Bab 4
Pengumpulan dan Pengolahan Data

4.1. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data ini, peneliti mengumpulkan dua tipe data yaitu data umum perusahaan dan data untuk pengolahan yang sesuai dengan topik Tugas Akhir yaitu perawatan keandalan suku cadang kritis.

4.1.1. Data Umum Perusahaan

4.1.1.1. Sejarah Perusahaan

PT. Suryaputra Adipradana (Bus Pariwisata Bandung, Cirebon dan Jakarta) didirikan pada tahun 1996 sebagai anak perusahaan dari PT. Suryaputra Sarana, *authorized dealer* Mitsubishi sejak tahun 1980. PT. Suryaputra Adipradana Bus Pariwisata Bandung dan Jakarta) melayani jasa transportasi Bus Pariwisata di wilayah Pulau Jawa, Bali, Lombok dan Sumatera, dengan armada 70+ unit dengan *class* berbeda setiap unitnya, yang terdiri dari Bus besar (Bus *Standard*, Bus *Deluxe*, Bus *Executive* dan Bus *Premium*), Bus medium (Bus *Standard*, Bus *Deluxe*, Bus *Executive* dan Bus *Premium*), Bus mikro / Van (*Unit Standard* dan *Executive*), Unit *Commuter* (*Executive*) dan Avanza *(New Avanza*). Kehadiran armada bus Suryaputra diharapkan dapat memfasilitasi pertumbuhan kebutuhan jasa transportasi pariwisata di Indonesia pada umumnya, serta mendukung program pemerintah dalam memajukan sektor Pariwisata Nasional.

Manajemen Bus Pariwisata Suryaputra selalu menambah jumlah unit bus baru setiap tahunnya dan selalu aktif secara internal dalam pelatihan *crew*, *assisten*, mekanik, dan *team supporting* lain demi menjaga pelayanan terbaik bagi pelanggan, dan hasil dari upaya tersebut PT. Suryaputra Adipradana mendapat Piagam Penghargaan dari Kementrian Perhubungan (KEMENHUB) sebagai perusahaan

angkutan bus pariwisata dengan pelayanan terbaik tahun 2013/2014. (Web Resmi PT. Suryaputra Adipradana)

4.1.1.2. Visi dan Misi Perusahaan

Suryaputra hadir untuk menciptakan pertumbuhan yang berkelanjutan bagi semua, kami berupaya untuk selalu meningkatkan kinerja kami, sehingga dapat memberikan pelayanan yang terbaik bagi pelanggan, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing, dengan mengedepankan keselamatan dan kenyamanan dalam berkendaraan, demi menjaga loyalitas pelanggan dan menciptakan nilai tambah bagi Suryaputra dan seluruh pelanggan.

4.1.2. Data Untuk Pengolahan

4.1.2.1. Data Komponen Kritis

Dalam penelitian ini data kerusakan suku cadang bus medium diambil selama 3 tahun yaitu dari bulan Januari 2014 sampai Desember 2016. Penentuan untuk komponen kritis ini sendiri didasarkan pada harga suku cadang terbesar. Berikut ini adalah tabel nama komponen, jumlah kerusakan dan harga pada suku cadang bus.

Tabel 4.1 Nama suku cadang, frekuensi kerusakan dan harga suku cadang

No	Suku Cadang	Frekuensi Kerusakan (3 Tahun)	Harga Suku Cadang
1	*Axle & Differential*	9	Rp. 2.675.000
2	*Engine Block*	4	Rp. 2.350.000
3	*Piston*	5	Rp. 489.400
4	*Electrical*	5	Rp. 1.389.600
5	Transmisi	7	Rp. 290.000
6	Suspensi	6	Rp. 1.100.000
7	Kampas Rem Depan	13	Rp. 36.000
8	Kampas Rem Belakang	16	Rp. 54.000
9	*Disc Clutch & Booster System*	9	Rp. 2.100.000
10	Komponen Pendingin	6	Rp. 2.286.500
11	*Fuel Filter*	5	Rp. 283.000
12	*Steering*	6	Rp. 1.350.000

Pada tabel 4.2 merupakan biaya total pergantian dari masing-masing suku cadang seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.2 Biaya harga penggantian dari masing-masing suku cadang

No	Suku Cadang	Frekuensi Kerusakan (3 Tahun)	Harga Suku Cadang	Total Harga
1	*Axle & Differential*	9	Rp. 2.675.000	Rp. 24.075.000
2	*Engine Block*	4	Rp. 2.350.000	Rp. 9.400.000
3	*Piston*	5	Rp. 489.400	Rp. 2.447.000
4	*Electrical*	5	Rp. 1.389.600	Rp. 6.948.000
5	Transmisi	7	Rp. 290.000	Rp. 2.030.000
6	Suspensi	6	Rp. 1.100.000	Rp. 6.600.000
7	Kampas Rem Depan	11	Rp. 36.000	Rp. 396.000
8	Kampas Rem Belakang	12	Rp. 54.000	Rp. 648.000
9	*Disc Clutch & Booster System*	5	Rp. 2.100.000	Rp. 10.500.000
10	Komponen Pendingin	6	Rp. 2.286.500	Rp. 13.719.000
11	*Fuel Filter*	5	Rp. 283.000	Rp. 1.415.000
12	*Steering*	6	Rp. 1.350.000	Rp. 8.100.000
Total Biaya				**Rp. 86.278.000**

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa suku cadang *axle & differential* memiliki harga termahal. Maka dari itu suku cadang ini merupakan komponen kritis.

