

**MENENTUKAN KEBIJAKAN PERAWATAN LOKOMOTIF CC201  
MENGUNAKAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* DI  
PT KAI DAOP VI YOGYAKARTA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1  
Pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri**



Nama : Banta Fajrullah  
No.Mahasiswa : 11522112

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2016**

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Demi Allah, saya mengakui bahwa karya yang saya buat ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, . Maret 2016



Banta Fajrullah  
NIM. 11522112

## KETERANGAN PELAKSANAAN TUGAS AKHIR



**KERETA API:** DL.405/VIII/ 12 /D.6-2015  
 Nama :  
 Lampiran : -  
 Perihal : Ijin Pra Penelitian



Yogyakarta, 13 Agustus 2015

Kepada  
 Yth. **Ketua Program Studi**  
**Teknik Industri**  
**Universitas Islam Indonesia**  
**Yogyakarta**  
 di  
**YOGYAKARTA**

1. Berdasarkan surat Saudara Nomor : 404/Sek.Prodi/10/TI/VIII/2015 tanggal 05 Agustus 2015 perihal permohonan ijin penelitian, diberitahukan bahwa mahasiswa saudara tersebut dibawah ini :

| No. | Nama Mahasiswa  | NIM      | JURUSAN         | Pelaksanaan                      |
|-----|-----------------|----------|-----------------|----------------------------------|
| 1.  | BANTA FAJRULLAH | 11522112 | TEKNIK INDUSTRI | 13-08-2015<br>s.d.<br>13-09-2015 |

diberikan ijin untuk melaksanakan **Pra Penelitian** di **Unit SARANA** sesuai jadwal tersebut diatas.

2. Mengenai syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam melaksanakan ijin **Pra Penelitian** sebagai berikut :
  - a. Membawa rekaman surat ini;
  - b. Tertib tidak mengganggu dinas PT. Kereta Api Indonesia (Persero);
  - c. Mematuhi peraturan yang berlaku;
  - d. Memakai kartu tanda pengenal.
3. Demikian untuk menjadikan periksa dan terima kasih.

a.n. MANAGER SDM & UMUM  
 DAOP 6 YK  
 ASISTEN MANAGER SDM



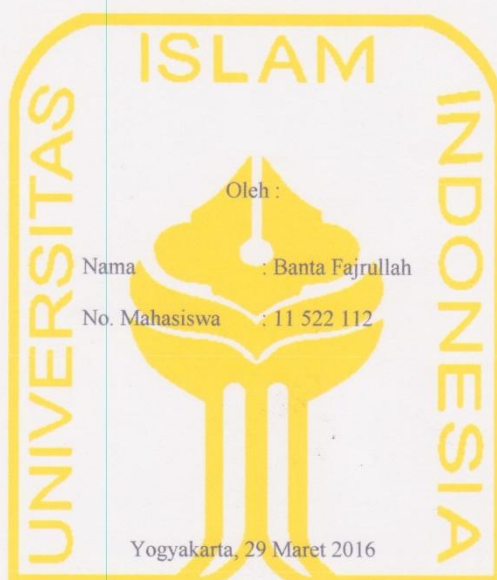
**SIH IRIYANTI**  
 NIPP. 38082

Tembusan :

1. Yth. Manager SARANA Daop 6 Yk;
2. Yth. Asman SDM Daop 6 Yk;
3. Arsip.

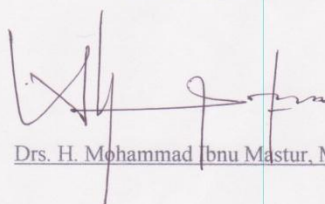

MENENTUKAN KEBIJAKAN PERAWATAN LOKOMOTIF CC201  
MENGUNAKAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* DI  
PT KAI DAOP VI YOGYAKARTA

TUGAS AKHIR



Pembimbing I

Pembimbing II

 30/3/2016 

Drs. H. Mohammad Ibnu Mastur, MSIE Dian Janari S.T. M.T

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

MENENTUKAN KEBIJAKAN PERAWATAN LOKOMOTIF CC201  
MENGUNAKAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* DI  
PT KAI DAOP VI YOGYAKARTA

TUGAS AKHIR

Oleh

Nama : Banta Fajrullah  
No. Mahasiswa : 11 522 112

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk  
memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri

Yogyakarta, 12 April 2016

**Tim Penguji**

Drs. H. Mohammad Ibnu Mastur, MSIE.  
Ketua

Dian Janari, S.T., M.T.  
Anggota I

Ir. Ali Parkhan, M.T.  
Anggota II

Muhammad Sugarindra, S.T., M.T.I.  
Anggota III

Mengetahui,

Ka. Prodi Teknik Industri  
Fakultas Teknologi Industri



Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Ku persembahkan Tugas Akhir ini kepada,  
Kedua orang tuaku tercinta Amiruddin dan Dwie Setyawati  
Yang selalu memberikan kasih sayang, doa, motivasi dan seluruh daya upaya untukku  
Adik perempuanku tercinta Sabrina Maulidya Amir

Teman-teman seperjuanganku di Teknik Industri 2011  
Terimakasih untuk semua semangat, ilmu, pengalaman, dan bantuannya yang telah  
kalian berikan

Sahabatku tercinta Riyanto, Ratih, Daeng, Mulkan, Defi, Irfan, Febi, Via, Rini, Yogi,  
Anis, Aji, Maikel, Jarwok. Kalian lah keluargaku di Jogja.

Semua anak-anak Kost Tumaritis, Anjar, Angga, Rio, Ardi, Gega, Bilal, Dwikky,  
Obenk, Bombom, Eko, Rendra, Ghulam, Kholid, Alpan, Fajar, Riri, Wawan, Rento,  
Riki, Alfian, Ari, Yoga, Dewo, Fahdi, Fatir, dan mas Wawan.

Terima kasih atas semangat yang kalian berikan

Semoga Allah SWT menjadikan kita semua hamba yang berilmu dan beramal shaleh  
Aamiin

## HALAMAN MOTTO

فَهُوَ فِي سَبِيلِ اللَّهِ مَنْ خَرَجَ فِي طَلَبِ الْعِلْمِ

“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah“

( HR. Turmudzi)

إِنَّ اللَّهَ مَعَنَا

Sesungguhnya Allah Bersama Kita(QS. At Taubah: 40)

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga pelaksanaan pengambilan data sekaligus penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Serta tidak lupa sholawat dan salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW dan penerusnya yang telah membawa Islam kepada seluruh umat manusia. Alhamdulillah atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Menentukan Kebijakan Perawatan Lokomotif CC201 Menggunakan *Reliability Centered Maintenance* di PT KAI DAOP VI Yogyakarta”.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana Strata-1 Program Teknik Industri pada Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Keberhasilan akan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu dengan penuh rasa hormat dan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Kepala Prodi Teknik Industri dan seluruh staf Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Drs. H. Mohammad Ibnu Mastur, MSIE, selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bantuan dan arahnya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Dian Janari S.T. M.T, selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bantuan dan arahnya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh pegawai PT KAI DAOP VI Yogyakarta.
6. Kedua orang tuaku dan adik tercinta atas segala doa, bantuan dan kasih sayang yang tak henti-hentinya mengalir untukku.
7. Serta semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.

Dengan segenap kerendahan hati Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat diharapkan.

***Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh***

Yogyakarta, 2016

Banta Fajrullah

## ABSTRAK

Daerah oprasi VI adalah salah satu perusahaan PT KAI yang mengatur perkeretaapian di daerah Yogyakarta, untuk dapat memuaskan masyarakat PT KAI DAOP IV harus melakukan kegiatan perawatan untuk menjaga fungsi sarana perkeretaapian, salah satu kegiatan perawatan yang dilakukan PT KAI DAOP IV adalah melakukan perawatan lokomotif. Pada bulan Januari hingga September 2015 tercatat 72 kali gangguan pada lokomotif CC201, untuk mencegah kegagalan fungsi, maka diperlukan aktivitas perawatan yang tepat. Aktivitas perawatan yang dilakukan di PT KAI DAOP IV masih menunjukkan kegagalan fungsi yang sama dan berulang-ulang. Oleh karena itu akan dilakukan perancangan kegiatan perawatan dengan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) yang menghasilkan fungsi, kegagalan fungsi, serta Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Berdasarkan informasi pada FMEA tersebut, kemudian dihasilkan kebijakan perawatan dan pelaksana teknis, serta data historis kerusakan yang digunakan untuk menghitung interval waktu perawatan. Dengan menentukan kebijakan perawatan tepat, maka biaya yang dikeluarkan dapat diminimalisi. Dari hasil penelitian didapatkan 3 komponen kritis yaitu roda gigi pinion, *wickassy*, *axle lining*. setelah didapatkan komponen kritis kemudian ditentukan interval waktu perawatan yang tepat dengan melihat nilai keandalan tidak kurang dari 0,9. Interval waktu perawatan yang tepat adalah pada saat jam ke 510 setelah beroperasi untuk semua kompone kritis, perawatan yang dilakukan adalah melakukan penggantian untuk mencegah lokomotif mengalami kerusakan. Besarnya biaya yang dikeluarkan untuk perawatan penggantian pada komponen roda gigi pinion adalah sebesar Rp 189.573.120, untuk komponen *wickassy* mengeluarkan biaya sebesar Rp 132.970.464, dan untuk komponen *axle lining* mengeluarkan biaya sebesar Rp 150.507.936.

**Kata kunci:** perawatan, FMEA, LTA, keandalan

## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....        | ii   |
| <b>KETERANGAN PELAKSANAAN TUGAS AKHIR</b> .....     | iii  |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING</b> .....     | iv   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI</b> .....        | v    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....                    | vi   |
| <b>HALAMAN MOTTO</b> .....                          | vii  |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                         | viii |
| <b>ABSTRAK</b> .....                                | x    |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                             | xi   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                           | xiii |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                          | xv   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                      | 1    |
| 1.1 Latar Belakang Masalah .....                    | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                           | 5    |
| 1.3 Batasan Masalah .....                           | 5    |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                         | 5    |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                        | 5    |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                     | 6    |
| <b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....                  | 8    |
| 2.1 Kajian Induktif .....                           | 8    |
| 2.2 Kajian Deduktif .....                           | 10   |
| 2.2.1 Definisi Perawatan .....                      | 10   |
| 2.2.2 Jenis – jenis perawatan .....                 | 11   |
| 2.3 <i>Reliability Centered Maintenace</i> .....    | 12   |
| 2.3.1 Fungsi dan Standar Kinerja .....              | 14   |
| 2.3.2 Kegagalan Fungsi .....                        | 14   |
| 2.3.3 Modus Kegagalan .....                         | 14   |
| 2.3.4 Dampak Kegagalan .....                        | 15   |
| 2.3.5 Konsekuensi Kegagalan .....                   | 15   |
| 2.3.6 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> ..... | 16   |
| 2.3.7 <i>Logic Tree Analysis</i> .....              | 20   |
| 2.4 Keandalan .....                                 | 21   |
| 2.4.1 Fungsi Keandalan .....                        | 22   |
| 2.4.2 Laju Kerusakan .....                          | 23   |
| 2.5 Distribusi Kegagalan .....                      | 23   |
| 2.6 Penentuan Distribusi .....                      | 25   |
| 2.7 Uji Kecocokan Distribusi .....                  | 27   |
| 2.7.1 Uji <i>Barleett Test</i> .....                | 27   |
| 2.7.2 Uji <i>Mann's Test</i> .....                  | 28   |
| 2.7.3 Uji <i>Kolmogrov – Smirnov Test</i> .....     | 29   |
| 2.8 Penentuan Parameter Distribusi .....            | 29   |
| 2.9 <i>Mean Time To Failure</i> .....               | 31   |
| 2.10 <i>Mean Time To Repair</i> .....               | 32   |
| 2.11 Model Perawatan .....                          | 32   |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....              | 34   |
| 3.1 Lokasi dan Obyek Penelitian .....               | 34   |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2 Identifikasi Masalah.....  | 34        |
| 3.3 Pengumpulan Data.....  | 34        |
| 3.3.1 Sumber Data .....  | 34        |
| 3.3.2 Data Yang Dibutuhkan .....                                       | 34        |
| 3.4 Pengolahan data .....  | 35        |
| 3.4.1 Penentuan Komponen Kritis .....                                  | 35        |
| 3.4.2 <i>Reliability Centered Maintenace</i> .....                     | 35        |
| 3.4.3 Penentuan Distribusi .....                                       | 37        |
| 3.4.4 Uji Kecocokan Distribusi.....                                    | 37        |
| 3.4.5 Identifikasi <i>Maximum Likelihood</i> .....                     | 37        |
| 3.4.6 Penentuan Interval Waktu Pergantian.....                         | 38        |
| 3.5 Analisis Hasil .....   | 38        |
| 3.6 Kesimpulan dan saran.....  | 38        |
| 3.7 Bagan Alir Penelitian.....   | 39        |
| <b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>                     | <b>41</b> |
| 4.1 Profil Perusahaan .....  | 41        |
| 4.2 Pengumpulan Data.....  | 43        |
| 4.3 Pengolahan Data .....  | 45        |
| 4.3.1 Penentuan Komponen Kritis .....                                  | 46        |
| 4.3.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> .....                    | 48        |
| 4.3.3 <i>Logic tree Analysis</i> .....                                 | 54        |
| 4.3.4 Penentuan Jenis Distribusi .....                                 | 61        |
| 4.3.5 Uji Kecocokan Distribusi.....                                    | 72        |
| 4.3.6 Penentuan Parameter Distribusi.....                              | 76        |
| 4.3.7 Penentuan Nilai MTTF .....                                       | 77        |
| 4.4 Perhitungan Biaya.....   | 78        |
| 4.4.1 Harga Komponen.....  | 78        |
| 4.4.2 Data Ongkos <i>Enginer</i> .....                                 | 78        |
| 4.4.3 Data <i>loss of revenue</i> .....                                | 80        |
| 4.4.4 Perhitungan Biaya komponen Kritis.....                           | 80        |
| 4.4.5 Perhitungan Nilai <i>Reliability</i> dan Penentuan Interval..... | 84        |
| <b>BAB V PEMBAHASAN .....</b>  | <b>87</b> |
| 5.1 Analisis Komponen Kritis .....                                     | 87        |
| 5.2 Analisis <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA).....       | 88        |
| 5.3 Analisis Uji Kecocokan Distribusi .....                            | 89        |
| 5.4 Analisis Parameter .....   | 90        |
| 5.5 Analisis Interval Waktu Perawatan.....                             | 91        |
| 5.6 Perbandingan Biaya .....   | 92        |
| <b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                               | <b>93</b> |
| 6.1 Kesimpulan .....   | 93        |
| 6.2 Saran .....  | 93        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>  |           |
| <b>LAMPIRAN</b>  |           |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Tingkatan <i>saverity</i> .....  | 16 |
| Tabel 2.2 Tingkatan <i>occurrence</i> .....  | 19 |
| Tabel 2.3 Tingkatan <i>detection</i> .....   | 19 |
| Tabel 4.1 Jumlah Kerusakan Lokomotif.....  | 44 |
| Tabel 4.2 Frekuensi kerusakan lokomotif.....   | 46 |
| Tabel 4.3 FMEA .....   | 48 |
| Tabel 4.4 LTA.....   | 54 |
| Tabel 4.5 Nilai TTF komponen roda gigi pinion.....   | 61 |
| Tabel 4.6 Nilai TTF komponen <i>wickassy</i> .....   | 61 |
| Tabel 4.7 Nilai TTF komponen <i>axle lining</i> .....  | 62 |
| Tabel 4.8 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi normal, roda gigi .....              | 62 |
| Tabel 4.9 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi normal, <i>wickassy</i> .....        | 63 |
| Tabel 4.10 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi normal, <i>axle lining</i> .....    | 64 |
| Tabel 4.11 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi lognormal, roda gigi.....           | 65 |
| Tabel 4.12 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi lognormal, <i>wickassy</i> .....    | 66 |
| Tabel 4.13 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi normal, <i>axle lining</i> .....    | 66 |
| Tabel 4.14 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi weibull, roda gigi .....            | 67 |
| Tabel 4.15 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi weibull, <i>wickassy</i> .....      | 68 |
| Tabel 4.16 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi weibull, <i>axle lining</i> .....   | 69 |
| Tabel 4.17 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi eksponensial, roda.....             | 70 |
| Tabel 4.18 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi eksponensial, <i>wickassy</i> ..... | 71 |
| Tabel 4.19 Perhitungan <i>index of fit</i> dengan distribusi eksponensial, <i>axle</i> .....     | 71 |
| Tabel 4.20 Penentuan Distribusi .....  | 72 |
| Tabel 4.21 uji <i>mann's test</i> komponen roda gigi pinion .....                                | 73 |
| Tabel 4.22 uji <i>mann's test</i> komponen <i>wickassy</i> .....                                 | 74 |
| Tabel 4.23 uji <i>mann's test</i> komponen <i>axle lining</i> .....                              | 75 |
| Tabel 4.24 Harga komponen.....   | 78 |
| Tabel 4.25 Premi dan gaji .....  | 78 |
| Tabel 4.26 Gaji pegawai per jam .....  | 79 |
| Tabel 4.27 Gaji pegawai saat perawatan .....   | 79 |
| Tabel 4.28 <i>Loss of revunue</i> .....  | 80 |
| Tabel 4.29 Biaya Perawatan Perkomponen .....   | 80 |
| Tabel 4.30 Penentuan interval perawatan roda gigi .....  | 81 |
| Tabel 4.31 Penentuan interval perawatan <i>wickassy</i> .....                                    | 82 |
| Tabel 4.32 penentuan interval perawatan <i>axle lining</i> .....                                 | 83 |
| Tabel 4.33 Penentuan nilai keandalan roda gigi .....   | 84 |
| Tabel 4.34 Penentuan nilai keandalan <i>wickassy</i> .....                                       | 85 |
| Tabel 4.35 Penentuan nilai keandalan <i>axle lining</i> .....                                    | 86 |
| Tabel 5.1 Data kerusakan lokomotif.....  | 87 |
| Tabel 5.2 Nilai RPN dari setiap komponen .....   | 89 |

