliharaan terhadap komponen kritis.

**Tabel 4.14** Hasil Pemilihan Strategi Pemeliharaan Komponen Kritis

No	Komponen	Pertanyaan						Strategi Pemeliharaan
		1	2	3	4	5	6	
1	<i>Control Console</i>	Y	Y	-	T	Y	-	PM
2	<i>Shutter</i>	Y	Y	-	T	Y	-	PM
3	<i>Gantry</i>	Y	Y	-	T	Y	-	PM
4	<i>Kolimator</i>	Y	Y	-	T	Y	-	PM

#### 4.4 *Time to Failure* dan *Time to Repair*

*Time to Failure* (TTF) merupakan waktu mesin mulai beroperasi hingga terjadinya *downtime*. *Time to Repair* (TTR) merupakan waktu mesin mengalami *downtime* hingga mesin dapat beroperasi kembali. Perhitungan TTF dan TTR ini menggunakan data *downtime* mesin. Nilai TTF dan TTR yang akan dihitung adalah waktu kerusakan yang diakibatkan oleh komponen kritis, yaitu komponen *control console*, *gantry*, *shutter*, dan kolimator. Berikut adalah perhitungan TTF dan TTR komponen *control console*.



**Tabel 4.15** Perhitungan TTF dan TTR Komponen *Control Console*

No	Berhenti		Mulai		Durasi (Menit)	Durasi (Jam)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
	Tanggal	Jam	Tanggal	Jam				
1	24/02/2022	12:30	24/02/2022	14:05	95	1,5833		1,5833
2	22/03/2022	13:38	22/03/2022	17:12	214	3,5667	623,5500	3,5667
3	18/04/2022	9:50	19/04/2022	12:09	139	2,3167	640,6333	2,3167
4	06/06/2022	13:20	06/06/2022	16:15	175	2,9167	1153,1833	2,9167
5	21/06/2022	15:20	21/06/2022	17:15	115	1,9167	359,0833	1,9167
6	11/07/2022	3:30	11/07/2022	12:20	530	8,8333	466,2500	8,8333
7	30/07/2022	20:20	30/07/2022	21:15	55	0,9167	464,0000	0,9167
8	15/08/2022	8:50	15/08/2022	13:15	265	4,4167	371,5833	4,4167
9	09/10/2022	10:40	09/10/2022	13:30	170	2,8333	1317,4167	2,8333
10	19/12/2022	10:35	19/12/2022	14:48	253	4,2167	1701,0833	4,2167
11	10/02/2023	9:23	10/02/2023	21:23	720	12	1266,5833	12
12	05/04/2023	8:55	05/04/2023	11:00	125	2,0833	1283,5333	2,0833
13	22/05/2023	9:55	22/05/2023	11:00	65	1,0833	1126,9167	1,0833
14	04/09/2023	8:00	04/09/2023	8:40	40	0,6667	2517,0000	0,6667
15	11/12/2023	11:10	11/12/2023	12:55	105	1,7500	2354,5000	1,7500
16	18/04/2024	9:00	19/04/2024	3:48	1128	18,8000	3092,0833	18,8000
17	30/04/2024	8:00	30/04/2024	16:55	535	8,9167	268,2000	8,9167
18	05/05/2024	10:00	05/05/2024	23:00	780	13	113,0833	13
19	11/05/2024	15:00	11/05/2024	23:25	505	8,4167	136,0000	8,4167
20	10/08/2024	9:00	10/08/2024	13:35	275	4,5833	2169,5833	4,5833
21	17/09/2024	8:00	17/09/2024	8:50	50	0,8333	906,4167	0,8333
22	05/03/2025	11:00	05/03/2025	11:45	45	0,7500	4058,1667	0,7500

Berikut adalah contoh perhitungan TTF dan TTR komponen *control console* periode 17.

$$\text{Durasi (jam)} = 16:55 - 08:00 = 8,9167 \text{ jam}$$

Selanjutnya akan dihitung TTF komponen *control console* periode 17. TTF dihitung mulai dari mesin mulai beroperasi pada periode sebelumnya (n-1) hingga mesin berhenti beroperasi di periode n.

$$TTF_n = (K_{\text{stop}(n)} - K_{\text{start}(n-1)} - 1) \times 24:00 + (24:00 - (\text{mulai}_{n-1} \times 24)) + (\text{berhenti}_n \times 24)$$

$$TTF_{17} = (30/04/2024 - 19/04/2024 - 1) + (24:00 - (3:43 \times 24)) + (8:00 \times 24)$$

$$TTF_{17} = 268,20 \text{ jam}$$

$TTR_{17}$  = durasi *downtime* = 8,9167 jam

Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk komponen kritis lainnya. Kemudian akan dilakukan penentuan distribusi data TTF dan TTR untuk memastikan bahwa data TTF dan TTR memiliki distribusi yang sesuai. Penentuan distribusi dilakukan dengan *index of fit* dan *goodness of fit*.

#### **4.5 Perhitungan *Mean Time to Failure* dan *Mean Time to Repair***

Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) dilakukan berdasarkan distribusi data TTF dan TTR. Sebelum dilakukannya perhitungan MTTF dan MTTR, perlu ditentukan jenis distribusi data TTF dan TTR terlebih dahulu. Penentuan jenis distribusi ini dilakukan dengan dua tahapan, yaitu perhitungan *index of fit* dan pengujian *goodness of fit*.

##### **4.5.1 *Index of Fit* Data TTF dan TTR Komponen Kritis**

Perhitungan *index of fit* dilakukan untuk menentukan distribusi data TTF dan TTR komponen kritis. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai perhitungan dan uji distribusi data TTF dan TTR komponen kritis.

###### **4.5.1.1 Uji Distribusi Data TTF Komponen *Control Console***

Jenis distribusi yang akan diuji adalah distribusi Weibull, normal, lognormal, dan eksponensial.

###### **1. Uji Distribusi Weibull**

Berikut adalah perhitungan *index of fit* distribusi Weibull data TTF komponen *control console*.

**Tabel 4.16** Perhitungan *Index of Fit* Distribusi Weibull Data TTF *Control Console*

<b>i</b>	<b>t<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub></b>	<b>F(t<sub>i</sub>)</b>	<b>y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub>.y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	<b>y<sub>i</sub><sup>2</sup></b>
1	113,0833	4,7281	0,0327	-3,4035	-16,0921	22,3552	11,5837
2	136,0000	4,9127	0,0794	-2,4917	-12,2407	24,1342	6,2084
3	268,2000	5,5917	0,1262	-2,0035	-11,2028	31,2675	4,0139
4	359,0833	5,8836	0,1729	-1,6616	-9,7764	34,6162	2,7611
5	371,5833	5,9178	0,2196	-1,3944	-8,2517	35,0200	1,9443
6	464,0000	6,1399	0,2664	-1,1721	-7,1963	37,6982	1,3737
7	466,2500	6,1447	0,3131	-0,9794	-6,0180	37,7576	0,9592
8	623,5500	6,4354	0,3598	-0,8074	-5,1963	41,4147	0,6520
9	640,6333	6,4625	0,4065	-0,6505	-4,2038	41,7634	0,4231
10	906,4167	6,8095	0,4533	-0,5045	-3,4355	46,3693	0,2545
11	1126,9167	7,0272	0,5000	-0,3665	-2,5756	49,3821	0,1343
12	1153,1833	7,0503	0,5467	-0,2341	-1,6506	49,7065	0,0548
13	1266,5833	7,1441	0,5935	-0,1053	-0,7522	51,0379	0,0111
14	1283,5333	7,1574	0,6402	0,0219	0,1569	51,2280	0,0005
15	1317,4167	7,1834	0,6869	0,1495	1,0741	51,6016	0,0224
16	1701,0833	7,4390	0,7336	0,2798	2,0818	55,3390	0,0783
17	2169,5833	7,6823	0,7804	0,4160	3,1955	59,0176	0,1730
18	2354,5000	7,7641	0,8271	0,5625	4,3673	60,2810	0,3164
19	2517,0000	7,8308	0,8738	0,7276	5,6978	61,3218	0,5294
20	3092,0833	8,0366	0,9206	0,9293	7,4685	64,5869	0,8636
21	4058,1667	8,3085	0,9673	1,2297	10,2166	69,0309	1,5121
<b>Total</b>	<b>26388,85</b>	<b>141,65</b>	<b>10,50</b>	<b>-11,46</b>	<b>-54,33</b>	<b>974,93</b>	<b>33,87</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>1256,61</b>	<b>6,75</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,55</b>	<b>-2,59</b>	<b>46,43</b>	<b>1,61</b>

Perhitungan *index of fit* distribusi Weibull data TTF komponen *control console* diawali dengan mengurutkan nilai terkecil hingga nilai terbesar data  $t_i$  yang didapatkan dari nilai TTF. Kemudian akan dihitung nilai  $x_i$ .

$$x_i = \ln(t_i)$$

$$x_1 = \ln(113,083)$$

$$x_1 = 4,7281$$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_1) = \frac{1 - 0,3}{21 + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_1) = 0,0327$$

$$y_i = \ln \ln \left[ \frac{1}{1 - \hat{F}(t_i)} \right]$$

$$y_1 = \ln \ln \left[ \frac{1}{1 - 0,0327} \right]$$

$$y_1 = -3,4035$$

Kemudian akan dihitung nilai  $x_i \cdot y_i$ , nilai  $x_i^2$ , dan nilai  $y_i^2$  yang akan digunakan untuk perhitungan nilai *index of fit* (r).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$r = \frac{21 \times (-54,33) - (141,65 \times (-11,46))}{\sqrt{[21 \times 974,93 - (141,65)^2] [21 \times 33,87 - (-11,46)^2]}}$$

$$r = 0,9898$$

## 2. Uji Distribusi Normal

Berikut adalah perhitungan *index of fit* distribusi normal data TTF komponen *control console*.

**Tabel 4.17** Perhitungan *Index of Fit* Distribusi Normal Data TTF *Control Console*

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> .y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	113,0833	113,0833	0,0327	-1,8424	-208,3417	12787,8403	3,3943
2	136,0000	136,0000	0,0794	-1,4089	-191,6041	18496,0000	1,9849
3	268,2000	268,2000	0,1262	-1,1447	-307,0066	71931,2400	1,3103
4	359,0833	359,0833	0,1729	-0,9428	-338,5359	128940,8403	0,8888
5	371,5833	371,5833	0,2196	-0,7735	-287,4035	138074,1736	0,5982
6	464,0000	464,0000	0,2664	-0,6239	-289,4776	215296,0000	0,3892
7	466,2500	466,2500	0,3131	-0,4871	-227,1230	217389,0625	0,2373
8	623,5500	623,5500	0,3598	-0,3590	-223,8285	388814,6025	0,1289
9	640,6333	640,6333	0,4065	-0,2364	-151,4772	410411,0678	0,0559
10	906,4167	906,4167	0,4533	-0,1174	-106,4145	821591,1736	0,0138
11	1126,9167	1126,9167	0,5000	0,0000	0,0000	1269941,1736	0,0000
12	1153,1833	1153,1833	0,5467	0,1174	135,3852	1329831,8003	0,0138
13	1266,5833	1266,5833	0,5935	0,2364	299,4826	1604233,3403	0,0559
14	1283,5333	1283,5333	0,6402	0,3590	460,7351	1647457,8178	0,1289
15	1317,4167	1317,4167	0,6869	0,4871	641,7494	1735586,6736	0,2373
16	1701,0833	1701,0833	0,7336	0,6239	1061,2618	2893684,5069	0,3892
17	2169,5833	2169,5833	0,7804	0,7735	1678,0781	4707091,8403	0,5982
18	2354,5000	2354,5000	0,8271	0,9428	2219,7711	5543670,2500	0,8888
19	2517,0000	2517,0000	0,8738	1,1447	2881,1917	6335289,0000	1,3103
20	3092,0833	3092,0833	0,9206	1,4089	4356,2923	9560979,3403	1,9849
21	4058,1667	4058,1667	0,9673	1,8424	7476,6580	16468716,6944	3,3943
<b>Total</b>	<b>26388,85</b>	<b>26388,85</b>	<b>10,50</b>	<b>0,00</b>	<b>18879,39</b>	<b>55520214,44</b>	<b>18,00</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>1256,61</b>	<b>1256,61</b>	<b>0,50</b>	<b>0,00</b>	<b>899,02</b>	<b>2643819,74</b>	<b>0,86</b>

Perhitungan *index of fit* distribusi normal data TTF komponen *control console* diawali dengan mengurutkan data t<sub>i</sub> yang didapatkan dari nilai TTF dari nilai terkecil hingga terbesar. Kemudian akan dihitung nilai x<sub>i</sub>.

$$x_i = t_i$$

$$x_1 = 113,0833$$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_1) = \frac{1 - 0,3}{21 + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_1) = 0,0327$$

$$y_i = \Phi^{-1}(\hat{F}(t_i))$$

$$y_1 = \Phi^{-1}(0,0327)$$

$$y_1 = -1,8424$$

Kemudian akan dihitung nilai  $x_i \cdot y_i$ , nilai  $x_i^2$ , dan nilai  $y_i^2$  yang akan digunakan untuk perhitungan nilai *index of fit* ( $r$ ).