4.1.2.2. Data Waktu Kerusakan

Data waktu kerusakan diambil dari waktu *time to repair* (TTR) dan *time to failure* (TTF), dimana pada tabel 4.3 data TTR diambil dari waktu lamanya perbaikan hingga selesai perbaikan dan mesin dapat berfungsi kembali.

Tabel 4.3 Data *time to repair* (TTR) suku cadang *axle & differential*

No	Tanggal	Waktu Mulai	Waktu Selesai	*Downtime* (jam)	TTR (Jam)
1	13-03-2014	10:00	12:30	2,30	2,30
2	09-08-2014	09:20	14:15	5,05	5,05
3	17-10-2014	14:00	17:30	3,30	3,30
4	22-12-2014	13:00	16:00	3,00	3,00
5	13-05-2015	08:20	10:30	2,50	2,50
6	12-09-2015	09:15	11:30	2,15	2,15
7	08-01-2016	08:15	12:00	4,15	4,15
8	01-08-2016	11:00	16:20	5,20	5,20
9	17-12-2016	09:00	12:15	3,15	3,15

Sedangkan pada data *time to failure* (TTF) diambil dari waktu kerusakan awal yang telah diperbaiki hingga terjadi kerusakan berikutnya, data ini diambil dari selisih jarak (km) bus setiap melakukan perawatan dengan asumsi rata-rata kecepatan bus adalah 50 km/jam, maka didapatkan hasil seperti pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data *time to failure* (TTF) suku cadang *axle & differential*

No	Tanggal	KM	TTF (Jam)
1	13-03-2014	0	0
2	09-08-2014	13690	274
3	17-10-2014	13894	278
4	22-12-2014	9942	199
5	13-05-2015	17109	342
6	12-09-2015	19227	385
7	08-01-2016	5412	108
8	01-08-2016	10060	201
9	17-12-2016	6348	127

4.2. Pengolahan Data

4.2.1. Perhitungan *Index Of fit Time to Failure* (TTF) Suku Cadang *Axle & Differential*

Perhitungan *index of fit* dilakukan untuk menentukan distribusi yang nantinya akan digunakan untuk melakukan perhitungan dan menentukan rumus *mean time to failure* (MTTF). Terdapat 4 distribusi yang dipakai dalam menentukan *index of fit*, yaitu distribusi *Weibull*, *Normal*, *Lognormal* dan *Eksponensial*.

4.2.1.1. Distribusi Weibull

Tabel 4.5 Perhitungan *index of fit* berdasarkan distribusi weibull data waktu *time to failure* (TTF) suku cadang *axle & differential*

i	t_i	$x_{i=(\ln t_i)}$	$F(t_i)$	y_i	$x_i . y_i$	x_i^2	y_i^2
1	274	5,612	0,083	-2,442	-13,7039	31,499	5,962
2	278	5,627	0,202	-1,487	-8,3658	31,665	2,210
3	199	5,293	0,321	-0,947	-5,0139	28,011	0,897
4	342	5,835	0,440	-0,544	-3,1719	34,051	0,295
5	385	5,952	0,560	-0,199	-1,1819	35,427	0,039
6	108	4,684	0,679	0,127	0,5931	21,943	0,016
7	201	5,304	0,798	0,469	2,4851	28,136	0,219
8	127	4,844	0,917	0,910	4,4091	23,463	0,829
∑	**1.914**	**43,152**	**4**	**-4,113**	**-23,950**	**234,195**	**10,469**

Berikut merupakan contoh perhitungan i = 1 dari distribusi *Weibull*:

a. $x_i = \ln (t_i)$

x_i = ln (t_i)

= ln (274)

= 5,612

b. $F(t_i)$ = (i – 0,3) / (n + 0,4)

$F(t_i)$ = (1 – 0,3) / (8 + 0,4)

= 0,083

c. $y_i = ln\left(ln\left(\frac{1}{1-(F(t_i)}\right)\right)$

$y_i = ln\left(ln\left(\frac{1}{1-0,083}\right)\right)$

= -2,442

d. Nilai *index of fi*t :

$$r_{weibull} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i.y_i-\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sqrt{\left(n\left(\sum_{i=1}^{n} xi^2-\left(\sum_{i=1}^{n} xi\right)^2\right)-\left(n\sum_{i=1}^{n} yi^2-\left(\sum_{i=1}^{n} yi\right)^2\right)\right.}}$$

$$= \frac{8(-23,950)-(43,152)(-4,113)}{\sqrt{(8(234,195)-(43152)(8(10,469)-(-4.113)^2)}}$$

= - 0,062

4.2.1.2. Distribusi Normal

Tabel 4.6 Perhitungan *index of fit* berdasarkan distribusi normal data waktu *time to failure* (TTF) suku cadang *axle & differential*

i	**t_i**	**x_i**	**$F(t_i)$**	**z_i**	**$x_i . z_i$**	**x_i^2**	**z_i^2**
1	274	274	0,083	-0,835	-228,623	74966	0,6972
2	278	278	0,202	-0,476	-132,271	77217	0,2266
3	199	199	0,321	-0,150	-29,826	39537	0,0225
4	342	342	0,440	0,000	0,000	117087	0,0000
5	385	385	0,560	0,150	57,681	147871	0,0225
6	108	108	0,679	0,476	51,522	11716	0,2266
7	201	201	0,798	0,835	168,002	40481	0,6972
8	127	127	0,917	1,385	175,840	16119	1,9182
Σ	**1913,64**	**1913,64**	**4,000**	**1,385**	**62,325**	**524995**	**3,811**