|   |    |
|---|----|
| Tabel 5.3 nilai Uji imann's test.....                       | 90 |
| Tabel 5.4 Nilai Parameter .....                             | 90 |
| Tabel 5.5 Interval waktu perawatan roda gigi .....          | 91 |
| Tabel 5.6 Interval waktu perawatan <i>wickassy</i> .....    | 91 |
| Tabel 5.7 Interval waktu perawatan <i>axle lining</i> ..... | 91 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1 Jenis – jenis perawatan.....              | 11 |
| Gambar 2.2 Struktur <i>Logic Tree Analysis</i> ..... | 21 |
| Gambar 2.3 kurva Keandalan .....                     | 22 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....             | 40 |
| Gambar 4.1 PT KAI DAOP VI Yogyakarta .....           | 42 |
| Gambar 4.2 logo PT KAI.....                          | 43 |
| Gambar 4.3 <i>System Breakdown Structure</i> .....   | 44 |
| Gambar 4.4 diagram pareto .....                      | 44 |
| Gambar 4.5 <i>Breakdown Structure</i> .....          | 45 |
| Gambar 4.6 diagram pareto .....                      | 47 |
| Gambar 5.1 diagram pareto .....                      | 88 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan berkembangnya teknologi saat ini, kebutuhan manusia akan sarana transportasi terus meningkat, seiring dengan banyaknya permintaan pengiriman barang dan perpindahan manusia itu sendiri. Menurut Hubdat, (2014) transportasi merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia, ada hubungan antara transportasi dengan lokasi kegiatan manusia, barang-barang dan jasa. Dalam kaitan dengan kehidupan manusia, transportasi memiliki peranan penting dalam aspek-aspek ekonomi, lingkungan, politik dan pertahanan keamanan. Dalam aspek perekonomian, transportasi mempunyai pengaruh yang besar, bahkan salah satu kendala yang dihadapi di sektor industri adalah masalah transportasi.

Terdapat banyak pengelola transportasi di Indonesia salah satunya adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN), yang termasuk dalam pengelolaan BUMN adalah jasa transportasi publik, navigasi, kebandarudaraan dan kepelabuhanan untuk memberikan pelayanan kepada masyarakat yang menggunakan moda transportasi darat, laut, udara dan kereta api. Dalam pelayanan angkutan umum, ada keterlibatan beberapa BUMN transportasi, angkutan udara ada Garuda Indonesia yang makin eksis pelayanannya. Pengelolaan angkutan laut dikelola oleh PT. PELNI, PT. ASDP. untuk angkutan kereta api ada PT. KAI, angkutan berbasis jalan raya ada Perum DAMRI dan Perum PPD, yang diyakini mampu melayani masyarakat dengan baik. (Sujadi A, 2015).

PT Kereta Api (Persero) adalah sebuah BUMN yang bergerak dibidang transportasi dan merupakan perusahaan yang dipercaya oleh pemerintah untuk mengelola perkeretaapian di Indonesia. Perusahaan ini berdiri sejak jaman pemerintahan Hindia Belanda, pada tahun 1864 hingga sekarang. Saat ini, PT KAI mempunyai dua jaringan perkeretaapian di Indonesia, yaitu di Pulau Sumatera dan Jawa. Di Sumatera, PT KAI membagi wilayah operasinya ke dalam tiga Divisi Regional (Divre).

Sedangkan di Jawa, PT KAI membaginya ke dalam sembilan Daerah Operasi (Daop). Saat ini PT KAI sedang berusaha meningkatkan layanan yang akan diberikan untuk masyarakat hal ini dikarenakan PT KAI sebagai salah satu pelayanan umum berkewajiban memberikan pelayanan yang baik dan memuaskan bagi masyarakat. Hal ini didasarkan pada setiap warga negara memiliki hak untuk mendapatkan pelayanan dari aparat pemerintah secara baik.

Pada kenyataannya menurut Widhianti L et all (2011) pelayanan yang diberikan oleh PT KAI belum dapat memuaskan masyarakat termasuk PT KAI di Yogyakarta atau Daerah Operasi VI Yogyakarta atau disingkat dengan Daop VI YK. Hal ini dapat dilihat dari belum memadainya jumlah kereta sesuai dengan kebutuhan penumpang, sering terjadinya keterlambatan, dan tercatat kecelakaan yang terjadi selama beberapa tahun terakhir. Salah satu penyebab belum memuaskannya PT KAI dalam memuaskan masyarakat adalah sering terjadinya kecelakaan, hal ini disebabkan oleh banyak faktor salah satunya faktor teknis, yang disebabkan kelalaian manusia di lapangan baik pada saat pengoprasian ataupun saat perawatan rel, jembatan, lokomotif dan gerbong.

Upaya untuk meningkatkan layanan ke publik, salah satunya adalah dengan cara memperbaiki faktor teknis agar penyebab terjadinya kecelakaan dapat berkurang dan publik dapat merasa aman jika bepergian dengan kereta api. Menurut Rahma S et all (2014) terjadi kerusakan mesin dalam suatu proses produksi, akan berdampak pada penurunan kualitas produk yang dihasilkan Sehingga untuk menjaga kelancaran produksi secara optimal, salah satu upaya yang harus dilakukan perusahaan adalah dengan melakukan pemeliharaan mesin atau peralatan. Pemeliharaan mesin yang terdapat di PT KAI Daop VI salah satunya adalah perawatan lokomotif. Lokomotif adalah mesin yang bertugas sebagai penggerak utama dalam kereta api.

Menurut Sofyan A, (1999:95). Pengertian pemeliharaan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas/peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Metode yang digunakan untuk melakukan perawatan salah satunya adalah dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), dimana metode RCM ini digunakan untuk menentukan interval perawatan dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) Mutia H, (2007). Sedangkan menurut Moubray J (1991) *Reliability Centered*

*Maintenance* (RCM) sebagai suatu metode untuk mengembangkan, memilih dan membuat alternatif strategi perawatan yang didasarkan pada kriteria operasional, ekonomi dan keamanan. Tujuan utama dari RCM adalah untuk mempertahankan fungsi sistem dengan cara mengidentifikasi mode kegagalan (*failure mode and effect analysis*) dan melakukan rencana perbaikan dengan melihat potensi kegagalan atau kerusakan yang terjadi berdasarkan nilai RPN tertinggi kemudian memilih tindakan perawatan pencegahan yang efektif dan dapat diterapkan.

Penelitian sebelumnya oleh Andina N.S et all (2014) dengan jurnal yang berjudul “Usulan Kebijakan Perawatan Lokomotif Jenis CC201 Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* Di PT. Kereta Api Indonesia DIPO Bandung” dari hasil penelitian ini menyatakan bahwa Lokomotif perawatan yang dikelompokkan menjadi 4 kategori task, yaitu *Time Directed*, *Condition Directed*, *Failure Finding*, dan *Run To Failure*. Kemudian penelitian yang berjudul “Perancangan Kebijakan Perawatan dan Penentuan Persediaan Spare Part di Sub Sistem Evaporasi Pabrik Urea Kaltim-3 PT Pupuk Kalimantan Timur” oleh Weny Y,S dan Yudha P (2012) menyatakan dengan metode *Reliability Centered Maintenance* yang menghasilkan fungsi, kegagalan fungsi, serta *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Berdasarkan informasi pada FMEA tersebut, kemudian dihasil kan kebijakan perawatan dan interval waktu perawatan.selanjutnya dari penelitian Aritonang Y.M.K et all (2015) berjudul “penerapan metode RCM untuk menentukan strategi perawatan fasilitas produksi kain” jadwal perawatan yang dilakukan untuk komponen kritis. jadwal perawatan yang sesuai dapat mengurangi *downtime machine* yang terjadi.

Daerah Operasi VI Yogyakarta atau disingkat dengan Daop 6 Jogja atau Daop VI YK adalah salah satu daerah operasi perkeretaapian terluas di Indonesia, di bawah lingkungan PT Kereta Api Indonesia (Persero) yang berada di bawah Direksi PT Kereta Api Indonesia dipimpin oleh seorang *Executive Vice President* (EVP) yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Direksi PT Kereta Api Indonesia. Daerah Operasi VI Yogyakarta memiliki beberapa stasiun besar, di antaranya adalah stasiun Tugu, Lempuyangan, Klaten, Solo Balapan, Purwosari, dan Solo Jebres. Daerah Operasi VI memiliki bengkel dan pusat perawatan diantaranya adalah Balai Yasa Pengok , Balai yasa ini menjadi Balai yasa terbesar di Indonesia. Balai yasa ini khusus digunakan untuk perbaikan dan perawatan lokomotif diesel elektrik maupun hidraulik, dipo lokomotif Yogyakarta, dipo ini berada di Jalan Suryonegaran dan berada satu kompleks dengan

stasiun Tugu. Dipo ini dikhususkan untuk lokomotif-lokomotif besar kelas CC201, CC203, empat buah CC204, atau CC206 yang masih beroperasi untuk KA penumpang maupun barang. Kemudian subdipo lokomotif Solo Balapan, subdipo ini berada satu kompleks dengan Stasiun Solo Balapan. Dan terakhir subdipo lokomotif purwosari, dipo ini terletak di sebelah timur-laut Stasiun Purwosari. Dahulu, dipo ini melayani perawatan kereta api penumpang. Namun saat ini dipo ini hanya melayani perawatan kereta api semen dan rangkaian kereta api uap Jaladara. (PT KAI DAOP VI YK, 2014)

Lokomotif yang akan diteliti adalah lokomotif yang paling sering mengalami kerusakan. Bengkel lokomotif atau dipo lokomotif yang berada di Yogyakarta tercatat berbagai macam kerusakan yang dialami oleh lokomotif CC201, mulai dari bulan Januari 2015 hingga bulan September 2015 terjadi 147 kali gangguan yang melibatkan lokomotif CC201. Lokomotif CC201 memiliki 4 jenis lokomotif yaitu jenis *air brake*, diesel, mekanik, dan elektrik. Dari ke empat jenis lokomotif tersebut diketahui bahwa lokomotif jenis *airbrake* mengalami 16 kali gangguan, lokomotif jenis diesel mengalami 21 kali gangguan, lokomotif jenis elektrik mengalami 38 kali gangguan dan lokomotif jenis mekanik mengalami 72 kali gangguan, dari data ini dapat dilihat bahwa lokomotif CC201 jenis mekanik paling banyak mengalami gangguan, gangguan yang dialami diantaranya seperti gangguan pada roda yaitu jurnal *bearing* patah yang mengakibatkan truck tidak memiliki tumpuan pada roda kemudian harmonica tidak dapat mengalirkan udara pendingin yang diakibatkan oleh kotoran yang menyumbat saluran, sehingga terjadi *flash over* pada komutator traksi motor.

Berdasarkan latar belakang diatas penelitian ini akan meneliti lokomotif CC201 sistem mekanik untuk mengurangi frekuensi kerusakan yang dialami dengan mengatur jadwal perawatan yang tepat dan menggunakan metode RCM *Reliability Centered Maintenance*, akan tetapi penelitian ini juga memperhitungkan biaya dalam perawatan agar jadwal perawatan yang terbentuk memiliki biaya perawatan yang minim akan tetapi tidak mengurangi kualitas dari perawatan tersebut. Dengan menggunakan metode RCM mempunyai kelebihan dalam menentukan program pemeliharaan yang difokuskan pada komponen atau mesin-mesin kritis (*critical item list*) dan menghindari kegiatan perawatan yang tidak diperlukan dengan menentukan interval pemeliharaan yang tepat (Moubray, J. 1997).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan komponen kritis dan kapan interval waktu perawatan yang tepat untuk komponen kritis serta berapa biaya perawatannya ?