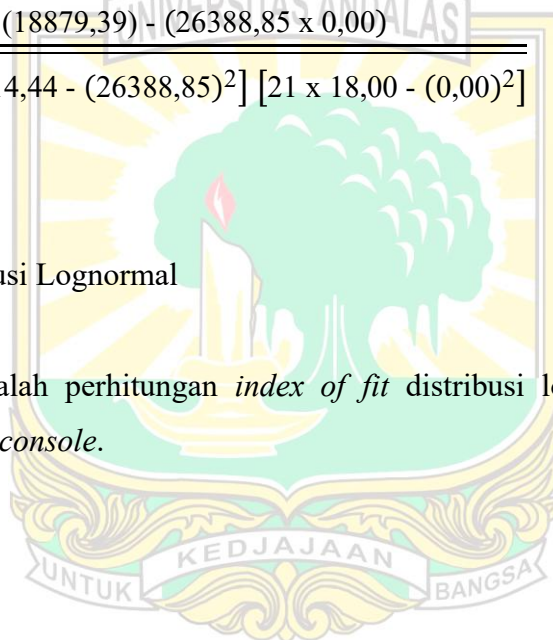
$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$r = \frac{21 \times (18879,39) - (26388,85 \times 0,00)}{\sqrt{[21 \times 55520214,44 - (26388,85)^2] [21 \times 18,00 - (0,00)^2]}}$$

$$r = 0,9410$$

### 3. Uji Distribusi Lognormal

Berikut adalah perhitungan *index of fit* distribusi lognormal data TTF komponen *control console*.



**Tabel 4.18** Perhitungan *Index of Fit* Distribusi Lognormal Data TTF *Control Console*

<b>i</b>	<b>t<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub></b>	<b>F(t<sub>i</sub>)</b>	<b>y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub>.y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	<b>y<sub>i</sub><sup>2</sup></b>
1	113,0833	4,7281	0,0327	-1,8424	-8,7110	22,3552	3,3943
2	136,0000	4,9127	0,0794	-1,4089	-6,9212	24,1342	1,9849
3	268,2000	5,5917	0,1262	-1,1447	-6,4008	31,2675	1,3103
4	359,0833	5,8836	0,1729	-0,9428	-5,5469	34,6162	0,8888
5	371,5833	5,9178	0,2196	-0,7735	-4,5771	35,0200	0,5982
6	464,0000	6,1399	0,2664	-0,6239	-3,8305	37,6982	0,3892
7	466,2500	6,1447	0,3131	-0,4871	-2,9933	37,7576	0,2373
8	623,5500	6,4354	0,3598	-0,3590	-2,3101	41,4147	0,1289
9	640,6333	6,4625	0,4065	-0,2364	-1,5280	41,7634	0,0559
10	906,4167	6,8095	0,4533	-0,1174	-0,7994	46,3693	0,0138
11	1126,9167	7,0272	0,5000	0,0000	0,0000	49,3821	0,0000
12	1153,1833	7,0503	0,5467	0,1174	0,8277	49,7065	0,0138
13	1266,5833	7,1441	0,5935	0,2364	1,6892	51,0379	0,0559
14	1283,5333	7,1574	0,6402	0,3590	2,5692	51,2280	0,1289
15	1317,4167	7,1834	0,6869	0,4871	3,4992	51,6016	0,2373
16	1701,0833	7,4390	0,7336	0,6239	4,6410	55,3390	0,3892
17	2169,5833	7,6823	0,7804	0,7735	5,9419	59,0176	0,5982
18	2354,5000	7,7641	0,8271	0,9428	7,3198	60,2810	0,8888
19	2517,0000	7,8308	0,8738	1,1447	8,9639	61,3218	1,3103
20	3092,0833	8,0366	0,9206	1,4089	11,3224	64,5869	1,9849
21	4058,1667	8,3085	0,9673	1,8424	15,3073	69,0309	3,3943
<b>Total</b>	<b>26388,85</b>	<b>141,65</b>	<b>10,50</b>	<b>0,00</b>	<b>18,46</b>	<b>974,93</b>	<b>18,00</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>1256,61</b>	<b>6,75</b>	<b>0,50</b>	<b>0,00</b>	<b>0,88</b>	<b>46,43</b>	<b>0,86</b>

Perhitungan *index of fit* distribusi lognormal data TTF komponen *control console* diawali dengan mengurutkan data  $t_i$  yang didapatkan dari nilai TTF dari nilai terkecil hingga terbesar. Kemudian akan dihitung nilai  $x_i$ .

$$x_i = \ln(t_i)$$

$$x_1 = \ln(113,083)$$

$$x_1 = 4,7281$$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_1) = \frac{1 - 0,3}{21 + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_1) = 0,0327$$

$$y_i = \Phi^{-1}(\hat{F}(t_i))$$

$$y_1 = \Phi^{-1}(0,0327)$$

$$y_1 = -1,8424$$

Kemudian akan dihitung nilai  $x_i \cdot y_i$ , nilai  $x_i^2$ , dan nilai  $y_i^2$  yang akan digunakan untuk perhitungan nilai *index of fit* (r).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$r = \frac{21 \times (18,46) - (141,65 \times (0,00))}{\sqrt{[21 \times 974,93 - (141,65)^2] [21 \times 18,00 - (0,00)^2]}}$$

$$r = 0,9861$$

#### 4. Uji Distribusi Eksponensial

Berikut adalah perhitungan *index of fit* distribusi eksponensial data TTF komponen *control console*.

**Tabel 4.19** Perhitungan *Index of Fit* Distribusi Eksponensial Data TTF *Control Console*

i	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> .y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	113,0833	113,0833	0,0327	0,0333	3,7608	12787,8403	0,0011
2	136,0000	136,0000	0,0794	0,0828	11,2570	18496,0000	0,0069
3	268,2000	268,2000	0,1262	0,1349	36,1714	71931,2400	0,0182
4	359,0833	359,0833	0,1729	0,1898	68,1635	128940,8403	0,0360
5	371,5833	371,5833	0,2196	0,2480	92,1461	138074,1736	0,0615
6	464,0000	464,0000	0,2664	0,3097	143,7148	215296,0000	0,0959
7	466,2500	466,2500	0,3131	0,3755	175,0971	217389,0625	0,1410
8	623,5500	623,5500	0,3598	0,4460	278,1002	388814,6025	0,1989
9	640,6333	640,6333	0,4065	0,5218	334,2754	410411,0678	0,2723
10	906,4167	906,4167	0,4533	0,6038	547,2963	821591,1736	0,3646
11	1126,9167	1126,9167	0,5000	0,6931	781,1191	1269941,1736	0,4805
12	1153,1833	1153,1833	0,5467	0,7913	912,4737	1329831,8003	0,6261
13	1266,5833	1266,5833	0,5935	0,9001	1140,0110	1604233,3403	0,8101
14	1283,5333	1283,5333	0,6402	1,0222	1311,9900	1647457,8178	1,0448
15	1317,4167	1317,4167	0,6869	1,1613	1529,8941	1735586,6736	1,3486
16	1701,0833	1701,0833	0,7336	1,3229	2250,4052	2893684,5069	1,7501
17	2169,5833	2169,5833	0,7804	1,5158	3288,7161	4707091,8403	2,2977
18	2354,5000	2354,5000	0,8271	1,7551	4132,2843	5543670,2500	3,0802
19	2517,0000	2517,0000	0,8738	2,0701	5210,5402	6335289,0000	4,2855
20	3092,0833	3092,0833	0,9206	2,5328	7831,5132	9560979,3403	6,4149
21	4058,1667	4058,1667	0,9673	3,4201	13879,1973	16468716,6944	11,6969
<b>Total</b>	<b>26388,85</b>	<b>26388,85</b>	<b>10,50</b>	<b>20,13</b>	<b>43958,13</b>	<b>55520214,44</b>	<b>35,03</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>1256,61</b>	<b>1256,61</b>	<b>0,50</b>	<b>0,96</b>	<b>2093,24</b>	<b>2643819,74</b>	<b>1,67</b>

Perhitungan *index of fit* distribusi eksponensial data TTF komponen *control console* diawali dengan mengurutkan data t<sub>i</sub> yang didapatkan dari nilai TTF dari nilai terkecil hingga terbesar. Kemudian akan dihitung nilai x<sub>i</sub>.

$$x_i = t_i$$

$$x_1 = 113,0833$$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_1) = \frac{1 - 0,3}{21 + 0,4} = 0,0327$$

$$y_i = \ln \left[ \frac{1}{1 - \hat{F}(t_i)} \right]$$

$$y_1 = \ln \left[ \frac{1}{1 - 0,0327} \right]$$

$$y_1 = 0,0333$$

Kemudian akan dihitung nilai  $x_i \cdot y_i$ , nilai  $x_i^2$ , dan nilai  $y_i^2$  yang akan digunakan untuk perhitungan nilai *index of fit* (r).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{21 \times (43958,13) - (26388,85 \times (20,13))}{\sqrt{\left[ 21 \times 55520214,44 - (26388,85)^2 \right] \left[ 21 \times 35,03 - (20,13)^2 \right]}}$$

$$r = 0,9949$$

Berikut adalah hasil *index of fit* seluruh komponen kritis terhadap distribusi Weibull, normal, lognormal, dan eksponensial.

**Tabel 4.20** Hasil *Index of Fit* Komponen Kritis Mesin *Teletherapy Cobalt-60*

<i>Index of Fit TTF</i>				
	<i>Control Console</i>	<i>Gantry</i>	<i>Kolimotor</i>	<i>Shutter</i>
<b>Weibull</b>	0,9898	0,9757	0,9800	0,9834
<b>Normal</b>	0,9410	0,8538	0,9209	0,9800
<b>Lognormal</b>	0,9861	0,9661	0,9725	0,9540
<b>Eksponensial</b>	0,9949	0,9662	0,9801	0,9609

#### 4.5.1.2 Uji Distribusi Data TTR Komponen *Control Console*

Jenis distribusi yang akan diuji adalah distribusi Weibull, normal, lognormal, dan eksponensial. Perhitungan seluruh jenis distribusi ini dilakukan terhadap setiap komponen kritis.

1. Uji Distribusi Weibull

Berikut adalah perhitungan *index of fit* distribusi Weibull data TTR komponen *control console*.

**Tabel 4.21** Perhitungan *Index of Fit* Distribusi Weibull Data TTR *Control Console*

<b>i</b>	<b>t<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub></b>	<b>F(t<sub>i</sub>)</b>	<b>y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub>.y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	<b>y<sub>i</sub><sup>2</sup></b>
1	0,6667	-0,4055	0,0313	-3,4499	1,3988	0,1644	11,9018
2	0,7500	-0,2877	0,0759	-2,5392	0,7305	0,0828	6,4477
3	0,8333	-0,1823	0,1205	-2,0523	0,3742	0,0332	4,2118
4	0,9167	-0,0870	0,1652	-1,7118	0,1489	0,0076	2,9303
5	1,0833	0,0800	0,2098	-1,4461	-0,1157	0,0064	2,0911
6	1,5833	0,4595	0,2545	-1,2254	-0,5631	0,2112	1,5015
7	1,7500	0,5596	0,2991	-1,0345	-0,5789	0,3132	1,0702
8	1,9167	0,6506	0,3438	-0,8646	-0,5625	0,4233	0,7476
9	2,0833	0,7340	0,3884	-0,7100	-0,5211	0,5387	0,5040
10	2,3167	0,8401	0,4330	-0,5666	-0,4760	0,7058	0,3210
11	2,8333	1,0415	0,4777	-0,4316	-0,4495	1,0846	0,1863
12	2,9167	1,0704	0,5223	-0,3027	-0,3240	1,1458	0,0916
13	3,5667	1,2716	0,5670	-0,1780	-0,2264	1,6170	0,0317
14	4,2167	1,4390	0,6116	-0,0558	-0,0803	2,0709	0,0031
15	4,4167	1,4854	0,6563	0,0656	0,0975	2,2064	0,0043
16	4,5833	1,5224	0,7009	0,1881	0,2864	2,3178	0,0354
17	8,4167	2,1302	0,7455	0,3138	0,6684	4,5378	0,0985
18	8,8333	2,1785	0,7902	0,4456	0,9709	4,7460	0,1986
19	8,9167	2,1879	0,8348	0,5882	1,2869	4,7870	0,3460
20	12,0000	2,4849	0,8795	0,7494	1,8623	6,1748	0,5617
21	13,0000	2,5649	0,9241	0,9472	2,4295	6,5790	0,8972
22	18,8000	2,9339	0,9688	1,2429	3,6466	8,6075	1,5449
<b>Total</b>	<b>106,40</b>	<b>24,67</b>	<b>11,00</b>	<b>-12,03</b>	<b>10,00</b>	<b>48,36</b>	<b>35,73</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>4,84</b>	<b>1,12</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,55</b>	<b>0,45</b>	<b>2,20</b>	<b>1,62</b>

Perhitungan *index of fit* distribusi Weibull data TTR komponen *control console* diawali dengan mengurutkan data  $t_i$  yang didapatkan dari nilai TTR dari nilai terkecil hingga terbesar. Kemudian akan dihitung nilai  $x_i$ .

$$x_i = \ln(t_i)$$

$$x_2 = \ln(0,750)$$

$$x_2 = -0,2877$$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_2) = \frac{1 - 0,3}{22 + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_2) = 0,0759$$

$$y_i = \ln \ln \left[ \frac{1}{1 - \hat{F}(t_i)} \right]$$

$$y_2 = \ln \ln \left[ \frac{1}{1 - 0,0759} \right]$$

$$y_2 = -2,5392$$

Kemudian akan dihitung nilai  $x_i \cdot y_i$ , nilai  $x_i^2$ , dan nilai  $y_i^2$  yang akan digunakan untuk perhitungan nilai *index of fit* (r).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{22 \times (10,00) - (24,67 \times (-12,03))}{\sqrt{\left[ 22 \times 48,36 - (24,67)^2 \right] \left[ 22 \times 35,73 - (12,03)^2 \right]}}$$

$$r = 0,9565$$

## 2. Uji Distribusi Normal

Berikut adalah perhitungan *index of fit* distribusi normal data TTR komponen *control console*.