Berikut merupakan contoh perhitungan i = 1 dari distribusi Normal:

a. x_i = t_i

x_i = 274

b. $F(t_i)$ = (i – 0,03) / (n + 0,4)

$F(t_i)$ = (1 – 0,03) / (8 + 0,4)

= 0,083

c. z_i = ϕ^{-1} [$F(t_i)$]

z_i = ϕ^{-1} (0,083)

= -1,385

d. Nilai *index of fit* :

$$r_{normal} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i.z_i-(\sum_{i=1}^{n} x_i)(\sum_{i=1}^{n} z_i)}{\sqrt{(n(\sum_{i=1}^{n} xi^2-(\sum_{i=1}^{n} xi)^2)(n\sum_{i=1}^{n} zi^2-(\sum_{i=1}^{n} zi)^2)}}$$

$$= \frac{8(-304,173)-(1913.64)(0)}{\sqrt{(8(524995)-(1913,64)(8(5,729)-(0)^2)}}$$

= - 0,072

4.2.1.3. Distribusi Lognormal

Tabel 4.7 Perhitungan *index of fit* berdasarkan distribusi lognormal data waktu *time to failure* (TTF) suku cadang *axle & differential*

i	**t_i**	**$x_{i=(\ln t_i)}$**	**$F(t_i)$**	**z_i**	**$x_i . z_i$**	**x_i^2**	**z_i^2**
1	274	5,612	0,083	-1,385	0,468	31,499	1,918
2	278	5,627	0,202	-0,835	1,139	31,665	0,697
3	199	5,293	0,321	-0,476	1,701	28,011	0,227
4	342	5,835	0,440	-0,150	2,570	34,051	0,023
5	385	5,952	0,560	0,150	3,330	35,427	0,023
6	108	4,684	0,679	0,476	3,179	21,943	0,227
7	201	5,304	0,798	0,835	4,231	28,136	0,697
8	127	4,844	0,917	1,385	4,440	23,463	1,918
∑	**1913,64**	**43,152**	**4,000**	**0,000**	**21,058**	**234,195**	**5,729**

Berikut merupakan contoh perhitungan i = 1 dari distribusi Lognormal:

a. x_i = ln (t_i)

x_i = ln (t_i)

= ln (274)

$= 5{,}612$

b. $F(t_i) = (i - 0{,}3) / (n + 0{,}4)$

$F(t_i) = (1 - 0{,}3) / (8 + 0{,}4)$

$= 0{,}083$

c. $z_i = \phi^{-1}[F(t_i)]$

$z_i = \phi^{-1}(0{,}083)$

$= -1{,}385$

d. Nilai *index of fi*t :

$$r_{lognormal} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i.z_i - (\sum_{i=1}^{n} x_i)(\sum_{i=1}^{n} z_i)}{\sqrt{(n(\sum_{i=1}^{n} xi^2 - (\sum_{i=1}^{n} xi)^2)(n\sum_{i=1}^{n} zi^2 - (\sum_{i=1}^{n} zi)^2)}}$$

$$= \frac{8(21{,}058) - (43{,}152)(0)}{\sqrt{(8(234{,}195) - (44{,}152)^2 - (8(5{,}729) - (0)^2)}}$$

$= 0{,}735$

4.2.1.4. Distribusi Eksponensial

Tabel 4.8 Perhitungan *index of fit* berdasarkan distribusi eksponensial data waktu *time to failure* (TTF) suku cadang *axle & differential*

i	t_i	x_i	$F(t_i)$	y_i	$x_i . y_i$	x_i^2	y_i^2
1	274	274	0,083	-0,087	-23,824	74.966	0,008
2	278	278	0,202	-0,226	-62,835	77.217	0,051
3	199	199	0,321	-0,388	-77,103	39.537	0,150
4	342	342	0,440	-0,581	-198,693	117.087	0,337
5	385	385	0,560	-0,820	-315,284	147.871	0,672
6	108	108	0,679	-1,135	-122,850	11.716	1,288
7	201	201	0,798	-1,598	-321,438	40.481	2,552
8	127	127	0,917	-2,485	-315,484	16.119	6,175
∑	**1.913,640**	**1.913,640**	**4,000**	**-7,319**	**-1.437,511**	**524.995,423**	**11,234**

Berikut merupakan contoh perhitungan i = 1 dari distribusi Eksponensial:

a. $x_i = t_i$

$x_i = 274$

b. $F(t_i) = (i - 0{,}03) / (n + 0{,}4)$

$F(t_i) = (1 - 0{,}03) / (8 + 0{,}4)$

$= 0{,}083$

c. $y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(ti)}\right)$

$y_i = ln\left(\frac{1}{1-0{,}083}\right)$

$= 0{,}094$

d. Nilai *index of fit* :

$$r_{eksponensial} = \frac{n(\sum_{i=1}^{n} x_i.z_i - (\sum_{i=1}^{n} x_i)(\sum_{i=1}^{n} z_i)}{\sqrt{(n(\sum_{i=1}^{n} xi^2 - (\sum_{i=1}^{n} xi)^2)(n\sum_{i=1}^{n} zi^2 - (\sum_{i=1}^{n} zi)^2)}}$$

$$= \frac{8(-1437{,}551) - (1913{,}640)(-7{,}319)}{\sqrt{(8(524995{,}432) - (1913{,}640)(8(11{,}234) - (-7{,}319)^2)}}$$