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian perlu ditentukan batasan penelitian, yang bertujuan sebagai pembatas agar permasalahan yang diangkat tidak meluas. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Biaya perawatan yang dihitung berdasarkan biaya pemeliharaan lokomotif.
2. Untuk data biaya yang tidak diperoleh, maka menggunakan data asumsi.
3. Aspek teknis dalam pelaksanaan kegiatan perawatan, seperti peralatan yang digunakan, tata cara pembongkaran mesin, dan lain-lainnya tidak termasuk dalam pembahasan
4. Interval waktu optimal perawatan pencegahan ini dibuat untuk komponen-komponen dalam satu sistem yang terpilih dengan frekuensi kerusakan tinggi yang berdampak besar terhadap *reliability* lokomotif CC 201
5. Penelitian ini hanya dibatasi sampai pada tahap pengajuan usulan, sedangkan implementasi dan penerapan usulan tidak dibahas dalam penelitian ini.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan komponen kritis pada lokomotif CC201
2. Menentukan interval waktu perawatan yang tepat pada komponen kritis
2. Menentukan jumlah biaya perawatan pada komponen kritis

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian pada tugas akhir ini adalah :

1. Memperkaya wawasan pengetahuan sebagai studi bagi rekan-rekan dan juga sebagai pertimbangan bagi mahasiswa yang akan menjalankan tugas akhir.
2. Menyajikan informasi mengenai waktu perawatan dan menentukan besarnya biaya perawatan, serta menjadi pertimbangan bagi pihak perusahaan dalam merencanakan manajemen perawatan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk lebih mempermudah dan memperjelas dalam pembahasan dan penyusunan laporan penelitian tugas akhir ini maka penulis mengelompokkan laporan penelitian tugas akhir ini berdasarkan pada sistematika pembahasan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini akan menguraikan secara singkat mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah yang dihadapi, batasan masalah yang dipakai dalam penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, objek serta sistematika penulisan.

### **BAB II KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini merupakan penjelasan terperinci mengenai teori-teori yang digunakan sebagai landasan untuk pemecahan masalah.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini memberikan penjelasan tentang bahan atau materi penelitian, alat dan tata cara penelitian, variabel, data yang akan diteliti, langkah-langkah analisis yang dipakai serta diagram alir penelitian.

### **BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab ini menjelaskan tentang cara pengumpulan data dan bagaimana pengolahan datanya, analisis dan hasil yang diperoleh. Pada bab ini merupakan acuan untuk pembahasan hasil yang akan ditulis pada bab V yaitu pembahasan.

### **BAB V PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang hasil penelitian yang dilakukan, untuk menghasilkan suatu kesimpulan dan rekomendasi atau saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB VI      PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh melalui pembahasan hasil penelitian. Rekomendasi dan saran-saran yang diberikan baik bagi peneliti sendiri maupun bagi peneliti lain yang ingin melanjutkan dan mengembangkan penelitian yang telah dilakukan ini.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Induktif**

Kajian induktif merupakan kajian atau ilmu pengetahuan yang didapat dari fakta atau hasil dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya baik yang dipublikasikan maupun yang tidak, yang berhubungan dengan penelitian ini. Contoh kasus yaitu

- a. penentuan strategi perawatan di fasilitas produksi kain oleh Aritonang Y.M.K et all (2015) menyatakan bahwa Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meminimasi downtime machine adalah dengan menyusun strategi perawatan untuk mesin produksi. Metode Reliability Centered Maintenance merupakan metode untuk memilih mengembangkan, dan membuat alternatif strategi perawatan berdasarkan kriteria operasional, ekonomi dan keamanan. Berdasarkan metode RCM, ditentukan mesin stenter finish pada bagian Dyeing dan Finishing PT IS sebagai sistem kritis yang akan dianalisis. Selanjutnya dengan menggunakan metode RCM pula didapatkan komponen-komponen kritis dari mesin yang seringkali menyebabkan kerusakan downtime machine. Untuk setiap komponen tersebut akan ditentukan jadwal perawatan yang sesuai untuk mengurangi downtime machine yang terjadi. Jadwal perawatan untuk masing-masing mode kegagalan pada mesin stenter finish tersebut dibuat berdasarkan tingkat kekritisian mesin dari nilai severity, occurrence, dan detection setiap mode kegagalan. Jadwal perawatan yang dibuat mencakup jadwal pembersihan komponen, pelumasan, serta pengecekan masing-masing komponen mesin. Dengan jadwal perawatan yang dibuat berdasarkan metode RCM, diharapkan kerusakan mesin stenter finish akan dapat dikurangi. Selain jadwal perawatan, diusulkan juga form pengecekan (checklist) yang dapat digunakan oleh perusahaan untuk pertukaran informasi pemeliharaan mesin.

- b. Penelitian dengan judul “Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Pada Mesin *Blowing OM*” oleh Irawan, H et all (2013). Objek penelitian ini adalah pemeliharaan mesin produksi pada mesin *Blowing OM Machine*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengurangi jumlah kerusakan mesin pada PT. Industri Sandang Nusantara unit Patang Lawang. Metode yang digunakan adalah RCM, metode ini digunakan untuk pemeliharaan yang mengkombinasikan praktek dan strategi dari *preventive maintenance* dan *corective maintenance* untuk memaksimalkan umur (*life time*) dan fungsi system / *equipment* dengan biaya minimal (*minimumcost*). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa komponen kritis pada mesin *Blowing OM* berdasarkan frekuensi kerusakan mesin dan total *downtime* adalah komponen *flat belt* dan *spike lattice*. Hasil analisis interval perawatan menunjukkan bahwa jenis kerusakan permukaan karet *flat belt* tidak rata memiliki interval perawatan yang optimal.
- c. Penelitian dengan judul ” Penentuan Kebijakan Perawatan Berbasis *Reliability Centered Maintenance* dan Optimasi Pengadaan Komponen Pada Subsistem Kritis Lokomotif CC 204” oleh Indriani S & Judi A (2013). Objek dari penelitian ini adalah penentuan strategi perawatan pada subsistem lokomotif CC204 yang efektif dan efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kebijakan perawatan *preventive* yang efektif dan efisien untuk lokomotif CC204 dengan metode RCM. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh empat jenis tugas pemeliharaan yang diusulkan pada tingkat mode kegagalan tersebut sesuai jadwal pada kondisi yaitu, dijadwalkan restorasi, dijadwalkan discard, dan menemukan kegagalan dijadwalkan.
- d. Weny, Y et all. (2012) dengan judul “Perancangan Kebijakan Perawatan dan Penentuan Persediaan Spare Part di Sub Sistem Evaporasi Pabrik Urea Kaltim-3 PT Pupuk Kalimantan Timur” menyatakan Aktivitas perawatanyang dilakukan di PKT masih menunjukkan adanya *over* dan *under maintenance*. Oleh karena itu akan dilakukan perancangankegiatan perawatan dengan metode *Reliability Centered Maintenance* yang menghasilkan fungsi, kegagalan fungsi, serta *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Berdasarkan informasi pada FMEA tersebut, kemudian dihasil kankebijakan perawatan dan pelaksana teknis, serta data historis kerusakan yang digunakan untuk menghitung interval waktu perawatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan persediaan *sparepart* dengan

memperhatikan *lead time* pemesanan komponen. Dengan menentukan kebijakan perawatan dan persediaan *sparepart* yang tepat, maka biaya yang dikeluarkan dapat diminimalisir.

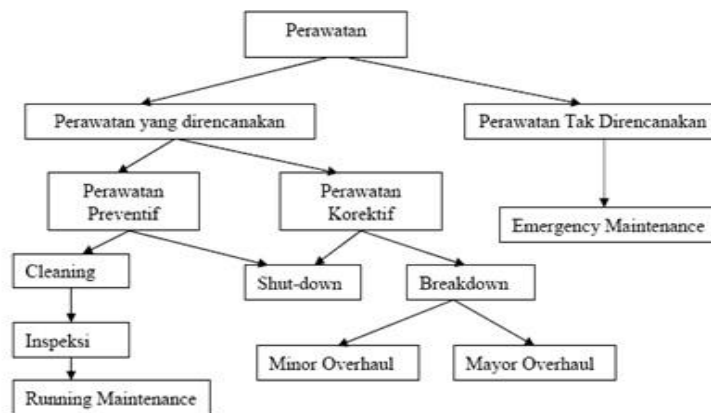
## **2.2 Kajian Deduktif**

### **2.2.1 Definisi Perawatan**

Menurut Lisna, W (2009) *Maintenance* adalah semua tindakan teknik dan administratif yang dilakukan untuk menjaga agar kondisi mesin atau peralatan tetap baik dan dapat melakukan segala fungsinya dengan baik, efisien, dan ekonomis sesuai dengan tingkat keamanan yang tinggi. Menurut *Ebeling (1997)*, perawatan (*maintenance*) didefinisikan sebagai aktivitas agar komponen/sistem yang rusak akan dikembalikan/diperbaiki dalam suatu kondisi tertentu pada periode tertentu.

Sedangkan menurut Sofyan, A (1999:95). Pengertian pemeliharaan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas/peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Dari beberapa pendapat di atas bahwa dapat disimpulkan bahwa kegiatan pemeliharaan dilakukan untuk merawat ataupun memperbaiki peralatan perusahaan agar dapat melaksanakan produksi dengan efektif dan efisien sesuai dengan pesanan yang telah direncanakan dengan hasil produk yang berkualitas.

## 2.2.2 Jenis – jenis Perawatan



Gambar 2.1 Jenis-jenis perawatan

Sumber : Eko (2011)

Menurut (Corder et al., 1992) kegiatan *Maintenance* terbagi kedalam 2 bentuk *Maintenance*, yaitu pemeliharaan terencana (*Planned Maintenance*) dan pemeliharaan tak terencana (*Unplanned Maintenance*). Berikut penjelasan dari kedua pemeliharaan tersebut :

### 1. *Planned Maintenance* (Pemeliharaan terencana)

*Planned maintenance* atau disebut juga dengan perawatan terencana merupakan suatu bagian dari pilar pada *Total Productive Maintenance* (TPM), *planned maintenance* bertujuan untuk menciptakan suatu kondisi mesin yang bebas masalah dan menghasilkan suatu produk yang bebas cacat, sehingga kepuasan pelanggan dapat terpenuhi. Lalu definisi *Planned maintenance* menurut Lisna, W (2009), “pemeliharaan yang diorganisasi dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya.” Jadi dapat dikatakan *Planned maintenance* merupakan jenis perawatan yang telah telah diorganisir, direncanakan, dijadwalkan, serta dilakukan pencatatan pada setiap prosesnya. Pada *Planned maintenance* mempunyai tiga bentuk tipe perawatan, yaitu :

- a. *Reactive* atau *Corrective maintenance (repair and breakdown)* Perawatan perbaikan ini dilakukan tepat pada saat terjadi kegagalan mesin atau pada saat mesin benar-benar rusak. Perawatan ini menuntut operator serta teknisi untuk melakukan hal-hal yang mencakup :

- 1) Mencatat hasil yang timbul dari kerusakan yang terjadi secara detail dan terperinci, sehingga operator dan teknisi dapat menganalisa kerusakan dan mencari penyebabnya.
- 2) Ikut memberikan masukan-masukan setelah melakukan pencatatan serta menganalisanya, yang tujuannya adalah mencegah kejadian serupa terjadi kembali pada mesin/peralatan.

b. *Preventive maintenance*

Perawatan jenis ini adalah kebalikan dari perawatan perbaikan, perawatan ini dilakukan untuk mencegah dan memperbaiki masalah sebelum terjadi kegagalan mesin/peralatan. Dalam hal ini pemeriksaan merupakan kegiatan yang penting untuk pembuatan laporan dan merencanakan perawatan yang rutin untuk kegiatan selanjutnya agar lebih tepat dan cepat. Langkah-langkah standar yang dilakukan untuk melakukan perawatan jenis ini adalah :

- 1) Membersihkan area dekat mesin/peralatan, seperti membersihkan debu, membersihkan sisa pelumas yang tercecer, membersihkan sisa-sisa *scrap*, dan lain-lain.
- 2) Inspeksi mesin/peralatan setelah digunakan, seperti memeriksatingkat ketinggian oli, memeriksa apakah ada baut di mesin yang lepas, atau kabel yang lepas serta terbuka, dan lain-lain.
- 3) Pelumasan terhadap bagian mesin/peralatan yang mungkin memerlukannya.

2. *Unplanned Maintenance* (Pemeliharaan Tidak Terencana)

Pemeliharaan tak terencana adalah pemeliharaan darurat, yang didefinisikan sebagai pemeliharaan dimana perlu segera dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang serius, misalnya hilangnya produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk keselamatan kerja. (Corder, et all 1992).

### 2.3 *Reliability Centered Maintenance*

Menurut Moubray, J (1991) RCM adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan keperluan/kebutuhan *maintenance* pada physical asset dalam konteks operasional. Anthony Smith dalam bukunya yang berjudul *Reliability Centere Maintenance* mendefinisikan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) sebagai suatu metode untuk mengembangkan, memilih dan membuat alternatif strategi perawatan

yang didasarkan pada kriteria operasional, ekonomi dan keamanan. penelitian mengenai RCM pada dasarnya berusaha menjawab 7 pertanyaan utama tentang item/peralatan yang diteliti. Ketujuh pertanyaan mendasar tersebut adalah:

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standart dari item dalam konteks pada saat ini (*system function*) ?
2. Bagaimana item/peralatan tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya (*failure functional*) ?
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure mode*) ?
4. Apakah yang terjadi pada saat kerusakan (*failure effect*) ?
5. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut terjadi (*failure consequence*) ?
6. Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah masing-masing kegagalan tersebut (*proactive task and task interval*) ?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak berhasil ditemukan ?

Dalam aplikasi metode *reliability centered maintenance* ini tentunya mempunyai maksud dan tujuan dalam pencapaian hasilnya. Menurut Hutabarat (2008) metode RCM mempunyai beberapa tujuan yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya baik
2. Untuk memperoleh informasi yang penting untuk melakukan *improvement* pada desain awal yang kurang baik
3. Untuk mengembangkan sistem *maintenance* yang dapat mengembalikan kepada *reliability* dan *safety* seperti awal mula *equipment* dari deteriorasi yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan.
4. Untuk mewujudkan semua tujuan diatas dengan biaya minimum.

Untuk mengimplementasikan metode *Reliability Centered Maintenance* memerlukan langkah-langkah sebagai berikut (Hutabarat, 2008) :

1. Identifikasi *equipment* yang penting untuk di-*maintain*, biasanya digunakan metode *failure mode effect analysis* (FMEA) dan *fault tree analysis* (FTA).
2. Menentukan penyebab terjadinya kegagalan, tujuannya untuk memperoleh probabilitas kegagalan dan memetukan komponen kritis yang rawan terhadap kegagalan. Untuk melakukan hal ini diperlukan data historis yang lengkap.
3. Mengembangkan kegiatan analisis FTA seperti menentukan prioritas *equipment* yang perlu di *maintain*.