**Tabel 4.22** Perhitungan *Index of Fit* Distribusi Normal Data TTR Control Console

<b>i</b>	<b>t<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub></b>	<b>F(t<sub>i</sub>)</b>	<b>y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub>.y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	<b>y<sub>i</sub><sup>2</sup></b>
1	0,6667	0,6667	0,0313	-1,8627	-1,2418	0,4444	3,4698
2	0,7500	0,7500	0,0759	-1,4333	-1,0749	0,5625	2,0542
3	0,8333	0,8333	0,1205	-1,1723	-0,9769	0,6944	1,3743
4	0,9167	0,9167	0,1652	-0,9734	-0,8923	0,8403	0,9475
5	1,0833	1,0833	0,2098	-0,8070	-0,8743	1,1736	0,6513
6	1,5833	1,5833	0,2545	-0,6605	-1,0458	2,5069	0,4363
7	1,7500	1,7500	0,2991	-0,5270	-0,9222	3,0625	0,2777
8	1,9167	1,9167	0,3438	-0,4023	-0,7710	3,6736	0,1618
9	2,0833	2,0833	0,3884	-0,2835	-0,5906	4,3403	0,0804
10	2,3167	2,3167	0,4330	-0,1687	-0,3907	5,3669	0,0284
11	2,8333	2,8333	0,4777	-0,0560	-0,1586	8,0278	0,0031
12	2,9167	2,9167	0,5223	0,0560	0,1633	8,5069	0,0031
13	3,5667	3,5667	0,5670	0,1687	0,6015	12,7211	0,0284
14	4,2167	4,2167	0,6116	0,2835	1,1955	17,7803	0,0804
15	4,4167	4,4167	0,6563	0,4023	1,7766	19,5069	0,1618
16	4,5833	4,5833	0,7009	0,5270	2,4153	21,0069	0,2777
17	8,4167	8,4167	0,7455	0,6605	5,5593	70,8403	0,4363
18	8,8333	8,8333	0,7902	0,8070	7,1289	78,0278	0,6513
19	8,9167	8,9167	0,8348	0,9734	8,6794	79,5069	0,9475
20	12,0000	12,0000	0,8795	1,1723	14,0678	144,0000	1,3743
21	13,0000	13,0000	0,9241	1,4333	18,6323	169,0000	2,0542
22	18,8000	18,8000	0,9688	1,8627	35,0194	353,4400	3,4698
<b>Total</b>	<b>106,40</b>	<b>106,40</b>	<b>11,00</b>	<b>0,00</b>	<b>86,30</b>	<b>1005,03</b>	<b>18,97</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>4,84</b>	<b>4,84</b>	<b>0,50</b>	<b>0,00</b>	<b>3,92</b>	<b>45,68</b>	<b>0,86</b>

Perhitungan *index of fit* distribusi normal data TTR komponen *control console* diawali dengan mengurutkan data  $t_i$  yang didapatkan dari nilai TTR dari nilai terkecil hingga terbesar. Kemudian akan dihitung nilai  $x_i$ .

$$x_i = t_i$$

$$x_2 = 0,7500$$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_2) = \frac{1 - 0,3}{22 + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_2) = 0,0759$$

$$y_i = \Phi^{-1}(\hat{F}(t_i))$$

$$y_2 = \Phi^{-1}(0,0759)$$

$$y_2 = -1,4333$$

Kemudian akan dihitung nilai  $x_i \cdot y_i$ , nilai  $x_i^2$ , dan nilai  $y_i^2$  yang akan digunakan untuk perhitungan nilai *index of fit* (r).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$r = \frac{22 \times (86,30) - (106,40 \times 0,00)}{\sqrt{[22 \times 1005,03 - (106,04)^2][22 \times 18,97 - (0,00)^2]}}$$

$$r = 0,8947$$

### 3. Uji Distribusi Lognormal

Berikut adalah perhitungan *index of fit* distribusi lognormal data TTR komponen *control console*.

**Tabel 4.23** Perhitungan *Index of Fit* Distribusi Lognormal Data TTR *Control Console*

<b>i</b>	<b>t<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub></b>	<b>F(t<sub>i</sub>)</b>	<b>y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub>.y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	<b>y<sub>i</sub><sup>2</sup></b>
1	0,6667	-0,4055	0,0313	-1,8627	0,7553	0,1644	3,4698
2	0,7500	-0,2877	0,0759	-1,4333	0,4123	0,0828	2,0542
3	0,8333	-0,1823	0,1205	-1,1723	0,2137	0,0332	1,3743
4	0,9167	-0,0870	0,1652	-0,9734	0,0847	0,0076	0,9475
5	1,0833	0,0800	0,2098	-0,8070	-0,0646	0,0064	0,6513
6	1,5833	0,4595	0,2545	-0,6605	-0,3035	0,2112	0,4363
7	1,7500	0,5596	0,2991	-0,5270	-0,2949	0,3132	0,2777
8	1,9167	0,6506	0,3438	-0,4023	-0,2617	0,4233	0,1618
9	2,0833	0,7340	0,3884	-0,2835	-0,2081	0,5387	0,0804
10	2,3167	0,8401	0,4330	-0,1687	-0,1417	0,7058	0,0284
11	2,8333	1,0415	0,4777	-0,0560	-0,0583	1,0846	0,0031
12	2,9167	1,0704	0,5223	0,0560	0,0599	1,1458	0,0031
13	3,5667	1,2716	0,5670	0,1687	0,2145	1,6170	0,0284
14	4,2167	1,4390	0,6116	0,2835	0,4080	2,0709	0,0804
15	4,4167	1,4854	0,6563	0,4023	0,5975	2,2064	0,1618
16	4,5833	1,5224	0,7009	0,5270	0,8023	2,3178	0,2777
17	8,4167	2,1302	0,7455	0,6605	1,4070	4,5378	0,4363
18	8,8333	2,1785	0,7902	0,8070	1,7582	4,7460	0,6513
19	8,9167	2,1879	0,8348	0,9734	2,1297	4,7870	0,9475
20	12,0000	2,4849	0,8795	1,1723	2,9131	6,1748	1,3743
21	13,0000	2,5649	0,9241	1,4333	3,6762	6,5790	2,0542
22	18,8000	2,9339	0,9688	1,8627	5,4650	8,6075	3,4698
<b>Total</b>	<b>106,40</b>	<b>24,67</b>	<b>11,00</b>	<b>0,00</b>	<b>19,56</b>	<b>48,36</b>	<b>18,97</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>4,84</b>	<b>1,12</b>	<b>0,50</b>	<b>0,00</b>	<b>0,89</b>	<b>2,20</b>	<b>0,86</b>

Perhitungan *index of fit* distribusi lognormal data TTR komponen *control console* diawali dengan mengurutkan data  $t_i$  yang didapatkan dari nilai TTR dari nilai terkecil hingga terbesar. Kemudian akan dihitung nilai  $x_i$ .

$$x_i = \ln(t_i)$$

$$x_2 = \ln(0,750)$$

$$x_2 = -0,2877$$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_2) = \frac{1 - 0,3}{22 + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_2) = 0,0759$$

$$y_i = \Phi^{-1}(\hat{F}(t_i))$$

$$y_2 = \Phi^{-1}(0,0759)$$

$$y_2 = -1,4333$$

Kemudian akan dihitung nilai  $x_i \cdot y_i$ , nilai  $x_i^2$ , dan nilai  $y_i^2$  yang akan digunakan untuk perhitungan nilai *index of fit* (r).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$r = \frac{22 \times (19,56) - (24,67 \times (0,00))}{\sqrt{[22 \times 28,36 - (24,67)^2][22 \times 18,97 - (0,00)^2]}}$$

$$r = 0,9875$$

#### 4. Uji Distribusi Eksponensial

Berikut adalah perhitungan *index of fit* distribusi eksponensial data TTR komponen *control console*.

**Tabel 4.24** Perhitungan *Index of Fit* Distribusi Ekspensial Data TTR *Control Console*

<b>i</b>	<b>t<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub></b>	<b>F(t<sub>i</sub>)</b>	<b>y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub>.y<sub>i</sub></b>	<b>x<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	<b>y<sub>i</sub><sup>2</sup></b>
1	0,6667	0,6667	0,0313	0,0317	0,0212	0,4444	0,0010
2	0,7500	0,7500	0,0759	0,0789	0,0592	0,5625	0,0062
3	0,8333	0,8333	0,1205	0,1284	0,1070	0,6944	0,0165
4	0,9167	0,9167	0,1652	0,1805	0,1655	0,8403	0,0326
5	1,0833	1,0833	0,2098	0,2355	0,2551	1,1736	0,0555
6	1,5833	1,5833	0,2545	0,2937	0,4649	2,5069	0,0862
7	1,7500	1,7500	0,2991	0,3554	0,6220	3,0625	0,1263
8	1,9167	1,9167	0,3438	0,4212	0,8073	3,6736	0,1774
9	2,0833	2,0833	0,3884	0,4917	1,0243	4,3403	0,2417
10	2,3167	2,3167	0,4330	0,5675	1,3146	5,3669	0,3220
11	2,8333	2,8333	0,4777	0,6495	1,8402	8,0278	0,4218
12	2,9167	2,9167	0,5223	0,7388	2,1549	8,5069	0,5459
13	3,5667	3,5667	0,5670	0,8369	2,9851	12,7211	0,7005
14	4,2167	4,2167	0,6116	0,9457	3,9879	17,7803	0,8944
15	4,4167	4,4167	0,6563	1,0678	4,7163	19,5069	1,1403
16	4,5833	4,5833	0,7009	1,2070	5,5319	21,0069	1,4567
17	8,4167	8,4167	0,7455	1,3686	11,5190	70,8403	1,8731
18	8,8333	8,8333	0,7902	1,5615	13,7932	78,0278	2,4383
19	8,9167	8,9167	0,8348	1,8007	16,0565	79,5069	3,2426
20	12,0000	12,0000	0,8795	2,1158	25,3897	144,0000	4,4766
21	13,0000	13,0000	0,9241	2,5784	33,5196	169,0000	6,6483
22	18,8000	18,8000	0,9688	3,4657	65,1558	353,4400	12,0113
<b>Total</b>	<b>106,40</b>	<b>106,40</b>	<b>11,00</b>	<b>21,12</b>	<b>191,49</b>	<b>1005,03</b>	<b>36,92</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>4,84</b>	<b>4,84</b>	<b>0,50</b>	<b>0,96</b>	<b>8,70</b>	<b>45,68</b>	<b>1,68</b>

Perhitungan *index of fit* distribusi eksponensial data TTR komponen *control console* diawali dengan mengurutkan data  $t_i$  yang didapatkan dari nilai TTR dari nilai terkecil hingga terbesar. Kemudian akan dihitung nilai  $x_i$ .

$$x_i = t_i$$

$$x_2 = 0,7500$$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_2) = \frac{1 - 0,3}{22 + 0,4}$$

$$\hat{F}(t_2) = 0,0759$$

$$y_i = \ln \left[ \frac{1}{1 - \hat{F}(t_i)} \right]$$

$$y_2 = \ln \left[ \frac{1}{1 - 0,0759} \right]$$

$$y_2 = 0,0789$$

Kemudian akan dihitung nilai  $x_i \cdot y_i$ , nilai  $x_i^2$ , dan nilai  $y_i^2$  yang akan digunakan untuk perhitungan nilai *index of fit* (r).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$r = \frac{22 \times (191,49) - (106,40 \times (21,12))}{\sqrt{[22 \times 1005,03 - (106,40)^2][22 \times 36,92 - (21,12)^2]}}$$

$$r = 0,9890$$

Berikut adalah hasil *index of fit* seluruh komponen kritis terhadap distribusi Weibull, normal, lognormal, dan eksponensial.

**Tabel 4.25** Hasil Perhitungan *Index of Fit* Setiap Komponen

<b>Index of Fit TTR</b>				
	<b>Control Console</b>	<b>Gantry</b>	<b>Kolimator</b>	<b>Shutter</b>
<b>Weibull</b>	0,9565	0,9634	0,8699	0,8696
<b>Normal</b>	0,8947	0,8029	0,5465	0,7453
<b>Lognormal</b>	0,9875	0,9767	0,9221	0,9362
<b>Eksponensial</b>	0,9890	0,9195	0,7254	0,8939

#### 4.5.2 Perhitungan *Goodness of Fit* Data TTF dan TTR

*Goodness of fit* dilakukan untuk menguji distribusi terpilih berdasarkan *index of fit* sesuai dengan sebaran data. Pengujian *goodness of fit* ini dilakukan untuk memperkuat keputusan penentuan jenis distribusi berdasarkan hasil *index of fit*. Pengujian *goodness of fit* yang dilakukan terdiri dari pengujian distribusi Weibull dengan Mann's test, distribusi normal dan lognormal dengan Kolmogorov-Smirnov test, dan distribusi eksponensial dengan Bartlett test. Pengujian dilakukan terhadap 4 jenis komponen kritis berdasarkan distribusi terpilih.

##### 4.5.2.1 Uji *Goodness of Fit* Data TTF Komponen Kritis

###### 1. Pengujian *Goodness of Fit* Data TTF Control Console

Data TTF *control console* memiliki distribusi eksponensial berdasarkan hasil *index of fit*, sehingga akan dilakukan pengujian dengan Bartlett's test. Terdapat dua hipotesis dalam pengujian ini, yaitu:

H0 = Data TTF komponen *control console* memiliki distribusi eksponensial.

H1 = Data TTF komponen *control console* tidak memiliki distribusi eksponensial.

Berikut adalah hasil perhitungan *goodness of fit* dengan Bartlett's test.