$= 0{,}094$

Setelah dilakukan perhitungan terhadap nilai *index of fit* keempat distribusi tersebut maka distribusi yang terpilih adalah distribusi **Lognormal**, karena memiliki nilai terbesar dari distribusi lainnya yaitu sebesar 0,735. Sehingga rumus parameter yang digunakan untuk melakukan perhitungan MTTF dari distribusi Lognormal adalah:

MTTF = $t\ med.\ e^{\frac{s^2}{2}}$

4.2.2. Pengujian *Goodness of Fit Test* Distribusi Lognormal pada Data *Time to Failure* (TTF) Suku Cadang *Axle & Differential*

Goodness of fit tes ini dilakukan berdasarkan nilai *index of fit* terbesar di mana distribusi yang terpilih adalah distribusi log normal dan dimaksudkan untuk mengetahui apakah data yang ada telah membentuk suatu distribusi tertentu. Kemudian membandingkan Hipotesa nol (H_0) dan Hipotesa alternatif (H_1) di mana H_0 menyatakan data mengikuti distribusi terpilih dan H_1 data tidak mengikuti distribusi pilihan. Berikut merupakan hipotesis dari distribusi normal:

Karena distribusi lognormal memiliki *index of fit* terbesar, maka pengujian dilakukan menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov* dengan selang kepercayaan 95% sehingga α = 0,05. Berikut contoh perhitungan dari distribusi lognormal seperti pada tabel 4.9.

Dimana:

H_0 : Data waktu TTF suku cadang *Axle & Differential* berdistribusi lognormal

H_1 : Data waktu TTF suku cadang *Axle & Differential* tidak berdistribusi lognormal

α : 0,05

Tabel 4.9 Uji *goodness of fit* distribusi log normal data waktu *time to failure* (TTF) suku cadang *axle & differential*

i	ti	xi = ln ti	ln ti - μ	(ln ti - μ)^2	(ln ti - μ)/s	(i-l)/n	i/n	C	D_1	D_2
1	108	4,684	-0,710	0,504	-1,57	0,000	0,125	0,0582	0,058	0,067
2	127	4,844	-0,550	0,303	-1,22	0,125	0,250	0,1112	-0,014	0,139
3	199	5,293	-0,101	0,010	-0,22	0,250	0,375	0,4219	0,172	-0,047
4	201	5,304	-0,090	0,008	-0,20	0,375	0,500	0,4207	0,046	0,079
5	274	5,612	0,218	0,048	0,48	0,500	0,625	0,6844	0,184	-0,059
6	278	5,627	0,233	0,054	0,52	0,625	0,750	0,6985	0,074	0,052
7	342	5,835	0,441	0,195	0,98	0,750	0,875	0,8365	0,087	0,039
8	385	5,952	0,558	0,311	1,23	0,875	1,000	0,8907	0,016	0,109
∑	1913,64	43,152	0,00	1,433	0,00	4	5	4,12	0,622	0,378

Berikut merupakan contoh perhitungan parameter i = 1 distribusi lognormal :

- x_i = ln (t_i)
  = ln (108)
  = 4,684
- $\bar{t}$ = $\sum_{i=1}^{n} \frac{\ln ti}{n}$
  = $\frac{43,152}{8}$
  = 5,394
- s = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\ln ti - \bar{t})^2}{n-1}}$

$$= \sqrt{\frac{1{,}433}{7}}$$

$$= 0{,}452$$

- Probabilitas Kumulatif $= \Phi\left(\frac{\ln ti - \bar{t}}{s}\right)$

  $= \Phi\,(-1{,}57)$

  = 0,0582 (nilai diperoleh dari tabel sebaran kumulatif distribusi z)

- D_1 (i) $= \left(\Phi\left(\frac{\ln ti - \bar{t}}{s}\right) - \frac{i-1}{n}\right)$

  = (0,0582– 0)

  = 0,058

- D_2 (i) $= \left(\frac{i}{n} - \Phi\left(\frac{\ln ti - \bar{t}}{s}\right)\right)$

  = (0,125 – 0,0582)

  = 0,067

Dimana: $\bar{t}$ = rata-rata data waktu kerusakan

D_1 = Uji statistik distribusi ke-1

D_2 = Uji statistik distribusi ke-2

n = Jumlah data

s = Standar deviasi

Setelah dilakukan perhitungan maka nilai terbesarlah yang diambil, dari tabel 4.9 dapat dilihat nilai Uji statistik D_1 dan D_2 nilai yang terbesarnya adalah 0,184 dan $D_{0,05,\ 8}$ = 0,454, nilai ini diperoleh dari tabel nilai kritis untuk Uji Normalitas *Kolmogorov Smirnov* (tabel ada pada lampiran). Sehingga:

$D_{hitung} < D_{tabel}$

0,184 < 0,430, maka dapat disimpulkan H_0 diterima dan H_1 ditolak, maka data waktu *Time To Failure* (TTF) pada suku cadang *axle & differential* berdistribusi lognormal.

4.2.3. Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) Suku Cadang *Axle & Differential*

Setelah dilakukan *Goodness of fit test* untuk mengetahui apakah data telah sesuai dengan distribusi terpilih, selanjutnya adalah melakukan perhitungan *mean time to failure* atau rata-rata waktu perbaikan berdasarkan rumus dari distribusi sesuai dengan parameter yang ada. Karena distribusi yang terpilih adalah Log Normal, maka parameter yang digunakan adalah t_{med} dan s.