4. Mengklasifikasikan kebutuhan tingkat *maintenance*.
5. Mengimplementasikan keputusan berdasarkan RCM.
6. Melakukan evaluasi ketika sebuah *equipment* dioperasikan maka data secara *real lifemulai* direkan, tindakan dari RCM perlu di evaluaasi ulang setiap saat agar terjadi proses penyempurnaan

### **2.3.1 Fungsi Dan Standar Kinerja (*Functions and Performance Standard*)**

Proses dari RCM ini dimulai dengan mendefinisikan fungsi dan standar kinerja dari tiap asset dalam konteks operasionalnya. Hal ini sangat menekankan pada kebutuhan untuk mengukur standar kinerja yang memungkinkan. Standar ini meliputi *output*, kualitas produk, *customer service*, biaya operasi, dan keamanan.

### **2.3.2 Kegagalan Fungsi (*Functional Failure*)**

Kegagalan dapat diartikan sebagai ketidakmampuan suatu aset menjalankan fungsionalitas sebagaimana mestinya yang diharapkan. Sementara *functional failure* atau kegagalan fungsional dapat didefinisikan sebagai ketidakmampuan dari suatu aset dalam memenuhi kinerja standar dari fungsi yang diinginkan oleh pengguna. Kegagalan fungsional bisa diidentifikasi setelah fungsi dan kinerja standar dari aset tersebut sudah didefinisikan sebelumnya. Tiap fungsi dari suatu aset bisa memiliki lebih dari satu kegagalan fungsional.

### **2.3.3 Modus Kegagalan (*Failure Mode*)**

Tujuan dari identifikasi model kegagalan ini adalah untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya *functional failure*, sehingga dapat diketahui tindakan apa yang harus dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan.

### 2.3.4 Dampak Kegagalan (*Failure Effect*)

Dampak kegagalan (*Failure effects*) mendeskripsikan apa yang akan terjadi jika model kegagalan terjadi. Penjelasan ini harus memasukkan semua informasi yang di butuhkan dalam menilai konsekuensi dari kegagalan tersebut, seperti:

1. Apa bukti (jika ada) bahwa kegagalan tersebut telah terjadi.
2. Dengan cara bagaimana (jika ada) hal tersebut mengancam keselamatan atau lingkungan.
3. Kerusakan fisik apa yang disebabkan oleh kegagalan tersebut.
4. Apa yang harus dikerjakan untuk memperbaiki kegagalan tersebut.

### 2.3.5 Konsekuensi Kegagalan (*Failure Consequences*)

Menurut Moubray, J (1997), tiap kegagalan bisa mengakibatkan konsekuensi yang berbeda-beda terhadap perusahaan. Konsekuensi dari kegagalan inilah yang menjadi fokus utama RCM. Proses RCM mengklasifikasikan *failure consequences* kedalam empat kategori, yaitu:

1. Kosekuensi Kegagalan Tersembunyi  
*Hidden failure* merupakan kegagalan fungsional yang tidak bisa diketahui oleh operator pada kondisi operasi normal. *Hidden failure* tidak memberikan dampak secara langsung, tapi lama kelamaan dapat menyebabkan *failure* yang lebih fatal.
2. Kosekuensi Kesehatan dan Lingkungan  
 Suatu kegagalan memiliki konsekuensi keselamatan jika memungkinkan untuk melukai atau bahkan membunuh seseorang, dan memiliki konsekuensi lingkungan jika bisa menimbulkan pelanggaran/penggantian spesifikasi dari komponen (modifikasi sistem), penambahan sistem baru, relokasi mesin dan perubahan proses atau prosedur operasi.
3. Kosekuensi Operasional  
 Sebuah kegagalan mempunyai kosekuensi operasional jika mempengaruhi produksi.
4. Kosekuensi non-operasional  
 Kegagalan yang tidak berpengaruh terhadap keselamatan tetapi hanya melibatkan biaya perbaikan saja.

### 2.3.6 *Failure Mode and Effect Analysis*

Menurut Smith & Glenn (2004) FMEA merupakan suatu metode yang bertujuan untuk mengevaluasi desain system dengan mempertimbangkan bermacam-macam mode kegagalan dari system yang terdiri dari komponen-komponen dan menganalisis pengaruh-pengaruhnya terhadap keadaan system tersebut, dengan penelusuran pengaruh-pengaruh kegagalan komponen sesuai dengan level system, item-item khusus yang kritis dapat dinilai dan tindakan-tindakan perbaikan diperlukan untuk memperbaiki desain dan mengeliminasi atau mereduksi probabilitas dari mode-mode kegagalan yang kritis.

*Failur Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (*failure modes*). FMEA dapat diterapkan pada semua bidang, baik manufaktur maupun jasa, juga pada semua jenis produk. Namun penggunaan FMEA akan paling efektif apabila diterapkan pada produk atau proses-proses baru, atau produk dan proses sekarang yang akan mengalami perubahan besar sehingga dapat mempengaruhi keandalan dari produk dan proses itu (Gaspersz, 2002). Hal utama dalam FMEA adalah *risk priority number* (RPN). RPN merupakan produk matematis dari keseriusan *effect* (*severity*), kemungkinan terjadinya *cause* akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan *effect* (*occurrence*) dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi (*detection*). RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut

$$RPN = Saverity * Occurrence * Detection \dots \dots \dots (2.1)$$

Hasil RPN menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi, sebagai petunjuk kearah tindakan perbaikan. Ada tiga komponen yang membentuk nilai RPN ketiga komponen tersebut adalah :

1. *Saverity*

Menidentifikasi dampak potensial yang terburuk diakibatkan oleh suatu kegagalan. Dampak ini ditentukan berdasarkan tingkat cedera yang dialami personal, tingkat kerusakan peralatan, akibat pada produksi dan lama *downtime* yang terjadi. Pengelompokan tingkat *severity* dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 2.1 Tingkatan *severity*

( Sumber : Gasperz, 2002)

| <b>Tingkatan<br/><i>severity</i><br/><i>Ranking</i></b> | <b>Akibat</b>        | <b>Kriteria Verbal</b>   | <b>Akibat pada<br/>produksi</b>   |
|---|----------------------|--|---|
| 1   | Tidak ada akibat     | Tidak mengakibatkan apa-apa(tidak ada akibat) penyesuaian yang diperlukan  | proses dalam pengendalian   |
| 2   | Akibat sangat ringan | Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya ada sedikit terjadi gangguan kecil. Hanya terjadi sangat sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti .akibat hanya dapat diketahui oleh operator yang berpengalaman | Proses berada dalam pengendalian, hanya membutuhkan sedikit penyesuaian   |
| 3   | Akibat ringan        | Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya ada sedikit terjadi gangguan kecil, akibat diketahui oleh semua operator  | Proses telah berada diluar pengendalian, membutuhkan beberapa penyesuaian |
| 4   | Akibat Minor         | Mesin tetap beroperasi dan aman,tetapi menimbulkan beberapa kegagalan produksi, operator merasa tidak puas karena kinerja berkurang  | kurang dari 30 menit <i>downtime</i> atau tidak kehilangan waktu produksi |

| <b>Tingkatan<br/><i>severity</i><br/><i>Ranking</i></b> | <b>Akibat</b>     | <b>Kriteria Verbal</b>  | <b>Akibat pada<br/>produksi</b>  |
|---|-------------------|---|----------------------------------|
| 5   | akibat moderat    | mesin tetap beroperasi dan aman, tetapi menimbulkan beberapa kegagalan beberapa produk, operator merasa tidak puas karena kinerja berkurang | 30 - 60 menit<br><i>Downtime</i> |
| 6   | akibat signifikan | mesin tetap beroperasi dan aman, tetapi menimbulkan kegagalan beberapa produk, operator merasa sangat tidak puas dengan kinerja sendiri     | 1 - 2 jam <i>downtime</i>        |
| 7   | Akibat major      | mesin tetap beroperasi dan aman, tetapi tidak dapat dijalankan, operator merasa sangat tidak puas   | 2 - 4 jam <i>downtime</i>        |
| 8   | Akibat Ekstrem    | mesin tidak dapat beroperasi, telah kehilangan fungsi utama mesin   | 4 - 8 jam <i>downtime</i>        |
| 9   | akibat serius     | Mesin gagal beroperasi, sehingga tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja  | > 8 jam <i>downtime</i>          |

| <b>Tingkatan<br/>saverity<br/>Ranking</b> | <b>Akibat</b>       | <b>Kriteria Verbal</b>  | <b>Akibat pada<br/>produksi</b> |
|---|---------------------|---|---------------------------------|
| 10  | Akibat<br>berbahaya | Mesin tidak dapat dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba, bertentangan dengan peraturan keselamatan kerja | > 8 jam <i>downtime</i>         |

## 2. Frekuensi terjadinya kegagalan (*occurrence*)

*Occurrence* adalah tingkat keseringan terjadinya kerusakan atau kegagalan.

Frekuensi terjadinya kegagalan (*occurrence*) dapat dilihat dalam table berikut :

Tabel 2.2 Tingkatan *occurrence*

( Sumber : Gasperz, 2002)

| <b>Ranking</b> | <b>Kejadian</b>         | <b>Kriteria</b>                             | <b>Tingkatan terjadinya<br/>kerusakan</b> |
|----------------|-------------------------|---|---|
| 1              | Hampir tidak pernah ada | Kerusakan tidak pernah terjadi              | Lebih besar dari 10.00 jam operasi        |
| 2              | Remote                  | kerusakan mesin jarang terjadi              | 6.001 - 10.000 jam operasi                |
| 3              | Sangat sedikit          | kerusakan mesin terjadi sangat              | 3.001 - 6.000 jam operasi                 |
| 4              | Sedikit                 | Kerusakan mesin terjadi sedikit             | 2.001 - 3.000 jam operasi                 |
| 5              | Rendah                  | Kerusakan mesin terjadi pada tingkat rendah | 1.001 - 2.000 jam operasi                 |
| 6              | Medium                  | Kerusakan mesin terjadi pada tingkat medium | 401 - 1.000 jam operasi                   |
| 7              | Agak tinggi             | Kerusakan terjadi agak tinggi               | 101 - 400 jam operasi                     |
| 8              | Tinggi                  | Kerusakan terjadi tinggi                    | 11 - 100 jam operasi                      |
| 9              | Sangat tinggi           | kerusakan terjadi sangat tinggi             | 2 - 10 jam operasi                        |
| 10             | hampir selalu           | Kerusakan mesin selalu terjadi              | kurang dari 1 jam operasi                 |

## 3. *Detection*

*Detection* adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan kegagalan yang dapat terjadi. Nilai *detection* dapat dilihat dalam table berikut :

Tabel 2.3 Tingkatan *Detection*

( Sumber : Gasperz, 2002)

| <b>Ranking</b> | <b>Akibat</b> | <b>Kriteria Verbal</b>  |
|----------------|---------------|---|
| 1              | Hampir Pasti  | Perawatan preventif akan selalu mendeteksi penyebab atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan |

| Ranking | Akibat          | Kriteria Verbal  |
|---------|-----------------|--|
| 2       | Sangat tinggi   | Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan   |
| 3       | Tinggi          | Perawatan preventif memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan          |
| 4       | Moderate Highly | Perawatan preventif memiliki kemungkinan moderate highly untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan |
| 5       | Moderate        | Perawatan preventif memiliki kemungkinan moderate untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan        |
| 6       | Rendah          | Perawatan preventif memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan          |
| 7       | Sangat rendah   | Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan   |
| 8       | Remote          | Perawatan preventif memiliki kemungkinan remote untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan          |

### 2.3.7 Logic Tree Analysis (LTA)

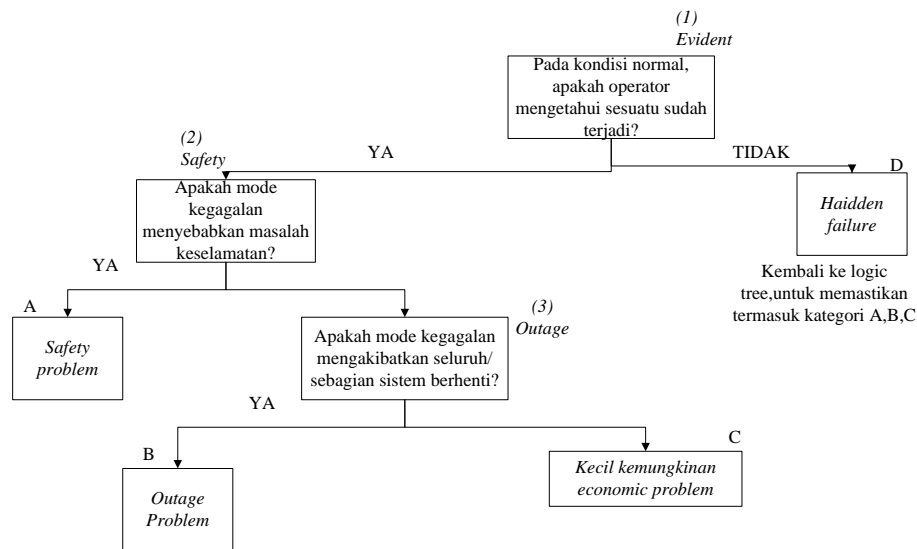
Penyusunan *logic tree analysis* memiliki tujuan untuk memberikan prioritas pada tiap mode kerusakan dan melakukan tinjauan fungsi, kegagalan fungsi sehingga status mode kerusakan tidak sama. Prioritas suatu mode kerusakan dapat diketahui dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah disediakan didalam LTA ini. Analisis kekritisan menempatkan setiap mode kerusakan kedalam satu dari empat kategori. Empat hal yang penting dalam analisis kekritisan yaitu sebagai berikut (Smith & Glenn, 2004) :

1. *Evident* , yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?
2. *Safety* , yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
3. *Outage* , yaitu apakah mode kerusakan inimengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti?

4. *Category* , yaitu pengkategorian yang diperoleh setelah menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah diajukan. Pada bagian ini komponen terbagi menjadi 4 kategori, yakni :

- a. Kategori A (*safety problem*)
- b. Kategori B (*outage problem*)
- c. Kategori C (*economic problem*)
- d. Kategori D (*haidden failure*)

Pada gambar 2.2 dapat dilihat struktur pertanyaan dari *logic tree analysis* (LTA).