**Tabel 4.26** Perhitungan *Goodness of Fit* Data TTF Control Console

<b>i</b>	<b>t<sub>i</sub></b>	<b>ln t<sub>i</sub></b>
1	113,0833	4,7281
2	136,0000	4,9127
3	268,2000	5,5917
4	359,0833	5,8836
5	371,5833	5,9178
6	464,0000	6,1399
7	466,2500	6,1447
8	623,5500	6,4354
9	640,6333	6,4625
10	906,4167	6,8095
11	1126,9167	7,0272
12	1153,1833	7,0503
13	1266,5833	7,1441
14	1283,5333	7,1574
15	1317,4167	7,1834
16	1701,0833	7,4390
17	2169,5833	7,6823
18	2354,5000	7,7641
19	2517,0000	7,8308
20	3092,0833	8,0366
21	4058,1667	8,3085
<b>Total</b>	<b>26388,8500</b>	<b>141,6495</b>

Nilai  $t_i$  dalam perhitungan didapatkan dari nilai TTF komponen *control console*. Kemudian akan dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$t_1 = 113,0833$$

$$\ln t_1 = \ln (113,0833) = 4,7281$$

Kemudian akan dihitung parameter uji Bartlett's *test*, yaitu B, dengan  $H_0$  diterima jika  $\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, r-1} < B < \chi^2_{\frac{\alpha}{2}, r-1}$ .

$$B = \frac{2r \left[ \ln \left( \left( \frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right) - \left( \frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + (r+1)/(6r)}$$

$$B = \frac{2 \times 21 \left[ \ln \left( \left( \frac{1}{21} \right) 26388,8500 \right) - \left( \frac{1}{21} \right) 141,6495 \right]}{1 + (21 + 1) / (6 \times 21)}$$

$$B = 13,9794$$

$$x_{1-\frac{\alpha}{2}, r-1}^2 = x_{1-\frac{0,05}{2}, 21-1}^2 = 9,5907$$

$$x_{\frac{\alpha}{2}, r-1}^2 = x_{\frac{0,05}{2}, 21-1}^2 = 34,1696$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa  $B = 13,9794$ ,  $x_{1-\frac{\alpha}{2}, r-1}^2 = 9,5907$ ,  $x_{\frac{\alpha}{2}, r-1}^2 = 34,1696$ , sehingga  $x_{1-\frac{\alpha}{2}, r-1}^2 < B < x_{\frac{\alpha}{2}, r-1}^2$ . Oleh karena itu, disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima dan diputuskan bahwa data TTF komponen *control console* memiliki distribusi eksponensial.

## 2. Pengujian *Goodness of Fit* Data TTF Gantry

Data TTF *gantry* memiliki distribusi Weibull berdasarkan hasil *index of fit*. Sehingga pengujian *goodness of fit* akan dilakukan dengan Mann's *Test*. Terdapat dua hipotesis dalam pengujian ini. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0$  = Data TTF komponen *gantry* memiliki distribusi Weibull.

$H_1$  = Data TTF komponen *gantry* tidak memiliki distribusi Weibull.

Berikut adalah hasil perhitungan *goodness of fit* dengan Kolmogorov-Smirnov *test*.

**Tabel 4.27** Perhitungan *Goodness of Fit* Data TTF Gantry

i	t <sub>i</sub>	ln t <sub>i</sub>	ln t <sub>i+1</sub>	Z <sub>i</sub>	Z <sub>i+1</sub>	M <sub>i</sub>	$\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i}$
1	64,3333	4,1641	5,6611	-3,6375	-2,5118	1,1258	1,3298
2	287,4667	5,6611	6,0141	-2,5118	-1,9725	0,5393	0,6546
3	409,1667	6,0141	6,0659	-1,9725	-1,6061	0,3664	0,1414
4	430,9167	6,0659	6,2983	-1,6061	-1,3233	0,2828	0,8217
5	543,6667	6,2983	6,3965	-1,3233	-1,0892	0,2340	0,4194
6	599,7333	6,3965	6,4693	-1,0892	-0,8868	0,2025	0,3597
7	645,0333	6,4693	6,6906	-0,8868	-0,7059	0,1809	1,2237
8	804,8333	6,6906	6,6991	-0,7059	-0,5402	0,1657	0,0510
9	811,6667	6,6991	6,8089	-0,5402	-0,3853	0,1549	0,7084
10	905,8333	6,8089	7,1242	-0,3853	-0,2377	0,1476	2,1360
11	1241,6333	7,1242	7,1294	-0,2377	-0,0945	0,1432	0,0362
12	1248,0833	7,1294	7,1469	-0,0945	0,0469	0,1414	0,1241
13	1270,1667	7,1469	7,2014	0,0469	0,1892	0,1424	0,3829
14	1341,3333	7,2014	7,2376	0,1892	0,3360	0,1468	0,2465
15	1390,7500	7,2376	7,4407	0,3360	0,4921	0,1561	1,3014
16	1704,0000	7,4407	7,8383	0,4921	0,6657	0,1736	2,2899
17	2535,9167	7,8383	8,0883	0,6657	0,8746	0,2089	1,1969
18	3256,1667	8,0883	8,6274	0,8746	1,1772	0,3026	1,7815
19	5582,2833	8,6274		1,1772			

Nilai t<sub>i</sub> didapatkan dari data TTF komponen *gantry*. Berikut adalah tahapan perhitungan uji *goodness of fit* Mann's test.

$$t_1 = 64,3333$$

$$\ln t_i = \ln t_1 = \ln (64,333) = 4,1641$$

$$\ln t_{i+1} = \ln t_2 = \ln (287,467) = 5,6611$$

$$Z_i = \ln \left[ - \ln \left( 1 - \frac{i - 0,5}{n + 0,25} \right) \right]$$

$$Z_1 = \ln \left[ - \ln \left( 1 - \frac{1 - 0,5}{19 + 0,25} \right) \right]$$

$$Z_1 = \ln [ - \ln (0,9740)]$$

$$Z_1 = -3,6375$$

$$Z_{i+1} = Z_2 = -2,5118$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i$$

$$M_1 = Z_2 - Z_1 = -2,5118 - (-3,6375) = 1,1258$$

$$k_1 = \left\lceil \frac{r}{2} \right\rceil = \left\lceil \frac{19}{2} \right\rceil = 9,5$$

$$k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{19-1}{2} \right\rfloor = 9$$

Kemudian akan dihitung parameter uji Mann's *test* serta nilai kritis ( $F_{crit}$ ).

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}$$

$$M = \frac{9,5 \sum_{i=11}^{18} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{9 \sum_{i=1}^{10} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}$$

$$M = 0,9901$$

$$\text{Pembilang} = 2k_2 = 2 \times 9 = 18$$

$$\text{Penyebut} = 2k_1 = 2 \times 9,5 = 19$$

$$F_{crit} = F_{(18,19)} = 2,19$$

Nilai  $F_{crit}$  didapatkan dari tabel *F-distribution* dengan derajat kebebasan pembilang bernilai  $2k_2$  dan derajat kebebasan penyebut bernilai  $2k_1$ . Berdasarkan hasil tersebut didapatkan bahwa nilai  $M < F_{crit}$ , sehingga  $H_0$  diterima. Oleh karena itu, data TTF komponen *gantry* memiliki distribusi Weibull.

### 3. Pengujian *Goodness of Fit* Data TTF Kolimator

Data TTF kolimator memiliki distribusi eksponensial berdasarkan hasil *index of fit*. Sehingga akan dilakukan pengujian dengan *Bartlett test*. Terdapat dua hipotesis dalam pengujian ini. Berikut adalah hipotesis yang digunakan.

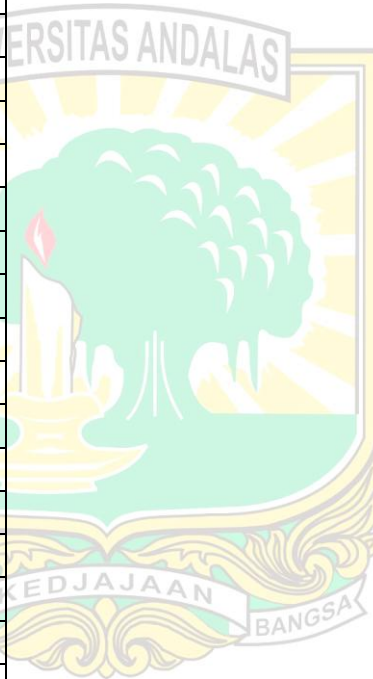
H0 = Data TTF komponen kolimator memiliki distribusi eksponensial.

H1 = Data TTF komponen kolimator tidak memiliki distribusi eksponensial.

Berikut adalah hasil perhitungan *goodness of fit* dengan Bartlett's test.

**Tabel 4.28** Perhitungan *Goodness of Fit* Data TTF Kolimator

<b>i</b>	<b>t<sub>i</sub></b>	<b>ln t<sub>i</sub></b>
1	71,4167	4,2685
2	94,5000	4,5486
3	110,9167	4,7088
4	188,3333	5,2382
5	196,5833	5,2811
6	504,4667	6,2235
7	592,4167	6,3842
8	595,8333	6,3900
9	659,0000	6,4907
10	846,9167	6,7416
11	1145,0833	7,0432
12	1216,5833	7,1038
13	1703,8333	7,4406
14	1968,8333	7,5852
15	2303,0000	7,7420
16	2635,2667	7,8767
17	2808,4167	7,9404
18	2901,3833	7,9729
19	4490,3333	8,4097
20	4531,9167	8,4189
<b>Total</b>	<b>29565,0333</b>	<b>133,8087</b>



Nilai  $t_i$  dalam perhitungan didapatkan dari nilai TTF komponen *control console*. Kemudian akan dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$t_1 = 71,4167$$

$$\ln t_1 = \ln (71,4167) = 4,2685$$

Kemudian akan dihitung parameter uji Bartlett's *test*, yaitu B, dengan H0 diterima jika  $x_{1-\frac{\alpha}{2},r-1}^2 < B < x_{\frac{\alpha}{2},r-1}^2$ .

$$B = \frac{2r \left[ \ln \left( \left( \frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right) - \left( \frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + (r+1)/(6r)}$$

$$B = \frac{2 \times 20 \left[ \ln \left( \left( \frac{1}{20} \right) 29565,0333 \right) - \left( \frac{1}{20} \right) 133,8087 \right]}{1 + (20 + 1) / (6 \times 20)}$$

$$B = 20,7040$$

$$x_{1-\frac{\alpha}{2},r-1}^2 = x_{1-\frac{0,05}{2},20-1}^2 = 8,9065$$

$$x_{\frac{\alpha}{2},r-1}^2 = x_{\frac{0,05}{2},20-1}^2 = 32,8523$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa  $B = 20,7040$ ,  $x_{1-\frac{\alpha}{2},r-1}^2 = 8,9065$ ,  $x_{\frac{\alpha}{2},r-1}^2 = 32,8523$ , sehingga  $x_{1-\frac{\alpha}{2},r-1}^2 < B < x_{\frac{\alpha}{2},r-1}^2$ . Oleh karena itu, disimpulkan bahwa H0 diterima dan diputuskan bahwa data TTF komponen kolimator memiliki distribusi eksponensial.

#### 4. Pengujian *Goodness of Fit* Data TTF *Shutter*

Data TTF *shutter* memiliki distribusi Weibull berdasarkan hasil *index of fit*, sehingga pengujian *goodness of fit* akan dilakukan dengan Mann's *test*. Terdapat dua hipotesis dalam pengujian ini. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut

H0 = Data TTF komponen *shutter* memiliki distribusi Weibull.

H1 = Data TTF komponen *shutter* tidak memiliki distribusi Weibull.

Berikut adalah hasil perhitungan *goodness of fit* dengan Mann's *test*.

**Tabel 4.29** Perhitungan *Goodness of Fit* Data TTF *Shutter*

i	$t_i$	$\ln t_i$	$\ln t_{i+1}$	$Z_i$	$Z_{i+1}$	$M_i$	$\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i}$
1	195,2000	5,2740	5,5759	-3,4657	-2,3346	1,1311	0,2669
2	264,0000	5,5759	5,9373	-2,3346	-1,7894	0,5452	0,6629
3	378,9167	5,9373	6,6734	-1,7894	-1,4165	0,3729	1,9738
4	791,0833	6,6734	6,8656	-1,4165	-1,1263	0,2902	0,6623
5	958,7500	6,8656	6,9626	-1,1263	-0,8839	0,2424	0,4002
6	1056,4167	6,9626	7,0250	-0,8839	-0,6717	0,2121	0,2941
7	1124,4167	7,0250	7,1818	-0,6717	-0,4796	0,1921	0,8162
8	1315,3333	7,1818	7,3803	-0,4796	-0,3006	0,1790	1,1086
9	1604,0833	7,3803	7,4525	-0,3006	-0,1295	0,1711	0,4219
10	1724,1500	7,4525	7,6634	-0,1295	0,0382	0,1676	1,2582
11	2129,0167	7,6634	7,7386	0,0382	0,2070	0,1688	0,4456
12	2295,3333	7,7386	7,7520	0,2070	0,3828	0,1758	0,0759
13	2326,1667	7,7520	7,7755	0,3828	0,5746	0,1919	0,1225
14	2381,5000	7,7755	7,8857	0,5746	0,8013	0,2267	0,4860
15	2658,8667	7,8857	8,2280	0,8013	1,1236	0,3222	1,0623
16	3744,1667	8,2280		1,1236			

Nilai  $t_i$  didapatkan dari data TTF komponen *shutter*. Berikut adalah tahapan perhitungan uji *goodness of fit* Mann's test.

$$t_1 = 195,2$$

$$\ln t_i = \ln t_1 = \ln (195,2) = 5,2740$$

$$\ln t_{i+1} = \ln t_2 = \ln (264,000) = 5,5759$$

$$Z_i = \ln \left[ - \ln \left( 1 - \frac{i - 0,5}{n + 0,25} \right) \right]$$

$$Z_1 = \ln \left[ - \ln \left( 1 - \frac{1 - 0,5}{16 + 0,25} \right) \right]$$

$$Z_1 = -3,4657$$

$$Z_{i+1} = Z_2 = -2,3346$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i$$

$$M_1 = Z_2 - Z_1$$

$$M_1 = -2,3346 - (-3,4657) = 1,1311$$

$$k_1 = \left\lceil \frac{r}{2} \right\rceil = \left\lceil \frac{16}{2} \right\rceil = 8$$

$$k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{16-1}{2} \right\rfloor = 7,5$$

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}$$

$$M = \frac{8 \sum_{i=9}^{15} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{7,5 \sum_{i=1}^8 [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}$$

$$M = 0,6678$$

$$\text{Pembilang} = 2k_2 = 2 \times 7,5 = 15$$

$$\text{Penyebut} = 2k_1 = 2 \times 8 = 16$$

$$F_{crit} = F_{(15,16)} = 2,35$$

Nilai  $F_{crit}$  didapatkan dari tabel *F-distribution* dengan derajat kebebasan pembilang bernilai  $2k_2$  dan derajat kebebasan penyebut bernilai  $2k_1$ . Berdasarkan hasil tersebut didapatkan bahwa nilai  $M < F_{crit}$ , sehingga  $H_0$  diterima. Oleh karena itu, data TTF komponen *shutter* memiliki distribusi Weibull.