$t_{med} = e^{\bar{t}}$

$= e^{5,394}$

$= 220,082$

$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\ln ti - \bar{t})^2}{n-1}}$

$= \sqrt{\frac{1,433}{7}}$

$= 0,452$

Dimana:

e = exp = 2,718282

$\bar{t}$ = rata-rata data waktu kerusakan

s = standar deviasi

t_{med} = nilai tengah dari distribusi

Sehingga nilai dari MTTF nya adalah:

$MTTF = tmed \, . \, e^{\frac{s^2}{2}}$

$MTTF = 220,082 \text{ x } 2,718282^{\frac{0,452^2}{2}}$

$= 243,8$ jam

4.2.4. Perhitungan *Index Of fit Time to Repair* (TTR) Suku Cadang *Axle & Differential*

Perhitungan *index of fit* dilakukan untuk menentukan distribusi yang nantinya akan digunakan untuk melakukan perhitungan dan menentukan rumus *mean time to*

repair (MTTR). Terdapat 4 distribusi yang dipakai dalam menentukan *index of fit*, yaitu distribusi *Weibull*, *Normal*, *Lognormal* dan *Eksponensial*.

4.2.4.1. Distribusi Weibull

Tabel 4.10 Perhitungan *index of fit* berdasarkan distribusi weibull data waktu *time to reapir* (TTR) suku cadang *axle & differential*

i	t_i	$x_{i=(\ln t_i)}$	$F(t_i)$	y_i	$x_i . y_i$	x_i^2	y_i^2
1	2,30	0,833	0,074	-2,559	-2,131	0,694	6,548
2	5,05	1,619	0,181	-1,612	-2,610	2,622	2,599
3	3,30	1,194	0,287	-1,083	-1,293	1,425	1,173
4	3,00	1,099	0,394	-0,693	-0,761	1,207	0,480
5	2,50	0,916	0,500	-0,367	-0,336	0,840	0,134
6	1,15	0,140	0,606	-0,070	-0,010	0,020	0,005
7	4,15	1,423	0,713	0,221	0,315	2,025	0,049
8	5,20	1,649	0,819	0,537	0,885	2,718	0,288
9	3,15	1,147	0,926	0,955	1,095	1,317	0,911
∑	**29,800**	**10,020**	**4,500**	**-4,671**	**-4,847**	**12,868**	**6,548**

Berikut merupakan contoh perhitungan i = 1 dari distribusi *Weibull*:

a. $x_i = \ln (t_i)$

$x_i = \ln (2,30)$

$= 0,833$

b. $F(t_i) = (i - 0,3) / (n + 0,4)$

$F(t_i) = (1 - 0,3) / (9 + 0,4)$

$= -0,074$

c. $y_i = ln\left(ln\left(\frac{1}{1-(F(t_i)}\right)\right)$

$y_i = ln\left(ln\left(\frac{1}{1-0,074}\right)\right)$

$= -2,559$

d. Nilai *index of fi*t :

$$r_{weibull} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i.y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sqrt{\left(n\left(\sum_{i=1}^{n} xi^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} xi\right)^2\right) - \left(n\sum_{i=1}^{n} yi^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} yi\right)^2\right)\right.}}$$

$$= \frac{9(-4{,}847)-(10{,}020)(-4{,}671)}{\sqrt{(9(12{,}868)-(10{,}020)^2)(9(12{,}186)-(-4{,}671)^2)}}$$

$$= 0{,}009$$

4.2.4.2. Distribusi Normal

Tabel 4.11 Perhitungan *index of fit* berdasarkan distribusi normal data waktu *time to failure* (TTF) suku cadang *axle & differential*

i	t_i	x_i	$F(t_i)$	z_i	$x_i . z_i$	x_i^2	z_i^2
1	2,30	2,30	0,0745	-1,445	-3,324	5,290	2,088
2	5,05	5,05	0,1809	-0,915	-4,621	25,503	0,837
3	3,30	3,30	0,2872	-0,560	-1,848	10,890	0,314
4	3,00	3,00	0,3936	-0,370	-1,110	9,000	0,137
5	2,50	2,50	0,5000	0	0,000	6,250	0,000
6	1,15	1,15	0,6064	0,370	0,426	1,323	0,137
7	4,15	4,15	0,7128	0,560	2,324	17,223	0,314
8	5,20	5,20	0,8191	0,915	4,758	27,040	0,837
9	3,15	3,15	0,9255	1,445	4,552	9,923	2,088
∑	**29,800**	**29,800**	**4,5**	**0**	**1,157**	**112,440**	**6,752**