Gambar 2.2 Struktur *logic tree analysis*

Sumber : Smith & Glenn, (2004)

## 2.4 Keandalan (*Reliability*)

*Reliabilty* merupakan probabilitas bahwa suatu komponen/sistem akan menginformasikan suatu fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi (Charles, E. 1997). Sedangkan menurut *Blanchard* (1994) *reliabilty* merupakan probabilitas bahwa sebuah unit akan memberikan kemampuan yang memuaskan untuk suatu tujuan tertentu dalam periode waktu tertentu ketika dalam kondisi lingkungan tertentu. Variabel terpenting yang berkaitan dengan *reliabilty* adalah waktu. Dalam hal ini adalah waktu yang berkaitan dengan laju kerusakan (*failure rate*) yang dapat menerangkan secara lebih jelas keandalan suatu sistem. Berdasarkan definisi diatas, maka ada beberapa hal yang harus di perhatikan, yaitu :

1. *Probability* (peluang), setiap item memiliki umur atau waktu yang berbeda antara satu dengan yang lainnya sehingga terdapat sekelompok item yang memiliki rata-rata hidup tertentu.
2. *Performance* (kinerja), keandalan merupakan suatu karakteristik performansi system dimana suatu system yang andal harus dapat menunjukkan performansi yang memuaskan jika dioperasikan.
3. *Time of operation* (waktu operasi), keandalan suatu system dinyatakan dalam suatu periode waktu, karena waktu merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksesnya suatu system.
4. *Operation condition* (kondisi saat operasi), perlakuan yang diterima oleh suatu system dalam menjalankan fungsinya dalam arti bahwa dua buah system dengan tingkat mutu yang sama dapat memberikan tingkat keandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya.

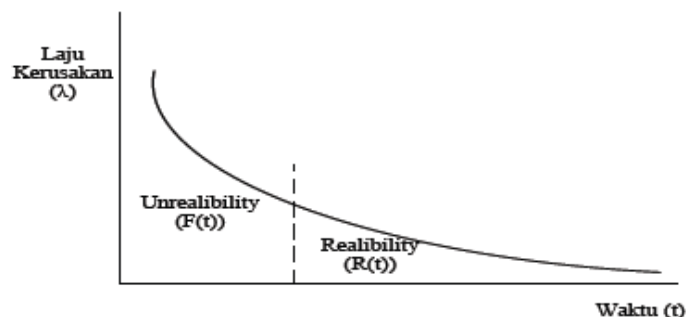
#### 2.4.1 Fungsi Keandalan

Menurut Charles, E. (1997) fungsi keandalan didefinisikan sebagai probabilitas suatu alat akan beroperasi dengan baik tanpa mengalami kerusakan pada suatu periode waktu  $t$  dalam kondisi operasi standar. Keandalan didefinisikan sebagai kemungkinan berhasil atau kemungkinan peralatan akan memenuhi fungsi yang diinginkan paling tidak hingga waktu tertentu ( $t$ ), maka dapat diuraikan sebagai:

$$R(t) = P(x \geq t) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$R(t)$  = keandalan yang merupakan probabilitas bahwa waktu kerusakan lebih besar atau sama dengan  $t$ .



Gambar 2.3 Kurva *Reliability*

Sumber: Charles, E. (1997)

$$F(t) = 1 - R(t) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

$F(t)$  = probabilitas terjadinya kerusakan sebelum waktu tertentu ( $t$ )

$\lambda$  = laju kerusakan

### 2.4.2 Laju Kerusakan

Laju kegagalan adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan juga merupakan perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi dari suatu komponen system. Laju kegagalan dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$\lambda(t)$  = Laju Kerusakan

$R(t)$  = keandalan

$f(t)$  = fungsi kepadatan probabilitas

## 2.5 Distribusi Kegagalan

Terdapat 4 macam distribusi yang digunakan agar mengetahui pola data yang terbentuk, distribusi tersebut antara lain adalah distribusi *weibull*, normal, lognormal dan eksponensial (Charles, E. 1997).

### 1. Distribusi *Weibull*

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan karena distribusi ini baik digunakan untuk laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun. Terdapat dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini yaitu  $\theta$  yang disebut dengan parameter skala dan  $\beta$  yang disebut dengan parameter bentuk. Fungsi *reliability* yang terbentuk dalam distribusi *weibull* yaitu :

*Reliability function* :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots(2.5)$$

$e = 2,718$  (bilangan natural logaritma)

$R(t)$  = probabilitas keandalan

$\beta$  = parameter bentuk

$\theta$  = parameter skala

$t$  = periode waktu yang diinginkan

## 2. Distribusi Normal

Distribusi normal cocok digunakan dalam memodelkan fenomena keausan (kelelahan) atau kondisi *wear out* dari suatu item. Sebenarnya distribusi ini bukanlah distribusi *reliabilitas* murni karena variable acaknya memiliki *range* antara minus tak hingga sampai plus tak hingga. Akan tetapi karena hamper untuk semua nilai  $\mu$  dan  $\sigma$  peluang untuk variable acaknya yang memiliki nilai negative dapat diabaikan, maka distribusi normal dapat digunakan sebagai pendekatan yang baik untuk proses kegagalan. Parameter yang digunakan adalah  $\mu$  (nilai tengah) dan  $\sigma$  (standar deviasi) karena hubungannya dengan distribusi lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi normal yaitu

*Reliability function:*

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana

$\sigma$  = deviasi standar

$\mu$  = rata-rata

$\Phi$  = fungsi CDF dari distribusi normal

$t$  = periode waktu yang diinginkan

## 3. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu  $s$  yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*)  $t_{med}$  sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi *weibull* juga sesuai dengan distribusi lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat pada distribusi lognormal yaitu :

*Reliability function*

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots(2.7)$$

Diamana

$t_{med}$  = parameter lokasi

$s$  = parameter bentuk

$\Phi$  = fungsi CDF dari distribusi normal

$t$  = periode waktu

#### 4. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakanyang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini merupakan distribusi yang paling mudah untuk dianalisa. Parameter yang digunakan dalam distribusi eksponensial adalah  $\lambda$  yang menunjukkan rata – rata kedatangan kerusakan terjadi. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi eksponensial adalah

*Reliability function*

$R(t) =$

$$\exp(-\lambda t) \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana :

$\lambda$  = laju kerusakan

$t$  = periode waktu

## 2.6 Penentuan Distribusi Antar Waktu Kerusakan dan Perbaikan

Dalam menentukan distribusi bagi data selang waktu antar kerusakan dan selang waktu antar perbaikan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai *index of fit*. Kemudian dilakukan identifikasi awal distribusi yang cocok, pengujian distribusi, serta penaksiran parameter (Charles, E. 1997). Persamaan regresi adalah persamaan matematik yang memungkinkan kita untuk meramalkan nilai-nilai suatu peubah tak bebas dari nilai-nilai satu atau lebih peubah bebas. Analisa korelasi mengukur kekuatan hubungan antara dua peubah melalui sebuah bilangan yaitu koefisien korelasi atau koefisien korelasi momen hasil kali *Pearson* yang dinotasikan dengan  $r$ . Bilangan ini disebut juga sebagai *index of fit*. Dengan koefisien korelasi ini dua peubah dapat diukur hubungannya meskipun memiliki satuan berbeda. (Walpole, 1992)

Berikut adalah perhitungan nilai koefisien korelasi:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Nilai r ini berkisar antara -1 sampai dengan 1, dimana semakin mendekati -1 atau 1 menyatakan hubungan kuat antara kedua peubah acak, dan nilai r yang mendekati 0 menunjukkan hubungan yang lemah atau tidak ada hubungan antara kedua peubah acak. Identifikasi awal untuk selang waktu antar kerusakan dan selang waktu antar perbaikan dilakukan dengan menggunakan metode *Least-Square Curve Fitting*. Metode ini lebih akurat daripada metode *probability plot* karena subjektivitas dalam menilai kelurusan sebuah garis menjadi berkurang. Dalam mengidentifikasi distribusi suatu komponen dengan menggunakan metode ini, dipilih distribusi yang memiliki nilai *index of fit* terbesar. Perhitungan pada metode *Least-Square Curve Fitting* ialah (Charles, E. 1997):

$$F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

$t_i$  = data waktu ke-i

$n$  = jumlah kerusakan yang terjadi

$F(t_i)$  = *Cumulative Distribution*

a. Distribusi *Weibull*

Perhitungan metode *Least-Square Curve Fitting* untuk distribusi *Weibull* ialah:

$$x_i = \ln(t_i) \dots\dots\dots(2.11)$$

$$y_i = \ln \ln \frac{1}{1-F(t_i)} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

$t_i$  = data kerusakan ke-i

$x_i$  dan  $y_i$  = arah kurva distribusi pada waktu ke i, nilai  $x > y$

b. Distribusi Normal

Perhitungan metode *Least-Square Curve Fitting* untuk distribusi normal ialah

$$x_i = t_i \dots\dots\dots(2.13)$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1} F t_i \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

$z_i$  = didapat dari tabel *standard normal probabilities*

$x_i$  dan  $y_i$  = arah kurva distribusi pada waktu ke i, nilai  $x > y$

c. Distribusi lognormal

Perhitungan metode *Least-Square Curve Fitting* untuk distribusi lognormal ialah:

$$x_i = \ln(t_i) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1} F t_i \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

$z_i$  = didapat dari tabel *standard normal probabilities*

$x_i$  dan  $y_i$  = arah kurva distribusi pada waktu ke  $i$ , nilai  $x > y$

#### d. Distribusi Eksponensial

Perhitungan metode *Least-Square Curve Fitting* untuk distribusi Eksponensial ialah

$$x_i = t_i \dots\dots\dots(2.17)$$

$$y_i = \ln \frac{1}{1-F t_i} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

$x_i$  dan  $y_i$  = arah kurva distribusi pada waktu ke  $i$ , nilai  $x > y$

## 2.7 Uji Kecocokan Distribusi

Uji kecocokan distribusi dimaksudkan untuk mengetahui atau memastikan bahwa distribusi data yang telah dipilih benar benar mewakili data. Pengujian kecocokan distribusi yang dilakukan adalah uji spesifik *goodnes of fit*. *Goodness of fit* dipilih karena uji tersebut memiliki probabilitas yang lebih besar dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai. Dalam hal ini uji *goodness of fit* terbagi menjadi dua, yaitu *general test* (uji umum) dan *spasific test* (uji khusus). *Genaral test* biasanya menggunakan *che square* dengan ukuran sampel yang relative besar sedangkan *specific test* menggunakan *least square test* dengan ukuran sampel yang relative kecil. Yang merupakan uji khusus yaitu *barlett test* untuk distribusi eksponensial, *mann's test* untuk distribusi *weibull*, *Kolmogrov-Smirnov* untuk distribusi lognormal dan lognormal (Charles, E. 1997).

### 2.7.1 Uji Barlett Test Untuk Pengujian Distribusi Eksponensial

*Barlett test* merupakan pengembangan tes yang spesifik untuk distribusi eksponensial.

Hipotesisnya berupa :

$H_0$  : Data *time failure* berdistribusi eksponensial

H<sub>1</sub> : Data *time failure* tidak berdistribusi eksponensial

$$B = \frac{2n \ln \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln t_i}{1 + \frac{(n+1)}{6n}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana  $t_i$  : waktu kerusakan ke  $i$   
 $n$  : jumlah kerusakan  
 $B$  : nilai uji statistik untuk uji *Barlett test*

Data waktu antar kerusakan mengikuti distribusi eksponensial jika

$$x^2_{1 - \frac{\alpha}{2x} - 1} < B < x^2_{\frac{\alpha}{2} - 1} \dots\dots\dots(2.20)$$

**2.7.2 Uji Mann’s Test Untuk Pengujian Distribusi Weibull**

Menurut Ebeling (1997) Hipotesisi untuk melakukan uji ini yaitu :

H<sub>0</sub> : Data *time failure* berdistribusi *weibull*

H<sub>1</sub> : Data *time failure* tidak berdistribusi *weibull*

Uji statistiknya

$$M = \frac{K_1 \sum_{i=1}^n [(\ln t_{i1} - \ln t_i) / M_i]}{K_2 \sum_{i=1}^n [(\ln t_{i1} - \ln t_i) / M_i]} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$k_1 = \lceil \frac{n}{2} \rceil \dots\dots\dots(2.22)$$

$$k_2 = \lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor \dots\dots\dots(2.23)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \dots\dots\dots(2.24)$$

$$Z_i = \ln [-\ln (1 - \frac{i-0,5}{n+0,25})] \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana

$t_i$  = Data antar waktu kerusakan yang ke  $i$

$n$  = jumlah data antar kerusakan suatu komponen

$M_i$  = nilai pendekatan Mann untuk data ke  $i$

$M$  = nilai perhitungnan distribusi weibull

$k_1$  =  $n/2$

$k_2$  =  $(n-1)/2$

Bila  $M_{hitung} < F_{crit}$  maka H<sub>0</sub> diterima. Nilai  $F_{crit}$  diperoleh dari table distribusi F dengan  $\alpha = 0.05$

### 2.7.3 Uji Kolmogrov – Smirnov Test

Uji *Kolmogrov – Smirnov* dikembangkan oleh H.W Liliefors pada tahun 1967. Menurut Charles, E. (1997) hipotesis untuk melakukan uji ini yaitu :

$H_0$  : Data *time failure* berdistribusi normal (lognormal)

$H_1$  : Data *time failure* tidak berdistribusi normal (lognormal)

Tes statistik :  $D_n = \max ( D_1, D_2 )$

Dimana :

$$D_1 = \max \left[ \Phi \left( \frac{t_i - \mu}{\sigma} \right) - \frac{i-1}{n} \right] \dots \dots \dots (2.26)$$

$$D_2 = \max \left[ \frac{i}{n} - \Phi \left( \frac{t_i - \mu}{\sigma} \right) \right] \dots \dots \dots (2.27)$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \dots \dots \dots (2.28)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n-1} \dots \dots \dots (2.29)$$

Keterangan

$t_i$  = *time to failure* ke  $i$

$\mu$  = rata rata *time to failure*

$\sigma$  = standart deviasi

$n$  = banyaknya data

Jika  $D_n < D_{crit}$  maka  $H_0$  diterima. Nilai  $D_{crit}$  diperoleh dari Tabel critical values for *kolmogrov – smirnov test for normality*. Perbedaan pengujian ini untuk distribusi normal dan lognormal yaitu pada distribusi lognormal yang terletak di nilai  $x_i = \ln(t_i)$ .

## 2.8 Penentuan Parameter Distribusi

Pendugaan parameter digunakan untuk menaksir parameter dari distribusi yang terpilih. Parameter ini hanya dapat diestimasi dan tidak dapat secara tepat diketahui karena tidak ada suatu metode pun yang dapat mengetahui dengan tepat parameter suatu distribusi berdasarkan data sampel yang diambil.