#### 4.5.2.2 Uji *Goodness of Fit* Data TTR Komponen Kritis

##### 1. Pengujian Data TTR *Gantry*

Data TTR *gantry* memiliki distribusi lognormal berdasarkan hasil *index of fit*, sehingga akan dilakukan pengujian dengan Kolmogorov-Smirnov *test*. Terdapat dua hipotesis dalam pengujian ini, yaitu:

$H_0$  = Data TTR komponen *gantry* memiliki distribusi lognormal.

$H_1$  = Data TTR komponen *gantry* tidak memiliki distribusi lognormal.

Berikut adalah hasil perhitungan *goodness of fit* dengan Kolmogorov-Smirnov *test*.

**Tabel 4.30** Perhitungan Goodness of Fit Data TTR *Gantry*

<b>i</b>	<b>t<sub>i</sub></b>	$\frac{i}{n}$	$\frac{i-1}{n}$	$\bar{t}_i$	<b>t<sub>i</sub> - <math>\bar{t}_i</math></b>	<b>(t<sub>i</sub> - <math>\bar{t}_i</math>)<sup>2</sup></b>
1	0,6667	0,0500	0,0000	5,4242	-4,7575	22,6338
2	1,7167	0,1000	0,0500		-3,7075	13,7456
3	2,0833	0,1500	0,1000		-3,3408	11,1612
4	2,0833	0,2000	0,1500		-3,3408	11,1612
5	2,3833	0,2500	0,2000		-3,0408	9,2467
6	2,5000	0,3000	0,2500		-2,9242	8,5508
7	2,7167	0,3500	0,3000		-2,7075	7,3306
8	2,8333	0,4000	0,3500		-2,5908	6,7124
9	3,6667	0,4500	0,4000		-1,7575	3,0888
10	4,0000	0,5000	0,4500		-1,4242	2,0283
11	4,0500	0,5500	0,5000		-1,3742	1,8883
12	5,0833	0,6000	0,5500		-0,3408	0,1162
13	5,4167	0,6500	0,6000		-0,0075	0,0001
14	5,7500	0,7000	0,6500		0,3258	0,1062
15	6,7500	0,7500	0,7000		1,3258	1,7578
16	6,9167	0,8000	0,7500		1,4925	2,2276
17	7,4167	0,8500	0,8000		1,9925	3,9701
18	8,3667	0,9000	0,8500		2,9425	8,6583
19	9,2500	0,9500	0,9000		3,8258	14,6370
20	24,8333	1,0000	0,9500		19,4092	376,7158
<b>Total</b>						<b>505,7364</b>

Nilai  $t_i$  dalam perhitungan didapatkan dari nilai TTR komponen *control console*. Kemudian akan dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$t_1 = 0,6667$$

$$\frac{i}{n} = \frac{1}{20} = 0,05$$

$$\frac{i-1}{n} = \frac{1-1}{20} = 0$$

$$t_i - \bar{t}_i = t_1 - \bar{t}_1 = 0,6667 - 5,4242 = -4,7575$$

Selanjutnya akan dihitung nilai standar deviasi data  $t_i$ .

$$s = \sqrt{\frac{\sum(t_i - \bar{t}_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{505,7364}{20-1}} = 5,1592$$

Kemudian akan dihitung parameter uji Kolmogorov-Smirnov *test*, yaitu  $D_1$ ,  $D_2$ , dan  $D_n$ , serta nilai kritis ( $D_{crit}$ ).

**Tabel 4.31** Perhitungan Parameter Uji TTR *Gantry*

$i$	$\Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}_i}{s}\right)$	$\Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}_i}{s}\right) - \frac{i-1}{n}$	$\frac{i}{n} - \Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}_i}{s}\right)$
1	0,1782	0,1782	-0,1282
2	0,2362	0,1862	-0,1362
3	0,2586	0,1586	-0,1086
4	0,2586	0,1086	-0,0586
5	0,2778	0,0778	-0,0278
6	0,2854	0,0354	0,0146
7	0,2999	-0,0001	0,0501
8	0,3078	-0,0422	0,0922
9	0,3667	-0,0333	0,0833
10	0,3913	-0,0587	0,1087
11	0,3950	-0,1050	0,1550
12	0,4737	-0,0763	0,1263
13	0,4994	-0,1006	0,1506
14	0,5252	-0,1248	0,1748
15	0,6014	-0,0986	0,1486
16	0,6138	-0,1362	0,1862
17	0,6503	-0,1497	0,1997
18	0,7158	-0,1342	0,1842
19	0,7708	-0,1292	0,1792
20	0,9999	0,0499	0,0001

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}_i}{s}\right) - \frac{i-1}{n} \right\} = 0,1862$$

$$D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left( \frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} = 0,1997$$

$$D_n = \max \{D_1; D_2\} = \max \{0,1862; 0,1997\} = 0,1997$$

$$\text{Taraf nyata} = 5\%$$

$$n = 20$$

$$D_{Crit} = D_{(0.05,20)} = 0,19$$

Nilai kritis ( $D_{Crit}$ ) didapatkan dari nilai tabel *critical values* untuk Kolmogorov-Smirnov *test*. Jika  $D_n < D_{Crit}$ , maka  $H_0$  diterima. Sebaliknya, jika  $D_n \geq D_{Crit}$ ,  $H_1$  diterima. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa nilai  $D_n = 0,1997$  dan  $D_{Crit} = 0,19$ , sehingga  $D_n > D_{Crit}$ . Oleh karena itu, disimpulkan bahwa  $H_0$  ditolak dan diputuskan bahwa data TTR komponen *gantry* tidak memiliki distribusi lognormal. Perhitungan akan dilanjutkan dengan uji kedua, yaitu pengujian distribusi dengan *index of fit* terbesar kedua, yaitu distribusi Weibull. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut

$H_0$  = Data TTF komponen *gantry* memiliki distribusi Weibull.

$H_1$  = Data TTF komponen *gantry* tidak memiliki distribusi Weibull.

Berikut adalah hasil perhitungan *goodness of fit* dengan Mann's *test*.

**Tabel 4.32** Perhitungan *Goodness of Fit* Data TTR Gantry

i	$t_i$	$\ln t_i$	$\ln t_{i+1}$	$Z_i$	$Z_{i+1}$	$M_i$	$\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i}$
1	0,6667	-0,4055	0,5404	-3,6888	-2,5645	1,1244	0,8412
2	1,7167	0,5404	0,7340	-2,5645	-2,0267	0,5378	0,3600
3	2,0833	0,7340	0,7340	-2,0267	-1,6620	0,3647	0,0000
4	2,0833	0,7340	0,8685	-1,6620	-1,3811	0,2810	0,4788
5	2,3833	0,8685	0,9163	-1,3811	-1,1491	0,2319	0,2061
6	2,5000	0,9163	0,9994	-1,1491	-0,9490	0,2001	0,4154
7	2,7167	0,9994	1,0415	-0,9490	-0,7708	0,1782	0,2360
8	2,8333	1,0415	1,2993	-0,7708	-0,6083	0,1626	1,5858
9	3,6667	1,2993	1,3863	-0,6083	-0,4569	0,1514	0,5749
10	4,0000	1,3863	1,3987	-0,4569	-0,3135	0,1434	0,0866
11	4,0500	1,3987	1,6260	-0,3135	-0,1754	0,1381	1,6459
12	5,0833	1,6260	1,6895	-0,1754	-0,0403	0,1351	0,4702
13	5,4167	1,6895	1,7492	-0,0403	0,0940	0,1344	0,4444
14	5,7500	1,7492	1,9095	0,0940	0,2303	0,1362	1,1770
15	6,7500	1,9095	1,9339	0,2303	0,3716	0,1413	0,1726
16	6,9167	1,9339	2,0037	0,3716	0,5226	0,1510	0,4621
17	7,4167	2,0037	2,1243	0,5226	0,6914	0,1688	0,7139
18	8,3667	2,1243	2,2246	0,6914	0,8955	0,2041	0,4918
19	9,2500	2,2246	3,2122	0,8955	1,1927	0,2972	3,3232
20	24,8333	3,2122		1,1927			

Nilai  $t_i$  didapatkan dari data TTR komponen *gantry*. Berikut adalah tahapan perhitungan uji *goodness of fit* Mann's test.

$$t_1 = 0,6667$$

$$\ln t_i = \ln t_1 = \ln (0,6667) = - 0,4055$$

$$\ln t_{i+1} = \ln t_2 = \ln (1,7167) = 0,5404$$

$$Z_i = \ln \left[ - \ln \left( 1 - \frac{i - 0,5}{n + 0,25} \right) \right]$$

$$Z_1 = \ln \left[ - \ln \left( 1 - \frac{1 - 0,5}{20 + 0,25} \right) \right]$$

$$Z_1 = -3,6888$$

$$Z_{i+1} = Z_2 = -2,5645$$

$$\begin{aligned}
M_i &= Z_{i+1} - Z_i \\
M_1 &= Z_2 - Z_1 \\
M_1 &= -2,5645 - (-3,6888) = 1,1244
\end{aligned}$$

$$k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{20}{2} \right\rfloor = 10$$

$$k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{20-1}{2} \right\rfloor = 9,5$$

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}$$

$$M = \frac{10 \sum_{i=11}^{19} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{9,5 \sum_{i=1}^{10} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}$$

$$M = 1,9583$$

$$\text{Pembilang} = 2k_2 = 2 \times 9,5 = 19$$

$$\text{Penyebut} = 2k_1 = 2 \times 10 = 20$$

$$F_{crit} = F_{(19,20)} = 2,14$$

Nilai  $F_{crit}$  didapatkan dari tabel *F-distribution* dengan derajat kebebasan pembilang bernilai  $2k_2$  dan derajat kebebasan penyebut bernilai  $2k_1$ . Berdasarkan hasil tersebut didapatkan bahwa nilai  $M < F_{crit}$ , sehingga  $H_0$  diterima. Oleh karena itu, data TTR komponen *gantry* memiliki distribusi Weibull. Perhitungan *goodness of fit* komponen *control console*, kolimator, dan *shutter* dapat dilihat pada Lampiran D.

**Tabel 4.33** Jenis Distribusi Terpilih Data TTF dan TTR Komponen Kritis

Komponen	Jenis Distribusi	
	Data TTF	Data TTR
<i>Control Console</i>	Eksponensial	Eksponensial
<i>Gantry</i>	Weibull	Weibull
Kolimator	Eksponensial	Eksponensial
<i>Shutter</i>	Weibull	Eksponensial

### 4.5.3 Perhitungan MTTF dan MTTR Komponen Kritis

Setelah didapatkan jenis distribusi data TTF dan TTR komponen kritis mesin *teletherapy cobalt-60*, akan dilakukan perhitungan MTTR dan MTTT. Perhitungan MTTF dan MTTR dilakukan dengan menggunakan formulasi yang sesuai dengan distribusi terpilih.