Berikut merupakan contoh perhitungan i = 1 dari distribusi Normal:

a. $x_i = t_i$

$x_i = 2{,}30$

b. $F(t_i) = (i - 0{,}03) / (n + 0{,}4)$

$F(t_i) = (1 - 0{,}03) / (9 + 0{,}4)$

$= 0{,}0745$

c. $z_i = \phi^{-1} [F(t_i)]$

$z_i = \phi^{-1} (0{,}0745)$

$= -1{,}445$

d. Nilai *index of fit* :

$$r_{normal} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i.z_i-(\sum_{i=1}^{n} x_i)(\sum_{i=1}^{n} z_i)}{\sqrt{(n(\sum_{i=1}^{n} xi^2-(\sum_{i=1}^{n} xi)^2)(n\sum_{i=1}^{n} zi^2-(\sum_{i=1}^{n} zi)^2)}}$$

$$= \frac{9(1{,}157)-(29{,}800)(0)}{\sqrt{(9(112{,}440)-(29{,}800)^2)(9(6{,}752)-(0)^2)}}$$

$$= 0{,}0153$$

4.2.4.3. Distribusi Lognormal

Tabel 4.12 Perhitungan *index of fit* berdasarkan distribusi lognormal data waktu *time to failure* (TTF) suku cadang *axle & differential*

i	t_i	$x_{i=(\ln t_i)}$	$F(t_i)$	z_i	$x_i . z_i$	x_i^2	z_i^2
1	2,30	0,833	0,074	-1,445	-1,204	0,694	2,088
2	5,05	1,619	0,181	-0,910	-1,482	2,622	0,837
3	3,30	1,194	0,287	-0,560	-0,669	1,425	0,314
4	3,00	1,099	0,394	-0,270	-0,406	1,207	0,137
5	2,50	0,916	0,500	0,000	0,000	0,840	0,000
6	1,15	0,140	0,606	0,270	0,052	0,020	0,137
7	4,15	1,423	0,713	0,560	0,797	2,025	0,314
8	5,20	1,649	0,819	0,910	1,509	2,718	0,837
9	3,15	1,147	0,926	1,445	1,658	1,317	2,088
∑	**29,800**	**10,020**	**4,5**	**0**	**0,255**	**12,868**	**6,752**

Berikut merupakan contoh perhitungan i = 1 dari distribusi Lognormal:

a. $x_i = \ln (t_i)$

$x_i = \ln (t_i)$

$= \ln (2{,}30)$

$= 0{,}883$

b. $F(t_i) = (i - 0{,}3) / (n + 0{,}4)$

$F(t_i) = (1 - 0{,}3) / (9 + 0{,}4)$

$= 0{,}074$

c. $z_i = \phi^{-1} F(t_i)]$

$z_i = \phi^{-1} (0{,}074)$

$= -1{,}445$

d. Nilai *index of fi*t :

$$r_{lognormal} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i.z_i-(\sum_{i=1}^{n} x_i)(\sum_{i=1}^{n} z_i)}{\sqrt{(n(\sum_{i=1}^{n} xi^2-(\sum_{i=1}^{n} xi)^2)(n\sum_{i=1}^{n} zi^2-(\sum_{i=1}^{n} zi)^2)}}$$

$$= \frac{9(0{,}255)-(10{,}020)(0)}{\sqrt{(9(12{,}868)-(10{,}020)^2)(9(6{,}752)-(0)^2)}}$$

$$= 0{,}0096$$

4.2.4.4. Distribusi Eksponensial

Tabel 4.13 Perhitungan *index of fit* berdasarkan distribusi eksponensial data waktu *time to failure* (TTF) suku cadang *axle & differential*

i	t_i	x_i	$F(t_i)$	y_i	$x_i . y_i$	x_i^2	y_i^2
1	2,30	2,30	0,074	0,077	0,178	5,290	0,006
2	5,05	5,05	0,181	0,199	1,007	25,503	0,040
3	3,30	3,30	0,287	0,339	1,117	10,890	0,115
4	3,00	3,00	0,394	0,500	1,501	9,000	0,250
5	2,50	2,50	0,500	0,693	1,733	6,250	0,480
6	1,15	1,15	0,606	0,932	1,072	1,323	0,869
7	4,15	4,15	0,713	1,247	5,177	17,223	1,556
8	5,20	5,20	0,819	1,710	8,892	27,040	2,924
9	3,15	3,15	0,926	2,597	8,182	9,923	6,746
∑	**29,800**	**29,800**	**4,5**	**8,296**	**28,860**	**112,440**	**12,987**

Berikut merupakan contoh perhitungan i = 1 dari distribusi Eksponensial:

a. $x_i = t_i$

$x_i = 2{,}30$

b. $F(t_i) = (i - 0{,}03) / (n + 0{,}4)$

$F(t_i) = (1 - 0{,}03) / (9 + 0{,}4)$

$= 0{,}074$

c. $y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(ti)}\right)$

$y_i = ln\left(\frac{1}{1-0{,}074}\right)$

$= 0{,}077$

d. Nilai *index of fit* :

$$r_{eksponensial} = \frac{n(\sum_{i=1}^{n} x_i.z_i-(\sum_{i=1}^{n} x_i)(\sum_{i=1}^{n} z_i)}{\sqrt{(n(\sum_{i=1}^{n} xi^2-(\sum_{i=1}^{n} xi)^2)(n\sum_{i=1}^{n} zi^2-(\sum_{i=1}^{n} zi)^2)}}$$

$$= \frac{9(28{,}860)-(29{,}800)(8{,}296)}{\sqrt{(9(112{,}440)-(29{,}800)(9(12{,}987)-(8{,}296)^2)}}$$

$$= 0{,}0104$$

Setelah dilakukan perhitungan terhadap nilai *index of fit* keempat distribusi tersebut maka distribusi yang terpilih adalah distribusi **Normal**, karena memiliki nilai terbesar dari distribusi lainnya yaitu sebesar 0,0153. Sehingga rumus parameter yang digunakan untuk melakukan perhitungan MTTR dari distribusi normal yaitu μ dengan rumus MTTR nya adalah sebagai berikut:

MTTR = μ

4.2.5. Pengujian *Goodness of Fit Test* Distribusi Normal pada Data *Time to Repair* (TTR) Suku Cadang *Axle & Differential*

Goodness of fit tes ini dilakukan berdasarkan nilai *index of fit* terbesar di mana distribusi yang terpilih adalah distribusi lognormal dan dimaksudkan untuk mengetahui apakah data yang ada telah membentuk suatu distribusi tertentu dengan membandingkan Hipotesa nol (H_0) dan Hipotesa alternatif (H_1) di mana H_0 menyatakan data mengikuti distribusi terpilih dan H_1 data tidak mengikuti distribusi pilihan.