Pendugaan parameter dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) kecuali distribusi *weibull* yang menggunakan regresi linier. Sehingga

diperoleh parameter yang lebih baik karena metode MLE memberikan *likelihood function* yang sebesar mungkin untuk setiap nilai  $t_i$ .

a. *Weibull*

Parameter untuk distribusi weibull adalah  $\beta$  (*shape parameter*) dan  $\theta$  (*scale parameter*)

$$\beta = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{b \sum x_i}{n} \dots \dots \dots (2.31)$$

$$\theta = \exp^{-a/\beta} \dots \dots \dots (2.32)$$

Dimana:

$n$  = jumlah unit yang diamati

$t_i$  adalah data waktu kerusakan atau perbaikan ke- $i$

b. *Eksponensial Maximum Likelihood Estimator*

Adapun nilai MLE untuk parameter dari distribusi Eksponensial adalah:

$$\lambda = \frac{r}{T} \dots \dots \dots (2.33)$$

Dimana:  $r = n$  = jumlah data kerusakan atau perbaikan

$$T = \sum_{i=1}^r t_i = \text{jumlah/ total waktu kerusakan}$$

c. *Normal Maximum Likelihood Estimator*

Parameter untuk distribusi normal adalah  $\mu$  dan  $\sigma$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \dots \dots \dots (2.34)$$

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n-1} \dots \dots \dots (2.35)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2.36)$$

Keterangan

$t_i$  = data waktu kerusakan ke  $i$

$n$  = banyaknya data kerusakan

$\mu$  = nilai tengah

$\sigma$  = standar deviasi

d. Lognormal *Maximum Likelihood Estimator*

Parameter untuk distribusi lognormal adalah s (parameter bentuk) dan  $t_{med}$  (parameter lokasi)

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n \ln^2 t_i - \mu^2}{n} \dots\dots\dots(2.38)$$

$$t_{med} = \exp^{\mu} \dots\dots\dots(2.39)$$

Keterangan

$t_i$  = data waktu kerusakan ke  $i$

$n$  = banyaknya data kerusakan

$\mu$  = nilai tengah

**2.9 Mean Time To Failure**

*Mean time to failure* merupakan rata-rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan, dimana rata-rata waktu ini merupakan waktu ekspektasi terjadinya kerusakan dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal.

Berikut ini adalah perhitungan nilai MTTF untuk masing-masing distribusi.

a. Distribusi *Weibull*.

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots(2.40)$$

Nilai  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$  didapat dari  $\Gamma(x)$  tabel dari fungsi gamma

b. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \dots\dots\dots(2.41)$$

c. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots\dots(2.42)$$

d. Distribusi eksponensial

$$MTTF = 1/\lambda \dots\dots\dots(2.43)$$

**2.10 Mean Time To Repair**

Dalam perhitungan rata rata atau nilai tengah dari fungsi probabilitas untuk waktu perbaikan, sangatlah perlu diperhatikan distribusi data perbaikannya. Penentuan untuk pengujian ini dilakukan dengan cara sama dengan yang sudah di jelaskan sebelumnya.

a. Distribusi *Weibull*

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \dots\dots\dots(2.44)$$

Nilai  $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$  didapat dari  $\Gamma(x)$  tabel dari fungsi gamma

b. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \dots\dots\dots(2.45)$$

c. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\frac{s}{2}} \dots\dots\dots(2.46)$$

d. Distribusi eksponensial

$$MTTR = 1/\lambda \dots\dots\dots(2.47)$$

**2.11 Model Perawatan**

Model penggantian komponen yang akan digunakan adalah dengan melakukan penggantian komponen dalam selang waktu  $t_p$  yang optimal. Tujuan menentukan selang waktu penggantian komponen yang optimal adalah untuk meminimumkan total ekspektasi biaya penggantian persatuan waktu, berikut adalah persamaan total ekspektasi biaya penggantian persatuan waktu

$$TC = \frac{(C_p \times R \ t_p) + (C_f \times (F \ t_p))}{t_p} \dots\dots\dots(2.48)$$

TC : total ekspektasi biaya penggantian komponen persatuan waktu

$C_p$  : *Preventive maintenance cost*

$C_f$  : *Corrective maintenance cost*

$R(T_p)$  : keandalan komponen pada saat  $T_p$

$F(T_p)$  : ketidakandalan komponen pada saat  $T_p$ , dimana  $F(T_p) = 1 - R(T_p)$ .

Persamaan biaya *preventive* dan *corrective maintenance* yang digunakan sebagai berikut :

$$C_p / C_f = W + CM + L \dots\dots\dots(2.49)$$

W : Upah *engineer* selama perawatan

CM : Biaya untuk komponen, dalam hal ini adalah harga komponen

L : Pendapatan yang hilang (*loss of revenue*) akibat dilakukannya tindakan perawatan, baik perawatan pencegahan maupun perbaikan.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi dan Objek Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di di PT Kereta Api Indonesia Daerah Oprasional (DAOP) VI Jogjakarta devisi Sarana, sedangkan obyek dalam penelitian ini adalah menejemen perawatan yang ada pada PT KAI di bagian perawatan lokomotif.

#### **3.2 Identifikasi Masalah**

Dalam tahap ini akan dilakukan pengidentifikasian masalah yang dihadapi, yaitu kapan waktu yang tepat untuk melakukan perawatan terhadap lokomotif CC201 dan berapa biaya perawatan pada komponen kritis?

#### **3.3 Pengumpulan Data**

##### **3.3.1. Sumber Data**

Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian kali ini untuk mendapatkan data yang dibutuhkan adalah dengan mencari data sekunder yang didapat melalui berupa bukti, catatan atau laporan historis yang telah tersusun dalam arsip (data dokumenter) yang dipublikasikan dan yang tidak dipublikasikan oleh PT KAI DAOP VI Yogyakarta.

##### **3.3.2. Data Yang Dibutuhkan**

Pengumpulan data yang diperlukan dari sumber data skunder dan sumber data primer adalah sebagai berikut :

1. Data umum perusahaan
2. Data mesin lokomotif CC201 dan komponennya
3. Data waktu antar kerusakan atau *time to failure* (TTF)

4. Data penyebab kegagalan beserta efek yang ditimbulkan akibat adanya kegagalan
5. Biaya penggantian dan pencegahan atau *preventive maintenance* dan biaya pengganti kerusakan atau *failure replacement*.

### **3.4 Pengolahan Data**

#### **3.4.1 Penentuan Komponen Kritis**

Penentuan komponen kritis ditentukan berdasarkan banyak nya kerusakan dan biaya yang dikeluarkan akibat kerusakan komponen tersebut yang mengeluarkan biaya terbesar, pemilihan komponen kritis menggunakan diagram pareto, agar lebih memudahkan dalam menentukan frekuensi yang terbesar diantara komponen satu dengan komponen lainnya.

#### **3.4.2 *Reliability Centerd Maintenance***

Berikut ini adalah langkah-langkah dari metode *reliability centered maintenance* (RCM) :

- A. Pemilihan system dan pengumpulan informasi  
Dalam tahap ini akan dilakukan pemilihan terhadap sistem yang ada agar sistem yang dikaji tidak terlalu luas. Setelah sistem dipilih kemudian dilakukan pengumpulan informasi untuk sistem lainnya.
- B. Pendefinisian batasan sistem  
Pendefinisian batasan sistem digunakan untuk menghindari tumpang tindih antara satu sistem dengan sistem lainnya.
- C. Penjelasan sistem dan blok diagram fungsi  
Pada tahap ini akan dijelaskan tentang fungsi dari komponen kritis dan juga akan menjelaskan bagaimana sistem mengalami kegagalan dan usaha yang dilakukan untuk mencegah serta mendeteksi terjadinya kegagalan.
- D. Penjelasan fungsi dan kegagalan fungsi

Pada tahap ini akan dijelaskan tentang fungsi dari komponen kritis dan juga akan menjelaskan bagaimana sistem mengalami kegagalan dan usaha yang dilakukan untuk mencegah serta mendeteksi terjadinya kegagalan.

E. *Failure modes and effect analysis*

Tahap awal dari penyusunan *failure modes and effect analysis* (FMEA) adalah untuk melengkapi matriks peralatan dan kegagalan fungsi. Matriks ini dibuat dengan mengkombinasikan daftar SWBS dengan informasi kegagalan-kegagalan fungsi. Pada FMEA ini akan dilakukan perhitungan nilai *risk probability number* (RPN) berdasarkan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*.

$$RPN = severity \times occurrence \times detection \dots\dots\dots(3.1)$$

$$RPN = S \times O \times D \dots\dots\dots(3.2)$$

F. Analisis cabang logika / *logic tree analysis*

Penyusunan analisis cabang logika (LTA) memiliki tujuan untuk memberikan prioritas pada tiap mode kerusakan serta melakukan tinjauan dan fungsi sehingga status mode kerusakan tidak sama. Prioritas suatu kerusakan dapat diketahui dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah disediakan dalam LTA ini. Empat hal penting dalam analisis kekritisan tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?
2. *Safety*, yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
3. *Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan seluruh atau sebagian mesin terhenti?
4. *Category*, yaitu pengkategorian yang diperoleh setelah menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah diajukan.

Pada bagian ini komponen terbagi atas 4 kategori

1. Kategori A (masalah keselamatan)
2. Kategori B (masalah gangguan sistem)
3. Kategori C (masalah ekonomi)
4. Kategori D (masalah tersmbunyi)

### 3.4.3 Penentuan Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Pemilihan distribusi ini dilakukan dengan metode *least square curve fitting* yaitu berdasarkan nilai *index off fit* ( $r$ ) yang paling besar. Pemilihan distribusi ini terdiri dari distribusi *weibull*, normal, lognormal, eksponensial dimana distribusi yang dipilih adalah distribusi yang paling mewakili nilai *index off fit* terbesar. Setelah diperoleh distribusi yang sesuai kemudian dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai *mean time to failure* (FMEA) dan *mean time to repair* (MTTR).

### 3.4.4 Uji Goodness Of Fit Pada Masing-masing Data Kerusakan

Perhitungan nilai *goodness of fit* dilakukan setelah mendapat nilai  $r$  terbesar setelah perhitungan *index of fit*. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui apakah data yang telah diperoleh sesuai atau mendekati distribusi dari nilai  $r$  terbesar. Apabila tidak didapatkan hasil dari perhitungan yang menyatakan bahwa data sesuai dengan distribusi yang terpilih, maka dilakukan pengujian ulang menggunakan nilai  $r$  terbesar kedua yang didapatkan dan begitu seterusnya hingga diperoleh kesesuaian dengan distribusi tertentu. *Goodness of fit* yang digunakan untuk masing-masing distribusi adalah *goodness of fit mean test* untuk distribusi *weibull*, *goodness of fit Barlett* untuk distribusi eksponensial, *goodness of fit Kolmogrov-Smirnov* untuk distribusi normal dan lognormal.

### 3.4.5 Identifikasi Maximum Likelihood Estimator

Pendugaan parameter digunakan untuk menaksir parameter dari distribusi yang terpilih. Parameter ini hanya dapat diestimasi dan tidak dapat secara tepat diketahui karena tidak ada suatu metode pun yang dapat mengetahui dengan tepat parameter suatu distribusi berdasarkan data sampel yang diambil. Pendugaan parameter dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) memberikan hasil estimasi yang lebih akurat dibandingkan dengan *least-square curve fitting*. Sehingga diperoleh parameter yang lebih baik karena metode MLE memberikan *likelihood function* yang sebesar mungkin untuk setiap nilai  $t_i$ .

### 3.4.6 Penentuan Interval Waktu Pergantian dan Biaya Pergantian Komponen

Model yang digunakan dalam penentuan interval waktu penggantian pencegahan adalah model *age replacement*. Dalam metode ini tindakan penggantian dilakukan pada saat pengoperasiannya mencapai umur tertentu yang sudah ditetapkan ( $t_p$ ). Apabila pada selang waktu tersebut tidak terjadi kerusakan, maka penggantian tetap dilakukan sebagai tindakan pencegahan. Apabila sistem mengalami kerusakan pada selang waktu tersebut, maka dilakukan tindakan penggantian perbaikan dan penggantian berikutnya dilakukan berdasarkan perhitungan  $t_p$  terhitung dari waktu penggantian perbaikan tersebut. Model penentuan interval penggantian pencegahan dengan criteria minimasi biaya dapat dirumuskan sebagai berikut (Jardine, 1973) :

$$TC = \frac{(C_p \times R(t_p)) + (C_f \times (F(t_p)))}{t_p} \dots \dots \dots (3.3)$$

$C_p$  : Preventive maintenance cost

$C_f$  : Corrective maintenance cost

$R(T_p)$  : keandalan komponen pada saat  $T_p$

$F(T_p)$  : ketidakandalan komponen pada saat  $T_p$ , dimana  $F(T_p) = 1 - R(T_p)$ .

### 3.5 Analisis Hasil

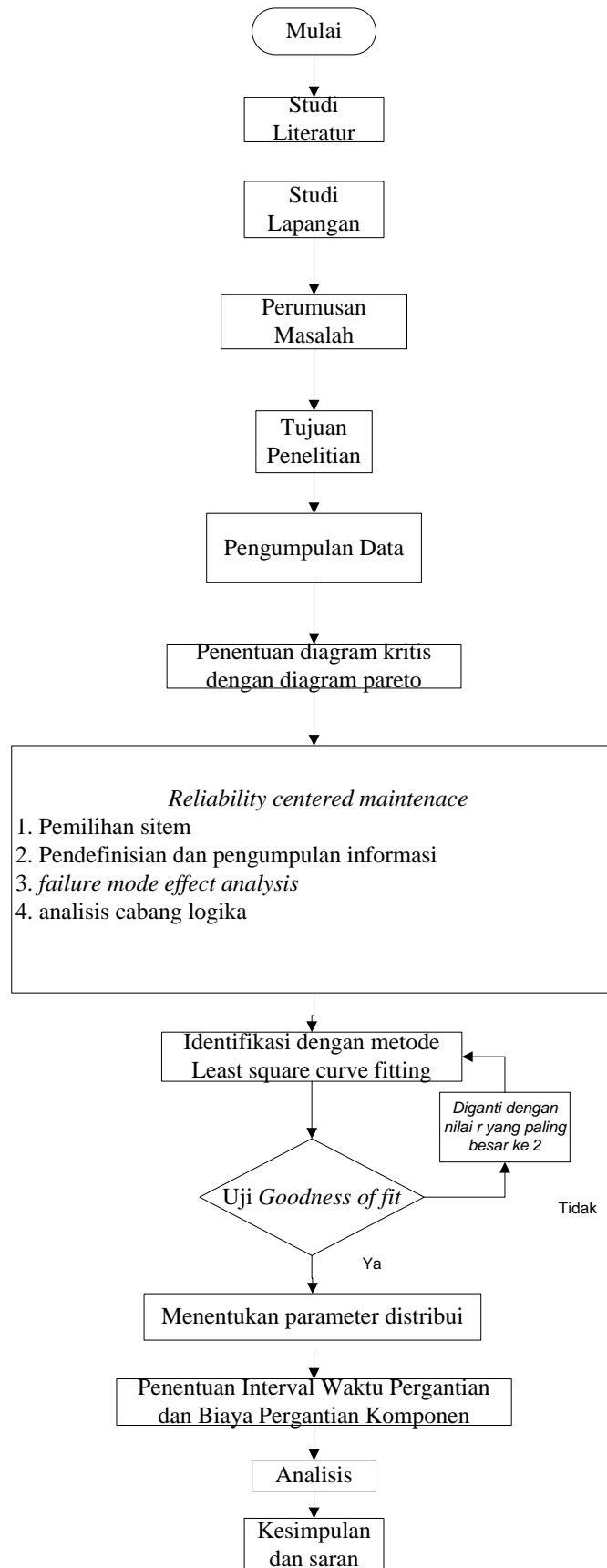
Langkah ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran lengkap mengenai penelitian yang dilakukan, mengarah kepada analisa hasil implementasi sebelum ditarik suatu kesimpulan, sehingga member pemahaman mengenai pemecahan masalah dengan lebih mendalam. Alat bantu dalam analisa ini adalah dengan menggunakan Microsofot excel. Microsofot excel digunakan untuk menghitung keandalan komponen mesin dan *mean time failure*

### 3.6 Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir berupa penarikan kesimpulan berdasarkan pengumpulan data dan analisis data. Penarikan kesimpulan ini bertujuan menjawab tujuan penelitian yang sudah ditetapkan terlebih dahulu. Saran-saran juga dikemukakan untuk memberikan masukan/tindakan yang sebaiknya dilakukan devisi sarana PT KAI DAOP VI Yogyakarta.