#### 4.5.3.1 MTTF dan MTTR Komponen *Control Console*

Data TTF *control console* memiliki distribusi eksponensial. Perhitungan parameter dilakukan dengan menggunakan data pada Tabel 4.20. Berikut adalah parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan MTTF komponen *control console*.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

$$b = \frac{21 \times 43958,13}{21 \times 55520214,44}$$

$$b = 0,0008$$

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

$$a = 0,9586 - (0,0008 \times 1256,6119)$$

$$a = -0,0363$$

$$\lambda = b = 0,0008$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0008} = 1263,0250$$

TTR komponen *control console* memiliki data yang berdistribusi eksponensial. Perhitungan parameter dilakukan dengan menggunakan data pada Tabel 4.22. Berikut adalah beberapa parameter yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan MTTR komponen *control console*.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

$$b = \frac{22 \times 191,49}{22 \times 1005,03}$$

$$b = 0,1905$$

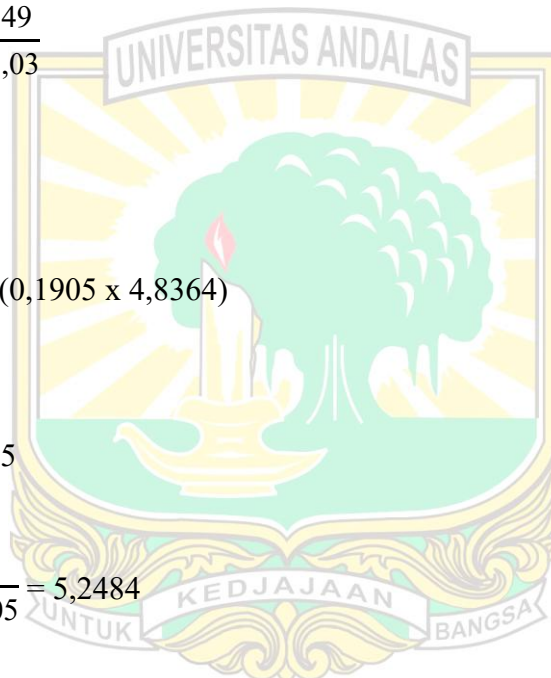
$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$a = 0,9600 - (0,1905 \times 4,8364)$$

$$a = 0,0386$$

$$\lambda = b = 0,1905$$

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,1905} = 5,2484$$



#### 4.5.3.2 MTTF dan MTTR Komponen *Gantry*

Data TTF *gantry* memiliki distribusi Weibull. Perhitungan parameter dilakukan dengan menggunakan data pada Lampiran C.5. Berikut adalah parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan MTTF komponen *gantry*.

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

$$b = \frac{19(-50,11) - (129,10 \times (-10,32))}{19 \times 894,35 - (129,10)^2}$$

$$b = 0,1688$$

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

$$a = (-0,5432) - (0,1688 \times 6,7948)$$

$$a = -8,4849$$

$$\beta = b$$

$$\beta = 0,1688$$

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

$$\theta = e^{(-(-8,4849)/0,1688)}$$

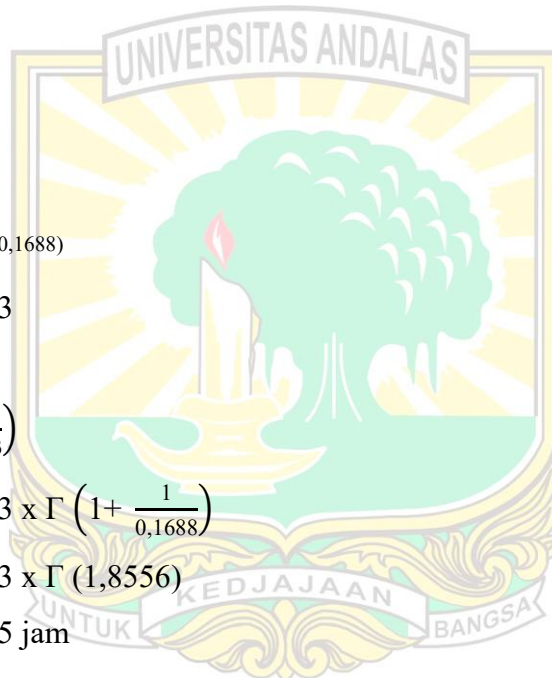
$$\theta = 1421,6683$$

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

$$MTTF = 1421,6683 \times \Gamma \left( 1 + \frac{1}{0,1688} \right)$$

$$MTTF = 1421,6683 \times \Gamma (1,8556)$$

$$MTTF = 1346,7755 \text{ jam}$$



TTR komponen *gantry* memiliki data yang berdistribusi Weibull. Perhitungan parameter dilakukan dengan menggunakan data pada Lampiran C.22. Berikut adalah beberapa parameter yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan MTTR komponen *gantry*.

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

$$b = \frac{20(1,35) - (27,99 \times (-10,89))}{20 \times 50,52 - (27,99)^2}$$

$$b = 1,4602$$

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

$$a = (-0,5445) - (1,4602 \times 1,3993)$$

$$a = -2,5877$$

$$\beta = b$$

$$\beta = 1,4602$$

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

$$\theta = e^{(-(-2,5877)/1,4602)}$$

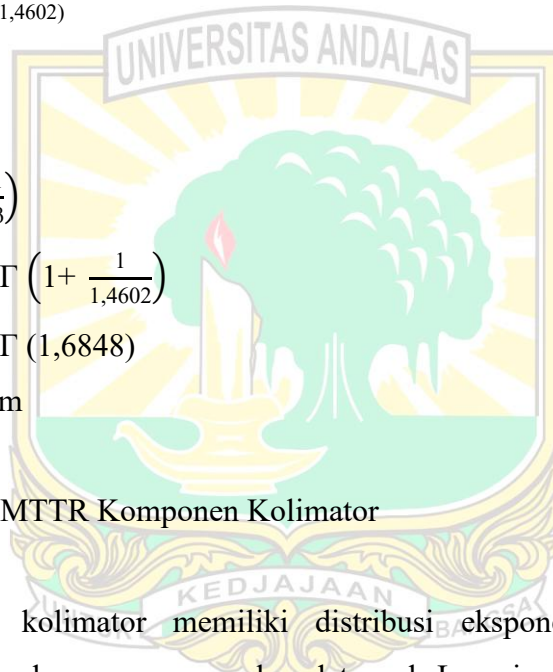
$$\theta = 5,8834$$

$$MTTR = \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$MTTR = 5,8834 \times \Gamma \left( 1 + \frac{1}{1,4602} \right)$$

$$MTTR = 5,8834 \times \Gamma (1,6848)$$

$$MTTR = 5,3295 \text{ jam}$$



#### 4.5.3.3 MTTF dan MTTR Komponen Kolimator

Data TTF kolimator memiliki distribusi eksponensial. Perhitungan parameter dilakukan dengan menggunakan data pada Lampiran C.9. Berikut adalah parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan MTTF komponen kolimator.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

$$b = \frac{20 \times 51359,91}{20 \times 81038132,39}$$

$$b = 0,0006$$

$$\begin{aligned}
 a &= \bar{y} - b\bar{x} \\
 a &= 0,9570 - (0,0006 \times 1478,2517) \\
 a &= 0,0201
 \end{aligned}$$

$$\lambda = b = 0,0006$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0006} = 1577,8480 \text{ jam}$$

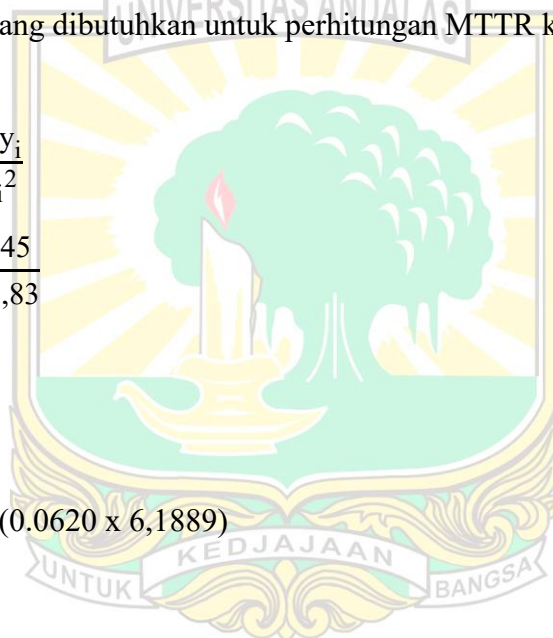
Data TTR kolimator memiliki distribusi Eksponensial. Perhitungan parameter dilakukan dengan menggunakan data pada Lampiran C.25. Berikut adalah parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan MTTR komponen kolimator.

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2} \\
 b &= \frac{21 \times 311,45}{21 \times 5021,83} \\
 b &= 0,0620
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \bar{y} - b\bar{x} \\
 a &= 0,9586 - (0,0620 \times 6,1889) \\
 a &= 0,5748
 \end{aligned}$$

$$\lambda = b = 0,0620$$

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0620} = 16.1242 \text{ jam}$$



#### 4.5.3.4 MTTF dan MTTR Komponen *Shutter*

Data TTF *shutter* memiliki distribusi Weibull. Perhitungan parameter dilakukan dengan menggunakan data pada Lampiran C.13. Berikut adalah parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan MTTF komponen *shutter*.

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

$$b = \frac{16(-46,48) - (113,37 \times (-8,62))}{16 \times 814,29 - (113,37)^2}$$

$$b = 1,3287$$

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

$$a = (-0,5386) - (1,3287 \times 7,0857)$$

$$a = -9,9536$$

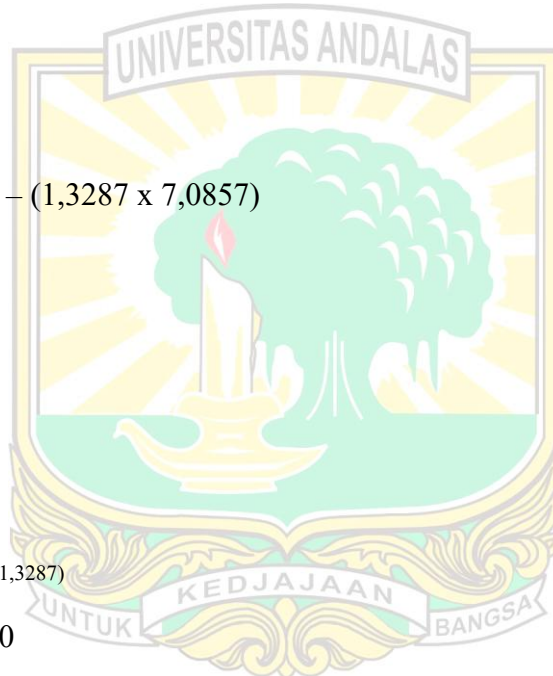
$$\beta = b$$

$$\beta = 1,3287$$

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

$$\theta = e^{(-(-9,9536)/1,3287)}$$

$$\theta = 1791,9760$$



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

$$MTTF = 1791,9760 \times \Gamma \left( 1 + \frac{1}{1,3287} \right)$$

$$MTTF = 1791,9760 \times \Gamma (1,7526)$$

$$MTTF = 1648,0017 \text{ jam}$$

Data TTR *shutter* memiliki distribusi eksponensial. Perhitungan parameter dilakukan dengan menggunakan data pada Lampiran C.29. Berikut adalah parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan MTTR komponen *shutter*.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

$$b = \frac{17 \times 177,00}{17 \times 1344,20}$$

$$b = 0,1317$$

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

$$a = 0,9513 - (0,1317 \times 5,2265)$$

$$a = 0,2631$$

$$\lambda = b = 0,1317$$

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,1317} = 7,5944 \text{ jam}$$

Berikut adalah rekapan nilai MTTF dan MTTR komponen kritis mesin *teletherapy cobalt-60*.

**Tabel 4.34** Hasil Perhitungan MTTF dan MTTR Komponen Kritis

Komponen	MTTF (Jam)	MTTR (Jam)
<i>Control Console</i>	1263,0250	5,2484
<i>Gantry</i>	1346,7755	5,3295
Kolimator	1577,8480	16,1242
<i>Shutter</i>	1648,0017	7,5944

#### 4.6 Interval Component Replacement

Setelah didapatkan nilai MTTF dan MTTR komponen kritis, akan dilakukan perhitungan interval penggantian komponen. Perhitungan interval penggantian komponen dilakukan untuk menentukan interval penggantian komponen yang optimal. Perhitungan dilakukan melalui *trial and error* untuk mendapatkan ekspektasi *downtime* minimum sesuai waktu siklus ( $t_p$ ). Perhitungan ini dilakukan untuk semua komponen kritis, yaitu *control console*, *gantry*, kolimator, dan *shutter*.

#### 4.6.1 Interval Penggantian Komponen *Control Console*

Data TTF komponen *control console* memiliki distribusi eksponensial. Berikut adalah data yang digunakan dalam perhitungan ekspektasi *downtime* sesuai waktu siklus ( $t_p$ ) yang ditetapkan. Data ini didapatkan dari perhitungan MTTF dan MTTR yang telah dibahas sebelumnya.

$$\lambda = 0,0008$$

$$MTTF = 1263,0250$$

$$MTTR = 5,2484$$

$$T_f = T_p = MTTR = 5,2484$$

Berikut adalah perhitungan ekspektasi *downtime* dan interval penggantian komponen *control console* menggunakan metode *trial and error*.

**Tabel 4.35** Hasil Perhitungan Ekspektasi *Downtime Control Console*

$t_p$	$R(t_p)$	$F(t_p)$	$M(t_p)$	$D(t_p)$
1	0,9992	0,0008	1595863,8156	0,004134999834
100	0,9239	0,0761	16592,1672	0,003857273180
1000	0,4531	0,5469	2309,2202	0,003049071536
1100	0,4186	0,5814	2172,2520	0,003036073456
1260	0,3688	0,6312	2000,8685	0,003028681811
1261	0,3685	0,6315	1999,9438	0,003028680523
1262	0,3682	0,6318	1999,0207	0,003028679745
1263	0,3679	0,6321	1998,0992	0,003028679478
1264	0,3676	0,6324	1997,1793	0,003028679720
1265	0,3673	0,6327	1996,2609	0,003028680470
1266	0,3670	0,6330	1995,3442	0,003028681727
1267	0,3667	0,6333	1994,4289	0,003028683491
1268	0,3664	0,6336	1993,5153	0,003028685761
1269	0,3661	0,6339	1992,6032	0,003028688536
1270	0,3659	0,6341	1991,6927	0,003028691815

Tahapan perhitungan ekspektasi *downtime* untuk menentukan interval optimal penggantian komponen *control console* adalah sebagai berikut, jika waktu siklus selama 1263 jam.

$$t_p = 1263 \text{ jam}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$R(1263) = e^{-0,0008 \times 1263}$$

$$R(1263) = 0,3679$$

$$F(t_p) = 1 - R(t_p)$$

$$F(1263) = 1 - 0,3679$$

$$F(1263) = 0,6321$$

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{F(t_p)}$$

$$M(1263) = \frac{1263,0250}{0,6321}$$

$$M(1263) = 1998,0992$$

$$D(t_p) = \frac{T_p R(t_p) + T_f F(t_p)}{(t_p + T_p) R(t_p) + [M(t_p) + T_f] F(t_p)}$$

$$D(1263) = \frac{5,2484 \times 0,3679 + 5,2484 \times 0,6321}{(1263 + 5,2484) \times 0,3679 + [1998,0992 + 5,2484] \times 0,6321}$$

$$D(1263) = 0,003028679478$$

Berdasarkan Tabel 4.36, dapat dilihat bahwa siklus waktu dengan ekspektasi *downtime* terpilih adalah siklus waktu selama 1263 jam. Hal ini dikarenakan siklus waktu tersebut memiliki ekspektasi *downtime* terkecil.