Untuk pengujian distribusi normal suku cadang *axle & differential* sendiri dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab ver. 17 agar lebih memudahkan. Langkah-langkah menentukan *goodness of fit* menggunakan Minitab adalah sebagai berikut.

1. Masukan data di kolom C1.
2. Pilih menu *Stat* lalu pilih *Quality Tools* kemudian pilih *Individual Distribution Identification.*
3. Lalu akan muncul model dialog dengan beberapa kolom dan pilihan, pilih *Single Column* lalu inputkan “C1” pada kolom tersebut.

4. Selanjutnya pilih *Specify*, di *Specify* sendiri terdapat 4 kolom *checklist* distribusi yaitu Normal, Exponential, Weibull dan Gamma. Karena kita hanya mencari Pvalue distribusi normal maka kita *checklist* distribusi normal lalu pilih Ok.
5. Setelah itu maka akan muncul hasil Pvalue = 0,736.

Berdasarkan hasil pengolahan menggunakan *software* Minitab maka diperoleh P_{value} = 0,736 atau 0,736 > 0,0153, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak, sehingga distribusi kerusakan suku cadang mengikuti distribusi normal.

Setelah diketahui bahwa kerusakan suku cadang mengikuti distribusi normal, selanjutnya dilakukan perhitungan parameter distribusi untuk menentukan parameter dimana parameternya adalah σ dan μ. Berikut merupakan perhitungan parameter distribusi normal suku cadang *axle & differential* seperti pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 *Parameter* distribusi normal berdasarkan waktu perbaikan suku cadang *axle & differential*

n	**x_i**	**F(x_i)**	**y_i**	**x_i^2**	**y_i^2**	**xi.yi**
1	2,3	0,074	-1,44	5,290	2,074	-3,312
2	5,05	0,181	-0,91	25,503	0,828	-4,596
3	3,3	0,287	-0,56	10,890	0,314	-1,848
4	3	0,394	-0,27	9,000	0,073	-0,810
5	2,5	0,500	0	6,250	0	0
6	1,15	0,606	0,27	1,323	0,073	0,311
7	4,15	0,713	0,56	17,223	0,314	2,324
8	5,2	0,819	0,91	27,040	0,828	4,732
9	3,15	0,926	1,44	9,923	2,074	4,536
∑	**29,8**	**4,5**	**0**	**112,440**	**6,5764**	**1,337**

Dengan rumus yang digunakan adalah

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2} = \frac{9\,(1{,}337)-(29{,}8)(0)}{9(112{,}440)-(29{,}8)^2} = 0{,}097$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} - b\,\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} = \frac{0}{9} - 0{,}0971\,\frac{29{,}8}{9} = -0{,}321$$

Setelah nilai dari α dan b diketahui, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai σ dan μ. Berikut perhitungannya:

$\sigma = \frac{1}{b} = \frac{1}{0{,}0971} = 10{,}298$

$\mu = -\alpha \cdot \sigma = -(-0{,}3215) \times 10{,}298 = 3{,}3111 \approx 3{,}3$

4.2.6. Perhitungan Nilai *Mean Time to Repair* (MTTR) Suku Cadang *Axle & Differential*

Setelah dilakukan uji kesesuaian distribusi menggunakan *goodness of fit test*, selanjutnya melakukan perhitungan *Mean Time To Repair* (MTTR) berdasarkan rumus dari parameter distribusi yang telah ada. Karena distribusi yang terpilih adalah distribusi normal, maka parameter yang digunakan adalah μ dengan perhitungan sebagai berikut:

MTTR = μ

MTTR = 3,3 jam

4.2.7. Keandalan Nilai *Mean Time to Failure* Suku Cadang *Axle & Differential* Sebelum *Preventive Maintenance*

Dalam probabilitas suatu komponen atau sistem, keandalan merupakan salah satu bagian penting dalam keberlangsungan masa pakai mesin dan fungsi dari mesin tersebut untuk mencapai waktu yang diinginkan dalam suatu kondisi tertentu. Setelah nilai dari *mean time to failure* (MTTF) diketahui yaitu sebesar 243,8 jam, maka nilai keandalan sistem tersebut dapat dihitung menggunakan rumus:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} ln \frac{t}{tmed}\right)$$

Dimana: s = nilai standar deviasi MTTF

t = nilai MTTF

t_{med} = nilai tengah dari distribusi

ϕ = tabel kumulatif normal Z

Penentuan keandalan atau *reliability* suku cadang dilakukan dengan melihat jarak tempuh bus selama 385 jam pada setiap waktu (t) untuk melihat penurunan keandalan komponen sebelum dilakukannya *preventive maintenance* (perawatan secara berkala). Tabel 4.15 merupakan perhitungan tingkat keandalan suku cadang *axle & differential* sebelum dilakukan *preventive maintenance*.