### **3.7 Bagan Alir Penelitian**

Diagram alir penelitian merupakan urutan kerja atau urutan pelaksanaan penelitian, yang mencakup proses pengumpulan data sampai dengan penarikan kesimpulan dan saran. Diagram alir penelitian ini bisa dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Profil Perusahaan

##### 4.1.1 Profil PT KAI DAOP IV Yogyakarta

Daerah Operasi VI Yogyakarta, (Daerah Operasi VI Ngayogyakarta) atau disingkat dengan Daop 6 Jogja atau Daop VI YK adalah salah satu daerah operasi perkeretaapian terluas di Indonesia, di bawah lingkungan PT Kereta Api Indonesia (Persero) yang berada di bawah Direksi PT Kereta Api Indonesia dipimpin oleh seorang *Executive Vice President* (EVP) yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Direksi PT Kereta Api Indonesia. Daerah Operasi VI Yogyakarta memiliki beberapa stasiun besar, di antaranya adalah stasiun Tugu, Lempuyangan, Klaten, Solo Balapan, Purwosari, dan Solo Jebres. Daerah Operasi VI Yogyakarta memiliki 4 lintas Operasi dan memiliki 7 lintas tak beroperasi. Daerah operasi 6 juga memiliki bengkel dan pusat perawatan, yang pertama Balai Yasa Lebih dikenal dengan sebutan Balai Yasa Pengok (berdasarkan kampung tempat balai yasa itu berada),

Balai Yasa Pengok ini menjadi balai yasa terbesar di Indonesia. Balai yasa ini khusus digunakan untuk perbaikan dan perawatan lokomotifdiesel elektrik maupun hidraulik. Yang ke dua Dipo Lok YK dipo ini berada di Jalan Suryonegaran dan berada satu kompleks dengan stasiun Tugu. Dipo ini dikhususkan untuk lokomotif-lokomotif besar kelas CC201, CC203, empat buah CC204, atau CC206 yang masih beroperasi untuk KA penumpang maupun barang. Subdipo Lokomotif solo adalah yang ke tiga, subdipo ini berada satu kompleks dengan Stasiun Solo Balapan. Terdapat juga dipo kereta yang letaknya juga satu kompleks dengan stasiun dan khusus untuk menyimpan rangkaian kereta-kereta api yang berangkat dari Solo. Sub dipo lokomotif purwosari adalah yang terakhir, dipo ini terletak di sebelah timur-laut Stasiun Purwosari. Dahulu,

dipo ini melayani perawatan kereta api penumpang. Namun saat ini dipo ini hanya melayani perawatan kereta api semen dan rangkaian kereta api uap Jaladara.



Gambar 4.1 PT KAI DAOP IV Yogyakarta

#### 4.1.2 Slogan, Visi & Misi PT KAI DAOP IV

Sebagai perusahaan jasa penyedia angkutan masal, PT KAI memiliki slogan, visi dan misi untk kedepannya, diantaranya adalah

- Slogan  
“Anda adalah prioritas kami”
- Visi  
“Menjadi penyedia jasa perkeretaapian terbaik yang focus pada pelayanan pelanggan dan memenuhi harapan *stakeholders*”.
- Misi  
“Menyelenggarakan bisnis perkeretaapian dan bisnis usaha penunjangnya melalui praktek bisnis dan model organisasi terbaik untuk memberikan nilai tambah yang tinggi bagi *stakeholders* dan kelestarian lingkungan berdasarkan 4 pilar utama : keselamatan, ketepatan waktu, pelayanan , dan kenyamanan.”

### 4.1.3 Logo perusahaan



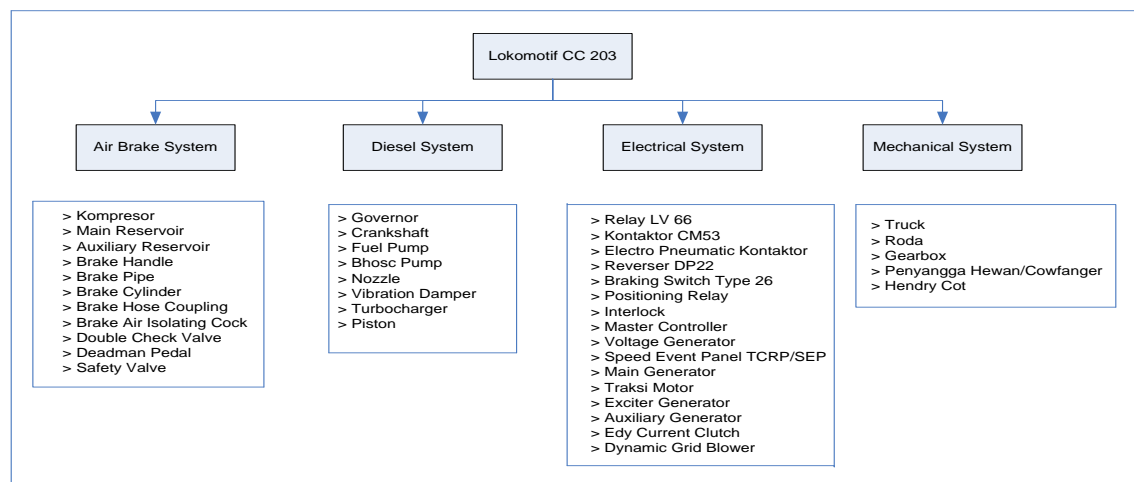
Gambar 4.2 logo PT KAI

Logo PT KAI mempunyai makna yaitu garis warna orange dan warna biru melengkung melambangkan gerakan yang dinamis PT KAI dalam mencapai visi dan misi, 2 garis warna orange melambangkan proses pelayanan prima (kepuasan pelanggan) yang ditunjukkan pada pelanggan internal dan eksternal. Anak panah berwarna putih melambangkan nilai integritas yang harus dimiliki insan PT KAI dalam mewujudkan pelayanan prima 1 garis lengkung berwarna biru melambangkan semangat inovasi yang harus dilakukan dalam memberikan nilai tambah ke *stakeholders*. Bila dilihat dari gaya gambar lugas, tajam, teknis selaras dengan staf teknis kereta api. Ujung garis tajam tetapi melengkung itu menyiratkan arah atau kecepatan (aerodinamis), tetapi cenderung agak tumpul melengkung, tidak terlalu tajam, agar bias member kesan aman (suatu bentuk yang runcing cenderung member kesan ancaman, rasa sakit dan sebagainya). Sifat gambar lebih lugas, obyektif, rasional karena bentuk geometrisnya yang bersifat dominan dan maskulin dan berkesan sangat modern, teknis, dan jelas terlihat.

## 4.2 Pengumpulan Data

### 4.2.1 Jumlah Kerusakan Lokomotif

Lokomotif CC201 terbagi menjadi empat jenis sistem besar, yaitu Air brake, Diesel, Electric, dan Mechanic atau yang sering disebut Sistem ADEM lokomotif CC 201. Setiap jenis sistem tersebut dapat di-*breakdown* lagi menjadi beberapa *equipment* dan komponen yang lebih kecil. Berikut ini adalah *System Breakdown Structure (SBS)* dari sistem ADEM lokomotif CC 201 :



Gambar 4.3 System Breakdown Structure lokomotif CC 201

#### 4.2.2 Data Jumlah kerusakan pada sistem lokomotif CC201

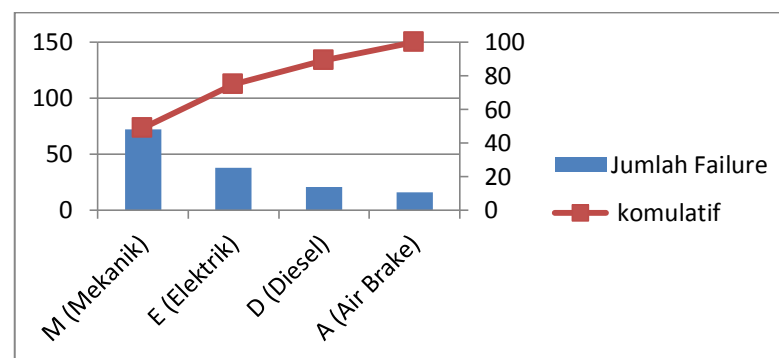
Data jumlah kerusakan yang ada pada sistem di lokomotif CC201 dari bulan januari 2015 hingga September 2015

Tabel 4.1 Jumlah kerusakan jenis lokomotif CC201

| Jenis         | Jumlah Failure | persentase | komulatif |
|---------------|----------------|------------|-----------|
| M (Mekanik)   | 72             | 48.98%     | 48.98%    |
| E (Elektrik)  | 38             | 25.85%     | 74.83%    |
| D (Diesel)    | 21             | 14.29%     | 89.12%    |
| A (Air Brake) | 16             | 10.88%     | 100.00%   |
| Total         | 147            | 100%       |           |

Persentase sistem Elektrik =  $(38 / 147) \times 100 = 25.85\%$

Persentase komulatif Elektrik =  $48.98\% + 25.85\% = 74.83\%$

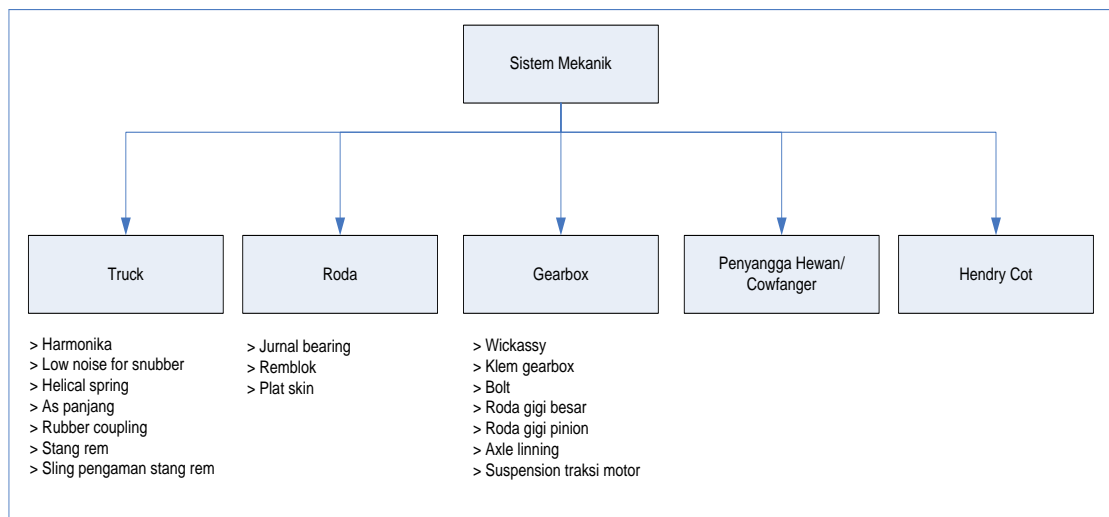


Gambar 4.4 diagram pareto jumlah kerusakan jenis lokomotif

Dari data diatas dapat dilihat kerusakan sistem yang ada pada lokomotif CC201, kerusakan yang paling banyak yaitu sebanyak *72failure*. Oleh karena itu, selanjutnya penelitian ini akan terfokus pada pembahasan dalam sistem mekanik.

### 4.3 Pengolahan Data

Sistem mekanik merupakan sistem yang mencakup komponen-komponen yang bersifat mekanik atau berhubungan dengan putaran dan gerak. Sistem ini dibangun oleh beberapa *equipment* dan komponen yang memiliki fungsi berbeda, namun saling terkait satu sama lain. Rincian mengenai sistem mekanik dijelaskan melalui *Breakdown Structure* berikut ini :



Gambar 4.5 *Breakdown Structure* Sistem Mekanik

### 4.3.1 Penentuan Komponen Kritis

Komponen kritis dalam penelitian ini adalah komponen dalam sistem mekanik yang memiliki frekuensi kerusakan banyak dan memiliki biaya yang tinggi. Seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.2 Frekuensi Kerusakan Komponen Sistem Mekanik

| Komponen Sistem Mekanik | Jumlah Failure | harga satuan    | Total harga      | Persentase | Kumulatif |
|-------------------------|----------------|-----------------|------------------|------------|-----------|
| Roda gigi pinion        | 10             | Rp14,768,247.00 | Rp147,682,470.00 | 83.82%     | 83.82%    |
| Axle lining             | 8              | Rp2,494,973.00  | Rp19,959,784.00  | 11.32%     | 95.14%    |
| Wickassy                | 8              | Rp364,637.00    | Rp2,917,096.00   | 1.65%      | 96.79%    |
| Stang rem               | 3              | Rp390,000.00    | Rp1,170,000.00   | 0.66%      | 97.45%    |
| Rem blok                | 14             | Rp69,875.00     | Rp978,250.00     | 0.55%      | 98.00%    |
| As panjang              | 2              | Rp468,800.00    | Rp937,600.00     | 0.53%      | 98.53%    |
| Bolt                    | 12             | Rp73,515.00     | Rp882,180.00     | 0.50%      | 99.03%    |
| Suspension traksi m     | 1              | Rp715,000.00    | Rp715,000.00     | 0.40%      | 99.43%    |
| Low noise for snubl     | 9              | Rp42,419.00     | Rp381,771.00     | 0.21%      | 99.64%    |
| Klem gearbox            | 1              | Rp214,630.00    | Rp214,630.00     | 0.12%      | 99.76%    |
| Rubber coupling         | 2              | Rp88,600.00     | Rp177,200.00     | 0.10%      | 99.86%    |
| Plat skin               | 2              | Rp78,975.00     | Rp157,950.00     | 0.08%      | 100%      |

Perhitungan untuk *axle lining* adalah sebagai berikut :