#### 4.6.2 Interval Penggantian Komponen *Gantry*

Data TTF komponen *gantry* memiliki distribusi Weibull. Berikut adalah data yang digunakan dalam perhitungan ekspektasi *downtime* sesuai waktu siklus ( $t_p$ ) yang ditetapkan.

$$\begin{aligned}\beta &= 1,1688 \\ \theta &= 1421,6683 \\ \text{MTTF} &= 1346,7755 \\ \text{MTTR} &= 5,3295 \\ T_f = T_p = \text{MTTR} &= 5,3295\end{aligned}$$

Berikut adalah hasil perhitungan ekspektasi *downtime* dan interval penggantian komponen *gantry* menggunakan metode *trial and error*.

**Tabel 4.36** Hasil Perhitungan *Ekspektasi Downtime Gantry*

$t_p$	$R(t_p)$	$F(t_p)$	$M(t_p)$	$D(t_p)$
1	0,9998	0,0002	6520611,9097	0,00393871220
500	0,7447	0,2553	5274,4029	0,00309057353
1000	0,5154	0,4846	2779,0538	0,00285382781
1100	0,4767	0,5233	2573,4210	0,00284022812
1200	0,4403	0,5597	2406,2982	0,00283411212
1210	0,4368	0,5632	2391,3174	0,00283387014
1220	0,4333	0,5667	2376,6189	0,00283369142
1230	0,4299	0,5701	2362,1952	0,00283357504
1240	0,4264	0,5736	2348,0395	0,00283352008
1241	0,4261	0,5739	2346,6384	0,00283351792
1242	0,4257	0,5743	2345,2399	0,00283351637
1243	0,4254	0,5746	2343,8440	0,00283351543
1244	0,4251	0,5749	2342,4507	0,00283351508
1245	0,4247	0,5753	2341,0600	0,00283351534

Tahapan perhitungan ekspektasi *downtime* untuk menentukan waktu siklus optimal untuk penggantian komponen *gantry* adalah sebagai berikut.

$$t_p = 1244 \text{ jam}$$

$$R(t_p) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

$$R(1244) = e^{-\left(\frac{1244}{142,6683}\right)^{1,1688}}$$

$$R(1244) = 0,4251$$

$$F(t_p) = 1 - R(t_p)$$

$$F(1244) = 1 - 0,4251$$

$$F(1244) = 0,5749$$

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{F(t_p)}$$

$$M(1244) = \frac{1346,7755}{0,5749}$$

$$M(1244) = 2342,4507$$

$$D(t_p) = \frac{T_p R(t_p) + T_f F(t_p)}{(t_p + T_p) R(t_p) + [M(t_p) + T_f] F(t_p)}$$

$$D(1244) = \frac{5,3295 \times 0,4251 + 5,3295 \times 0,5749}{(1244 + 5,3295) \times 0,4251 + [2342,4507 + 5,3295] \times 0,5749}$$

$$D(1244) = 0,00283351508$$

Berdasarkan Tabel 4.37, dapat dilihat bahwa siklus waktu dengan ekspektasi *downtime* terpilih adalah siklus waktu sama dengan 1244 jam. Hal ini dikarenakan siklus waktu tersebut memiliki ekspektasi *downtime* terkecil.

### 4.6.3 Interval Penggantian Komponen Kolimator

Data TTF komponen kolimator memiliki distribusi eksponensial. Berikut adalah data yang digunakan dalam perhitungan ekspektasi *downtime* sesuai waktu siklus ( $t_p$ ) yang ditetapkan.

$$\lambda = 0,0006$$

$$MTTF = 1577,8480$$

$$MTTR = 16,1242$$

$$T_f = T_p = MTTR = 16,1242$$

Berikut adalah hasil perhitungan ekspektasi *downtime* dan interval penggantian komponen kolimator menggunakan metode *trial and error*.

**Tabel 4.37** Hasil Perhitungan *Ekspektasi Downtime* Kolimator

$t_p$	$R(t_p)$	$F(t_p)$	$M(t_p)$	$D(t_p)$
1	0,9994	0,0006	2490393,4271	0,010109412520
100	0,9386	0,0614	25693,3010	0,009553222141
500	0,7284	0,2716	5809,7300	0,008234297655
1000	0,5306	0,4694	3361,3092	0,007589451399
1100	0,4980	0,5020	3143,1334	0,007528444296
1200	0,4674	0,5326	2962,6434	0,007482673924
1300	0,4387	0,5613	2811,1315	0,007450085580
1400	0,4118	0,5882	2682,3769	0,007428965843
1500	0,3865	0,6135	2571,8171	0,007417871142
1570	0,3697	0,6303	2503,3834	0,007415404825
1575	0,3685	0,6315	2498,7461	0,007415383486
1576	0,3683	0,6317	2497,8224	0,007415381616
1577	0,3681	0,6319	2496,9001	0,007415380543
1578	0,3678	0,6322	2495,9789	0,007415380266
1579	0,3676	0,6324	2495,0591	0,007415380784
1580	0,3674	0,6326	2494,1405	0,007415382096

Tahapan perhitungan ekspektasi *downtime* untuk menentukan waktu siklus optimal untuk penggantian komponen kolimator adalah sebagai berikut.

$$t_p = 1578 \text{ jam}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$R(1578) = e^{-0,0006 \times 1578}$$

$$R(1578) = 0,3678$$

$$F(t_p) = 1 - R(t_p)$$

$$F(1578) = 1 - 0,2387$$

$$F(1578) = 0,6322$$

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{F(t_p)}$$

$$M(1578) = \frac{1577,8480}{0,6322}$$

$$M(1578) = 2495,9789$$

$$D(t_p) = \frac{T_p R(t_p) + T_f F(t_p)}{(t_p + T_p) R(t_p) + [M(t_p) + T_f] F(t_p)}$$

$$D(1578) = \frac{16,1242 \times 0,3678 + 16,1242 \times 0,6322}{(1578 + 16,1242) \times 0,3678 + [2495,9789 + 16,1242] \times 0,6322}$$

$$D(1578) = 0,007415380266$$

Berdasarkan Tabel 4.38, dapat dilihat bahwa siklus waktu dengan ekspektasi *downtime* terpilih adalah siklus waktu selama 1578 jam. Hal ini dikarenakan siklus waktu tersebut memiliki ekspektasi *downtime* terkecil.

#### 4.6.4 Interval Penggantian Komponen *Shutter*

Data TTF komponen *shutter* memiliki distribusi Weibull. Berikut adalah data yang digunakan dalam perhitungan ekspektasi *downtime* sesuai waktu siklus ( $t_p$ ) yang ditetapkan.

$$\beta = 1,3287$$

$$\theta = 1791,9760$$

$$MTTF = 1648,0017$$

$$MTTR = 7,5944$$

$$T_f = T_p = MTTR = 7,5944$$

Berikut adalah hasil perhitungan ekspektasi *downtime* dan interval penggantian komponen *shutter* menggunakan metode *trial and error*.

**Tabel 4.38** Hasil Perhitungan *Ekspektasi Downtime Shutter*

$t_p$	$R(t_p)$	$F(t_p)$	$M(t_p)$	$D(t_p)$
1	1,0000	0,0000	34655077,3467	0,0045843382
100	0,9786	0,0214	77087,0538	0,0043310963
1000	0,6309	0,3691	4464,4449	0,0033214694
1100	0,5928	0,4072	4047,3503	0,0032908976
1200	0,5560	0,4440	3711,8915	0,0032694708
1300	0,5206	0,4794	3437,4794	0,0032561163
1400	0,4866	0,5134	3209,8071	0,0032499154
1440	0,4734	0,5266	3129,4309	0,0032492565
1441	0,4731	0,5269	3127,4914	0,0032492526
1442	0,4727	0,5273	3125,5551	0,0032492494
1443	0,4724	0,5276	3123,6221	0,0032492467
1444	0,4721	0,5279	3121,6924	0,0032492447
1445	0,4718	0,5282	3119,7660	0,0032492432
1446	0,4714	0,5286	3117,8428	0,0032492424
1447	0,4711	0,5289	3115,9229	0,0032492422
1448	0,4708	0,5292	3114,0063	0,0032492425
1449	0,4705	0,5295	3112,0929	0,0032492435
1450	0,4701	0,5299	3110,1827	0,0032492451

Tahapan perhitungan ekspektasi *downtime* untuk menentukan waktu siklus optimal untuk penggantian komponen *shutter* adalah sebagai berikut.

$$t_p = 1447 \text{ jam}$$

$$R(t_p) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

$$R(1447) = e^{-\left(\frac{1447}{1791,9760}\right)^{1,3287}}$$

$$R(1447) = 0,4711$$

$$F(t_p) = 1 - R(t_p)$$

$$F(1447) = 1 - 0,4711$$

$$F(1447) = 0,5289$$

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{F(t_p)}$$

$$M(1447) = \frac{1648,0017}{0,5289}$$

$$M(1447) = 3115,9229$$

$$D(t_p) = \frac{T_p R(t_p) + T_f F(t_p)}{(t_p + T_p) R(t_p) + [M(t_p) + T_f] F(t_p)}$$

$$D(1447) = \frac{7,5944 \times 0,4711 + 7,5944 \times 0,5289}{(1447 + 7,5944) \times 0,4711 + [3115,9229 + 7,5944] \times 0,5289}$$

$$D(1447) = 0,0032492422$$

Berdasarkan Tabel 4.39, dapat dilihat bahwa siklus waktu dengan ekspektasi *downtime* terpilih adalah siklus waktu selama 1447 jam. Hal ini dikarenakan siklus waktu tersebut memiliki ekspektasi *downtime* terkecil.

#### 4.7 Frekuensi Inspeksi

Selain dilakukannya penggantian komponen sebagai bentuk *preventive maintenance*, juga perlu dilakukan pengecekan atau inspeksi komponen secara rutin. Frekuensi inspeksi dihitung untuk mengetahui berapa kali dalam periode tertentu inspeksi perlu dilakukan. Berikut adalah tahapan perhitungan frekuensi inspeksi komponen *control console*.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dari Januari 2022 hingga April 2025. Sehingga jumlah periode pengambilan data adalah sebesar 40 bulan. Total frekuensi kerusakan komponen *control console* selama 16 bulan adalah 22 kali. Berdasarkan data tersebut, akan dihitung jumlah kerusakan perbulan (k).

$$\text{Jumlah kerusakan (k)} = \frac{\text{Jumlah Kerusakan}}{\text{Jumlah Periode Data}} = \frac{22}{40} = 0,55 \approx 1$$

Selanjutnya akan dihitung rata-rata waktu perbaikan  $\left(\frac{1}{\mu}\right)$ . Data yang digunakan adalah data MTTR dan data jam kerja mesin selama satu bulan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan MTTR *control console* senilai 5,2484 jam. Mesin *teletherapy cobalt-60* melayani pelayanan darurat setiap hari selama 24 jam. Sehingga mesin ini harus siaga selama 24 jam setiap hari. Oleh karena itu, mesin *teletherapy cobalt-60* memiliki waktu kerja mesin selama 672 jam setiap bulan. Berikut adalah perhitungan rata-rata waktu perbaikan komponen *control console*.

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\text{MTTR}}{\text{Jam Kerja Mesin}} = \frac{5,2484}{672} = 0,0078 \text{ bulan per kerusakan}$$

$$\mu = \frac{1}{1/\mu} = \frac{1}{0,0078} = 128,038 \text{ kerusakan per bulan}$$

Setelah itu, akan dihitung jumlah inspeksi yang bisa dilakukan setiap bulan

(i). Nilai ini akan dihitung melalui waktu rata-rata inspeksi  $\left(\frac{1}{i}\right)$ . Data yang dibutuhkan adalah data jam kerja per bulan dan waktu inspeksi setiap komponen. RS X melakukan inspeksi setiap 6 bulan sebanyak satu kali dengan frekuensi pemeriksaan per komponen kurang lebih 12 menit atau 0,2 jam.

$$\left(\frac{1}{i}\right) = \frac{\text{waktu inspeksi}}{\text{Jam kerja per bulan}} = \frac{0,2}{672} = 0,0003 \text{ bulan per inspeksi}$$

$$i = \frac{1}{1/i} = \frac{1}{0,0003} = 3360 \text{ inspeksi per bulan}$$

Selanjutnya akan dihitung frekuensi inspeksi untuk komponen *control console*.

$$n = \sqrt{\frac{i k}{\mu}} = \sqrt{\frac{3360 \times 0,55}{85,0663}} = 5,1227 \approx 6 \text{ kali}$$

Berikut adalah hasil perhitungan frekuensi inspeksi keseluruhan komponen kritis mesin *teletherapy cobalt-60*.