Tabel 4.15 Keandalan suku cadang *axle & differential* sebelum *preventive maintenance*

t	t/tmed	ln(t/tmed)	Ztabel	R(t)
108	0,4918	-0,7096	0,0582	0,942
127	0,5769	-0,5501	0,1112	0,889
199	0,9035	-0,1015	0,4129	0,587
201	0,9142	-0,0897	0,4207	0,579
243,8	**1,1078**	**0,1023**	**0,5910**	**0,409**
274	1,2441	0,2184	0,6844	0,316
278	1,2626	0,2332	0,6985	0,302
342	1,5548	0,4413	0,8365	0,164
385	1,7473	0,5580	0,8907	0,109

Contoh perhitungannya:

Jika,

R(t) = Keandalan suku cadang ketika waktu (t)

MTTF = t = 243,8

t_{med} = 220,082

s = 0,452

Maka,

R(243,8) = $1 - \Phi \left(\frac{1}{0,453} ln \frac{243,8}{220,082}\right)$

= 1 – 0,5910 (Tabel kumulatif normal Z)

= 0,409 atau 40,9 %

Setelah dilakukan perhitungan terhadap nilai keandalan suku cadang dengan komponen bekerja selama 385 jam tanpa dilakukan *preventive maintenance*, nilai dari *mean time to failure* = 243,8 jam dan *reliability* R(t) sistemnya adalah sebesar 0,409 atau 40,9%.

4.2.8. Usulan Waktu Perawatan Suku Cadang

Setelah diketahui nilai dari MTTF selanjutnya menentukan interval waktu perawatan untuk menentukan jadwal perawatan yang harus dilakukan agar keandalan komponen dapat terjaga dalam waktu pemakaian yang lama. Dengan asumsi bahwa komponen yang digunakan dapat bekerja dengan baik tanpa adanya masalah dan kerusakan selama beroperasi sehingga keandalan mesin dapat tercapai, maka dari itu perhitungan keandalan lebih difokuskan pada keandalan suku cadang *axle & differential*.

Keandalan sistem yang ingin ditingkatkan dari suku cadang *axle & differential* ini sebesar 90%, 80% dan 70%. Nilai dari keandalan tersebut merupakan target yang ingin dicapai oleh perusahaan untuk melakukan perawatan. Untuk mencari tingkat keandalan yang diharapkan sebesar 90%, 80% dan 70%, menggunakan cara *trial and error*. Untuk nilai keandalan 90% diambil angka percobaan di antara nilai R(115) dan R(130), dimana nilai R(115) sebesar 0,959 dan nilai R(130) sebesar 0,877, maka digunakan *trial and error* dengan mengambil percobaan yaitu T sebesar 123 jam, Rm(t) = 0,900 atau 90%. Untuk nilai 80% diambil dari nilai R(160), dimana nilai T sebesar 160 jam, Rm(t) = 0,809 atau 80%. Sementara untuk nilai keandalan 70% diambil angka percobaan di antara nilai R(190) dan R(205), dimana nilai R(190) sebesar 0,748 dan R(205) sebesar 0,673, maka digunakan cara *trial and error* dengan mengambil percobaan yaitu T sebesar 199 jam, Rm(t) = 0,698 atau 70%. Berikut merupakan pengolahan datanya seperti pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Perhitungan keandalan suku cadang axle & differential

t	R(t)	R(T)^n	R(t-nT)	Rm(t)
100	0,959	1,000	0,959	0,959
115	0,924	0,924	1,000	0,924
123	**0,900**	**0,900**	**1,000**	**0,900**
130	0,877	0,900	0,959	0,863
145	0,821	0,900	0,924	0,831
160	**0,758**	**0,809**	**1,000**	**0,809**
175	0,692	0,809	0,959	0,776
190	0,626	0,809	0,924	0,748

Tabel 4.17 Perhitungan keandalan suku cadang axle & differential (lanjutan)

t	R(t)	R(T)^n	R(t-nT)	Rm(t)
199	**0,587**	**0,728**	**0,959**	**0,698**
205	0,564	0,728	0,924	0,673
220	0,500	0,655	1,000	0,655
235	0,444	0,655	0,959	0,628
243,8	0,409	0,590	1,000	0,590
250	0,390	0,590	0,959	0,565
265	0,341	0,530	1,000	0,530
280	0,298	0,530	0,959	0,509
295	0,258	0,477	1,000	0,477
310	0,227	0,477	0,959	0,458
325	0,195	0,429	1,000	0,429
340	0,169	0,429	0,959	0,412
355	0,147	0,386	1,000	0,386
370	0,127	0,386	0,959	0,370
385	0,109	0,348	1,000	0,348

Dari tabel di atas dapat diambil kesimpulan bahwa usulan waktu perawatan dapat dilakukan berdasarkan nilai keandalan. Pada keandalan 90% perawatan dapat dilakukan setiap suku cadang beroperasi selama 123 jam, sementara untuk keandalan 80%, perawatan dapat dilakukan setiap 160 jam operasi dan untuk keandalan 70%, perawatan dapat dilakukan setiap 199 jam. Untuk nilai KM didapat dari jam operasi dikalikan kecepatan rata-rata bus yaitu sebesar 50km/jam. Berikut hasil dari waktu perawatan berdasarkan tabel 4.16 dan 4.17.

Tabel 4.18. Waktu perawatan berdasarkan keandalan suku cadang

Nilai Keandalan	Jam (operasi)	KM
90%	123	6150
80%	160	8000
70%	199	9950