**Tabel 4.39** Hasil Perhitungan Frekuensi Inspeksi Komponen Kritis

No	Komponen	k	$\left(\frac{1}{\mu}\right)$	$\mu$	$\left(\frac{1}{i}\right)$	i	n
1	<i>Control Console</i>	1	0,00781	128,038	0,0003	3360	6
2	<i>Gantry</i>	1	0,00793	126,091	0,0003	3360	6
3	Kolimator	1	0,02399	41,6764	0,0003	3360	9
4	<i>Shutter</i>	1	0,0113	88,4863	0,0003	3360	7

#### 4.8 Availability

Perhitungan *availability* ditujukan untuk mengetahui persentase waktu komponen dapat beroperasi atau ketersediaan komponen untuk beroperasi. Nilai *availability* yang akan dihitung adalah *availability* setelah penerapan inspeksi, *availability* penerapan penggantian komponen, dan *availability* total. Data yang digunakan adalah data jumlah kerusakan per periode, jumlah kerusakan komponen per bulan, jumlah inspeksi per periode, dan data ekspektasi *downtime* yang didapatkan pada perhitungan sebelumnya. Berikut adalah contoh perhitungan *availability* komponen *control console*.

$$\begin{aligned}
 k &= 1 \\
 \mu &= 128,0380 \\
 i &= 3360 \\
 n &= 6
 \end{aligned}$$

Selanjutnya akan dihitung ekspektasi *downtime* ketika dilakukannya inspeksi sesuai frekuensi yang telah dihitung sebelumnya untuk mendapatkan nilai *availability* inspeksi.

$$D_{n(\text{inspeksi})} = \frac{k}{n \mu} + \frac{n}{i}$$

$$D_{n(\text{inspeksi})} = \frac{1}{6 \times 128,0380} + \frac{5}{3360}$$

$$D_{n(\text{inspeksi})} = 0,0031$$

$$A_i = 1 - D_{n(\text{inspeksi})}$$

$$A_i = 1 - 0,0031$$

$$A_i = 0,9969$$

Selanjutnya akan dihitung nilai *availability* penggantian komponen. Didapatkan sebelumnya bahwa nilai ekspektasi *downtime* komponen *control console* adalah sebesar 0,003028679478.

$$A_r = 1 - D_n$$

$$A_r = 1 - 0,003028679478$$

$$A_r = 0,9970$$

Setelah didapatkan nilai *availability* inspeksi dan *availability* penggantian komponen, akan dihitung *availability* total dengan cara sebagai berikut.

$$A_{\text{total}} = A_i \times A_r$$

$$A_{\text{total}} = 0,9969 \times 0,99720$$

$$A_{\text{total}} = 0,9939$$

$$A_{\text{total}} = 99,39\%$$

Berikut adalah hasil perhitungan *availability* inspeksi ( $A_i$ ), *availability* penggantian komponen ( $A_r$ ) dan *availability* total ( $A_t$ ) setiap komponen kritis.

**Tabel 4.40** Hasil Perhitungan *Availability* Komponen Kritis

Komponen	k	$\mu$	i	n	$D_n$ (inspeksi)	$A_i$	$A_r$	$A_{\text{total}}$
<i>Control Console</i>	1	128,0380	3360	6	0,0031	0,9969	0,9970	99,39%
<i>Gantry</i>	1	126,0909	3360	6	0,0031	0,9969	0,9972	99,41%
Kolimator	1	41,6764	3360	9	0,0053	0,9947	0,9926	98,73%
<i>Shutter</i>	1	88,4863	3360	7	0,0037	0,9963	0,9968	99,31%

#### 4.9 Reliability

Perhitungan *reliability* ditujukan untuk menghitung keandalan mesin sebelum dan sesudah dilakukannya penggantian komponen. *Reliability* akan dihitung setiap pergantian komponen dilakukan berdasarkan hasil perhitungan interval penggantian komponen pada pembahasan sebelumnya. Berikut adalah contoh perhitungan *reliability* pada komponen *control console*. Data yang diperlukan untuk perhitungan ini adalah parameter dan waktu siklus penggantian ( $T_p$ ) terpilih yang telah dihitung pada pembahasan sebelumnya.

$$\lambda = 0,0008$$

$$T_p = 1263$$

Kemudian akan dihitung nilai *reliability* tanpa dilakukan pergantian komponen ( $R(t)$ ). Berikut akan dihitung  $R(t)$  untuk  $t = 1500$  jam.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$R(1500) = e^{-0,0008 \times 1500}$$

$$R(1500) = 0,3049$$

Kemudian akan dihitung *reliability* dengan dilakukannya penggantian komponen. Diketahui bahwa interval penggantian komponen *control console* adalah setiap 1263 jam. Jika  $t = 1500$ , maka telah dilakukan penggantian komponen sebanyak satu kali ( $n = 1$ ).

$$T_p = 1263$$

$$n = 1$$

$$t - nT_p = 1500 - (1 \times 1263) = 237$$

$$R(t - nT) = R(237)$$

$$R(237) = e^{-0,0008 \times 237}$$

$$R(237) = 0,8289$$

Berikut adalah hasil perhitungan *reliability* komponen *control console* pada beberapa siklus waktu.

**Tabel 4.41** Hasil Perhitungan *Reliability Control Console*

t	n	R(t)	R(t-nT)
500	0	0,6731	0,6731
1000	0	0,4531	0,4531
1263	1	0,3679	1
1500	1	0,3049	0,8289
2000	1	0,2053	0,5579
2526	2	0,1353	1
3000	2	0,0930	0,6871
3500	2	0,0626	0,4625
3789	3	0,0498	1
4000	3	0,0421	0,8461
5000	3	0,0191	0,3833

Hasil perhitungan *reliability* komponen *gantry*, kolimator, dan *shutter* dapat dilihat pada Lampiran F. Berikut adalah rekapan *reliability* komponen pada saat pertama kali dilakukannya penggantian komponen.

**Tabel 4.42** Rekapan *Reliability* Komponen Kritis Mesin *Teletherapy Cobalt-60*

No	Komponen	Waktu Siklus Pertama Kali Dilakukan Penggantian (jam ke-)	R(t)	R(t-nT)
1	<i>Control Console</i>	1263	0,3679	1
2	<i>Gantry</i>	1244	0,4251	1
3	Kolimator	1578	0,3678	1
4	<i>Shutter</i>	1447	0,4711	1

#### 4.10 Perbandingan Biaya Sebelum dan Setelah Penerapan Interval Penggantian Komponen

Perhitungan biaya ditujukan untuk mengetahui perbedaan biaya sebelum dan setelah dilakukannya penggantian komponen sesuai dengan hasil perhitungan interval penggantian komponen. Biaya dengan penerapan penggantian komponen akan dihitung berdasarkan data MTTR, biaya *spare-part*, biaya tenaga kerja, dan interval penggantian komponen (Mascolo et al., 2025). Berikut adalah contoh perhitungan biaya penggantian komponen *control console*. Diketahui bahwa *control console* akan diganti setiap 1263 jam atau setiap 52 hari. Harga *spare-part control console* mesin *teletherapy cobalt-60* diperkirakan sesuai kisaran harga pasar yaitu Rp80.000.000 (Medis, 2026). Biaya pelayanan terapi di rumah sakit X padang adalah Rp1.800.000 per sesi tindakan dengan waktu standar selama 25 menit per sesi.

Selanjutnya akan dihitung biaya tenaga kerja *maintenance*. Gaji tenaga kerja atau teknisi rumah sakit dengan status Pegawai Negeri Sipil (PNS) adalah Rp6.800.000 per bulan dengan waktu kerja standar 8 jam per hari atau 160 jam per bulan (Republik Indonesia, 2024). Sehingga didapatkan biaya tenaga kerja perbaikan mesin *teletherapy cobalt-60* adalah sebesar Rp42.500 per jam. Dengan durasi penggantian komponen menggunakan nilai MTTR komponen *control console* yang sudah dihitung pada pembahasan sebelumnya.

Biaya TK = MTTR x Biaya TK per jam

Biaya TK = 5,2484 jam x Rp42.500 per jam

Biaya TK = Rp223.059

Kemudian akan dihitung biaya akibat hilangnya pasien karena *downtime*. Data yang dibutuhkan adalah data MTTR dan data durasi pelayanan, dan biaya pelayanan terapi dengan mesin *teletherapy cobalt-60*.

$$\text{Pasien hilang karena } downtime = \frac{MTTR}{\text{Durasi pelayanan}}$$

$$\text{Pasien hilang karena } downtime = \frac{314,9065 \text{ menit}}{25 \text{ menit per pasien}}$$

$$\text{Pasien hilang karena } downtime = 12,596 \approx 12 \text{ orang}$$

$$\text{Biaya } downtime = \text{Pasien hilang karena } downtime \times \text{Biaya pelayanan per sesi}$$

$$\text{Biaya } downtime = 12 \times \text{Rp}1.800.000$$

$$\text{Biaya } downtime = \text{Rp}21.600.000$$

Kemudian akan dihitung total biaya dengan menjumlahkan biaya *spare-part*, biaya tenaga kerja dan biaya *downtime*.

$$\text{Total Biaya} = \text{Biaya } Spare\text{-part} + \text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya } Downtime$$

$$\text{Total Biaya} = \text{Rp}80.000.000 + \text{Rp}223.059 + \text{Rp}21.600.000$$

$$\text{Total Biaya} = \text{Rp}101.823.059$$

Perhitungan biaya akan dilakukan untuk satu tahun sesuai dengan interval penggantian komponen. Sebagai contoh komponen *control console* akan diganti setiap 52 hari, sehingga biaya akan dihitung untuk penggantian komponen *control console* pada bulan ke 2, ke-4, ke-6, ke-9, dan ke-11. Berikut adalah hasil perhitungan biaya penggantian komponen selama satu tahun.

**Tabel 4.43** Hasil Perhitungan Biaya Penggantian Komponen Sesuai Interval

<b>Periode</b>	<b>Komponen</b>	<b>Biaya Spare-Part</b>	<b>Biaya TK</b>	<b>Biaya Downtime</b>	<b>Total Biaya</b>
1	-	Rp0	Rp0	Rp0	Rp0
2	CC	Rp80.000.000	Rp223.059	Rp21.600.000	Rp101.823.059
	G	Rp100.000.000	Rp226.503	Rp21.600.000	Rp121.826.503
3	K	Rp40.000.000	Rp685.280	Rp68.400.000	Rp109.085.280
	S	Rp30.000.000	Rp322.762	Rp32.400.000	Rp62.722.762
4	CC	Rp80.000.000	Rp223.059	Rp21.600.000	Rp101.823.059
	G	Rp100.000.000	Rp226.503	Rp21.600.000	Rp121.826.503
5	K	Rp40.000.000	Rp685.280	Rp68.400.000	Rp109.085.280
	S	Rp30.000.000	Rp322.762	Rp32.400.000	Rp62.722.762
6	CC	Rp80.000.000	Rp223.059	Rp21.600.000	Rp101.823.059
	G	Rp100.000.000	Rp226.503	Rp21.600.000	Rp121.826.503
	S	Rp30.000.000	Rp322.762	Rp32.400.000	Rp62.722.762
7	CC	Rp80.000.000	Rp223.059	Rp21.600.000	Rp101.823.059
	G	Rp100.000.000	Rp226.503	Rp21.600.000	Rp121.826.503
	K	Rp40.000.000	Rp685.280	Rp68.400.000	Rp109.085.280
8	S	Rp30.000.000	Rp322.762	Rp32.400.000	Rp62.722.762
9	CC	Rp80.000.000	Rp223.059	Rp21.600.000	Rp101.823.059
	G	Rp100.000.000	Rp226.503	Rp21.600.000	Rp121.826.503
	K	Rp40.000.000	Rp685.280	Rp68.400.000	Rp109.085.280
10	S	Rp30.000.000	Rp322.762	Rp32.400.000	Rp62.722.762
11	CC	Rp80.000.000	Rp223.059	Rp21.600.000	Rp101.823.059
	G	Rp100.000.000	Rp226.503	Rp21.600.000	Rp121.826.503
	K	Rp40.000.000	Rp685.280	Rp68.400.000	Rp109.085.280
12	G	Rp100.000.000	Rp226.503	Rp21.600.000	Rp121.826.503
	S	Rp30.000.000	Rp322.762	Rp32.400.000	Rp62.722.762
<b>Total Biaya</b>					<b>Rp2.385.486.845</b>

Kemudian juga akan dilakukan perhitungan biaya *maintenance* tanpa penerapan penggantian komponen sesuai interval penggantian. Data *downtime* yang digunakan sebagai pembanding adalah data pada tahun 2022. Berikut adalah hasil perhitungan biaya *maintenance* seluruh komponen.

**Tabel 4.44** Perhitungan Biaya Penggantian Komponen dengan *Corrective Maintenance*

Komponen	F	Biaya Spare-Part	Biaya Tenaga Kerja	Biaya Downtime	Total Cost
CC	10	Rp800.000.000	Rp2.230.588	Rp216.000.000	Rp1.018.230.588
G	7	Rp700.000.000	Rp1.585.523	Rp151.200.000	Rp852.785.523
K	7	Rp280.000.000	Rp4.796.957	Rp478.800.000	Rp763.596.957
S	6	Rp180.000.000	Rp1.936.571	Rp194.400.000	Rp376.336.571
<b>Total Cost</b>					<b>Rp3.010.949.640</b>

Berdasarkan hasil perhitungan biaya, dapat dilihat bahwa selain meningkatkan *reliability* mesin, penerapan penggantian komponen sesuai interval dapat mengurangi biaya *maintenance*. Biaya *maintenance* yang awalnya sebesar Rp3.010.949.640 dapat berkurang menjadi Rp2.385.486.845.