Diasumsikan pada setiap kerusakan, PT KAI mengganti 1 komponen yang rusak

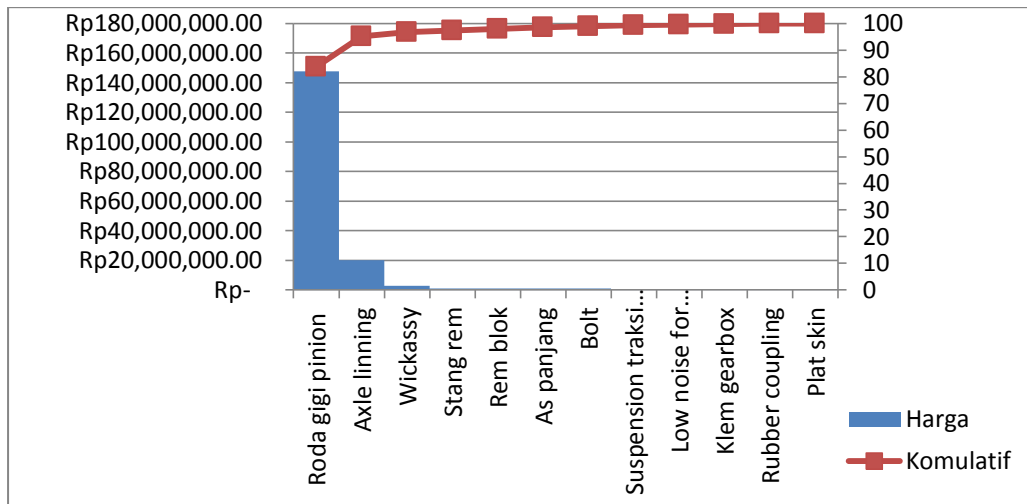
Jumlah *failure* = 8

Harga satuan = Rp 2.494.973.00

Total harga = 8 x Rp 2.494.973.00 = Rp 19.959.784,00

Persentase =  $\frac{\text{total harga kerusakan komponen}}{\text{total harga kerusakan semua komponen}} \times 100 = \frac{\text{Rp } 19.959.784}{\text{Rp } 176.173.931} \times 100 = 11,32 \%$

Persentase kumulatif = persentase kumulatif rodagigi pinion + persentase *axle lining* = 82,82 % + 11,32% = 95,14 %



Gambar 4.6 diagram pareto

Berdasarkan Tabel 4.6, dapat dilihat dari seringnya kerusakan dan biaya dapat dikatakan roda gigi pinion merupakan komponen kritis, selain jumlah kerusakannya sebanyak 10 kali, harga dari komponen tersebut juga cukup mahal, sehingga biaya penggantian roda gigi pinion lebih mahal dari komponen lainnya walaupun ada komponen lain yang memiliki jumlah kerusakan lebih banyak dari gigi pinion tetapi biaya penggantian tidak semahal biaya roda gigi pinion, sehingga roda gigi pinion dapat dikatakan komponen kritis. Kemudian menurut hasil dari *failure mode and effect analysis* equipment yang memiliki nilai *risk priority number* (RPN) adalah *axle lining* dan *wickassy* dimana fungsi dari *wickassy* memiliki nilai RPN yang paling tinggi, oleh karena pertimbangan itu *wickassy* juga masuk ke dalam komponen kritis. Kemudian *axle lining* juga termasuk komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi dan dapat dilihat dari diagram pareto menurut jumlah kerusakan dan segi biaya *axle lining* berada di urutan ke 2 setelah roda gigi pinion, sehingga *axle lining* juga masuk dari salah satu komponen kritis.

### 4.3.2 Failure Mode and Effect Analysis

Pada tahap ini mendefinisikan dari kegagalan-kegagalan fungsi dari dan penyebab dari setiap kegagalan pada sistem mekanik. Berikut merupakan tabel indentifikasi FMEA .

Tabel 4.3 FMEA Sistem Mekanik

| <b>NO</b> | <b>Equipment</b> | <b>Function</b>              | <b>Funtion Failure</b>                 | <b>Failure mode</b>  | <b>Effect of Failure</b>                             | <b>S</b> | <b>O</b> | <b>D</b> | <b>RPN</b> |
|-----------|------------------|------------------------------|--|--|--|----------|----------|----------|------------|
| 1         | Roda gigi pinion | Menggerakkan roda gigi besar | Roda gigi pinion aus, retak atau patah | Tidak sesuai<br>posisi gearbox dan traksi motor akibat patahnya bolt, Pemakaian roda gigi pinion yang sudah terlalu lama | Kerja sistem mekanik akan terganggu, bahkan berhenti | 8        | 6        | 3        | 144        |

| <b>NO</b> | <b>Equipment</b> | <b>Function</b>                                    | <b>Funtion Failure</b>  | <b>Failure mode</b>                                  | <b>Effect of Failure</b>  | <b>S</b> | <b>O</b> | <b>D</b> | <b>RPN</b> |
|-----------|------------------|--|---|--|---|----------|----------|----------|------------|
| 2         | Axle lining      | Melicinkan putaran as roda di traksi motor         | Axle Linning aus  | Gesekan dengan as roda                               | Lokomotif tidak bisa jalan karena roda gigi pinion patah, bahkan dapat terguling karena perputaran as roda tidak stabil | 9        | 6        | 6        | 324        |
| 3         | Wickassy         | Melumasi as roda dengan traksi motor dan roda gigi | Selang Wickassy mampat sehingga tidak dapat mengalirkan pelumas / wickassy bocor karena karat | Selang melepuh akibat panas traksi motor dan gearbox | Lokomotif mogok   | 8        | 7        | 6        | 336        |
| 4         | stang rem        | Mengoperasikan rem blok                            | Stang rem keropos   | Stang rem berkarat/korosi                            | Lokomotif sulit dihentikan  | 6        | 5        | 3        | 90         |

| <b>NO</b> | <b>Equipment</b> | <b>Function</b>   | <b>Funtion Failure</b> | <b>Failure mode</b>  | <b>Effect of Failure</b>                        | <b>S</b> | <b>O</b> | <b>D</b> | <b>RPN</b> |
|-----------|------------------|---|------------------------|--|---|----------|----------|----------|------------|
| 5         | Rem blok         | Sebagai proses akhir dalam menghentikan lokomotif dengan independent brake  | Remblok aus            | Gesekan rem blok dengan roda pada saat melakukan independent brake | Lokomotif sulit dihentikan                      | 6        | 6        | 3        | 108        |
| 6         | Plat skin        | Mencegah benturan dan gesekan yang besar antara jurnal bearing dengan truck sehingga as roda dapat berputar dengan baik | Plat skin aus          | Gesekan plat skin dengan truck                                     | Lokomotif tidak bisa jalan karena rodanya macet | 7        | 3        | 3        | 63         |
| 7         | As Panjang       | Memutar fan radiator  | As panjang macet       | Kurangnya pelumasan as panjang                                     | Lokomotif mogok                                 | 8        | 3        | 3        | 72         |

| <b>NO</b> | <b>Equipment</b>        | <b>Function</b>   | <b>Funtion Failure</b>                          | <b>Failure mode</b>             | <b>Effect of Failure</b>   | <b>S</b> | <b>O</b> | <b>D</b> | <b>RPN</b> |
|-----------|-------------------------|---|---|---------------------------------|--|----------|----------|----------|------------|
| 8         | Bolt                    | Menahan dan menyesuaikan posisi gearbox dengan traksi motor | Bolt patah                                      | Bolt sudah terlalu lama dipakai | Lokomotif bisa terguling akibat roda terganjal gearbox dan traksi motor yang jatuh | 10       | 7        | 2        | 140        |
| 9         | Suspension traksi motor | Mengamankan traksi motor dari guncangan yang besar          | Suspension mati (tidak dapat meredam guncangan) | Per Suspension sudah jenuh      | Lokomotif bisa terguling akibat roda terganjal traksi motor yang jatuh             | 9        | 1        | 2        | 18         |

| <b>NO</b> | <b>Equipment</b>      | <b>Function</b>   | <b>Funtion Failure</b>  | <b>Failure mode</b>                                  | <b>Effect of Failure</b>  | <b>S</b> | <b>O</b> | <b>D</b> | <b>RPN</b> |
|-----------|-----------------------|---|---|--|---|----------|----------|----------|------------|
| 10        | Low Noise for snubber | Meminimasi tekanan body lokomotif pada truck saat terjadi goncangan | Low Noise for Snubber mati (tidak dapat meredam goncangan)                                      | Per low noise for snubber sudah jenuh                | Lokomotif bisa terguling  | 10       | 7        | 3        | 210        |
| 11        | Klem gear box         | Menyatukan gearbox atas dan bawah                                   | Klem gearbox kendor   | Goncangan dalam perjalanan                           | Lokomotif bisa terguling akibat roda terganjal gearbox yang jatuh | 9        | 2        | 3        | 52         |
| 12        | Rubber coupling       | Menyeimbangkan putaran as panjang                                   | Rubber coupling tidak stabil dalam menyeimbangkan putaran as panjang dalam memutar fan radiator | Bentuk silinder rubber coupling sudah tidak simetris | Lokomotif mogok   | 8        | 3        | 3        | 72         |

Keterangan :

S = *Saverity*

O = *Occurrence*

D = *Detectoin*

Data *failure mode and effect analysis* didapat dari wawancara langsung kepada petugas di bagian perawatan lokomotif, sedangkan nilai yang ada pada table didapat melalui table *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang ada pada bab 2. Cara menegetahui nilai dari RPN (*risk priority number*) adalah dengan menganalisa kerusakan yang ada pada bagian atau komponen di sistem mekanik.

Sebagai contoh nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* untuk komponen roda gigi pinion

a. *Severity* (S) = 8

Nilai 8 diperoleh dari *failure effect* yang terjadi jika terjadi kerusakan pada fungsi truck maka akan mengakibatkan Flash over pada komutator traksi motor jika ini terjadi maka lokomotif akan mogok dan membutuhkan waktu perbaikan lebih dari 4 jam, kemudian kita lihat di table *severity* dampak dari kegagalan fungsi ini mengakibatkan mesin tidak dapat beroperasi, telah kehilangan fungsi utama mesin, hingga didapatlah nilai atau ranking 8 untuk nilai *severity* nya.

b. *Occurrence* (O) = 6

Nilai 1 diperoleh dari melihat frekuensi kejadian, karena Lebih besar dari 1000 jam operasi tidak pernah terjadi kegagalan tersebut maka nilai *occurrence* nya mendapat ranking 1. Yang diperoleh dari tabel *occurrence*.

c. *Detection* (D) = 3

Nilai 3 didapat karena Perawatan preventif memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.

d. RPN (*risk priority number*) = 144

Nilai RPN = S x O x D = 8 x 1 x 3 = 24 RPN menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi, sebagai petunjuk kearah tindakan perbaikan dapat dilihat pada table 4.3 bahwa yang mendapat nilai RPN tertinggi adalah *axle lining* dan *wickassy*

### 4.3.3 Logic tree analysis

Berikut merupakan LTA (*Logic Tree Analysis*) untuk komponen yang menyebabkan kegagalan fungsi sistem Mekanik.

Tabel 4.4 *Logic Tree Analysis*

| NO | Equipment        | Function                     | Funtion Failure                        | Failure mode  | Effect of Failure                                    | Critical analisys |   |   |   |
|----|------------------|------------------------------|--|---|--|-------------------|---|---|---|
|    |                  |                              |  |   |  | E                 | S | O | C |
| 1  | Roda gigi pinion | Menggerakkan roda gigi besar | Roda gigi pinion aus, retak atau patah | Tidak sesuaiya posisi gearbox dan traksi motor akibat patahnya bolt, Pemakaian roda gigi pinion yang sudah terlalu lama | Kerja sistem mekanik akan terganggu, bahkan berhenti | Y                 | N | Y | B |

| NO | Equipment   | Function   | Funtion Failure   | Failure mode   | Effect of Failure   | Critical analisys |   |   |   |
|----|-------------|--|---|--|---|-------------------|---|---|---|
|    |             |  |   |  |   | E                 | S | O | C |
| 2  | Axle lining | Melicinkan putaran as roda di traksi motor         | Axle Linning aus  | Gesekan dengan as roda                               | Lokomotif tidak bisa jalan karena roda gigi pinion patah, bahkan dapat terguling karena perputaran as roda tidak stabil | Y                 | Y | - | A |
| 3  | Wickassy    | Melumasi as roda dengan traksi motor dan roda gigi | Selang Wickassy mampat sehingga tidak dapat mengalirkan pelumas | Selang melepuh akibat panas traksi motor dan gearbox | Lokomotif mogok   | T                 | - | - | D |

| NO | Equipment | Function   | Funtion Failure   | Failure mode   | Effect of Failure          | Critical analisys |   |   |   |
|----|-----------|--|-------------------|--|----------------------------|-------------------|---|---|---|
|    |           |  |                   |  |                            | E                 | S | O | C |
| 4  | stang rem | Mengoperasikan rem blok  | Stang rem kerosos | Stang rem berkarat/korosi  | Lokomotif sulit dihentikan | Y                 | N | Y | B |
| 5  | Rem blok  | Sebagai proses akhir dalam menghentikan lokomotif dengan independent brake | Remblok aus       | Gesekan rem blok dengan roda pada saat melakukan independent brake | Lokomotif sulit dihentikan | T                 | - | - | D |

| NO | Equipment  | Function  | Funtion Failure  | Failure mode                   | Effect of Failure                               | Critical analisys |   |   |   |
|----|------------|---|------------------|--------------------------------|---|-------------------|---|---|---|
|    |            |   |                  |                                |   | E                 | S | O | C |
| 6  | Plat skin  | Mencegah benturan dan gesekan yang besar antara jurnal bearing dengan truck sehingga as roda dapat berputar dengan baik | Plat skin aus    | Gesekan plat skin dengan truck | Lokomotif tidak bisa jalan karena rodanya macet | Y                 | N | Y | B |
| 7  | As Panjang | Memutar fan radiator  | As panjang macet | Kurangnya pelumasan as panjang | Lokomotif mogok                                 | Y                 | N | Y | B |

| NO | Equipment               | Function  | Funtion Failure                                 | Failure mode                    | Effect of Failure  | Critical analisys |   |   |   |
|----|-------------------------|---|---|---------------------------------|--|-------------------|---|---|---|
|    |                         |   |   |                                 |  | E                 | S | O | C |
| 8  | Bolt                    | Menahan dan menyesuaikan posisi gearbox dengan traksi motor | Bolt patah                                      | Bolt sudah terlalu lama dipakai | Lokomotif bisa terguling akibat roda terganjal gearbox dan traksi motor yang jatuh | T                 | - | - | D |
| 9  | Suspension traksi motor | Mengamankan traksi motor dari goncangan yang besar          | Suspension mati (tidak dapat meredam goncangan) | Per Suspension sudah jenuh      | Lokomotif bisa terguling akibat roda terganjal traksi motor yang jatuh             | Y                 | Y | - | A |

| NO | Equipment             | Function  | Funtion Failure  | Failure mode                          | Effect of Failure   | Critical analisys |   |   |   |
|----|-----------------------|---|--|---------------------------------------|---|-------------------|---|---|---|
|    |                       |   |  |                                       |   | E                 | S | O | C |
| 10 | Low Noise for snubber | Meminimasi tekanan body lokomotif pada truck saat terjadi goncangan | Low Noise for Snubber mati (tidak dapat meredam goncangan) | Per low noise for snubber sudah jenuh | Lokomotif bisa terguling  | T                 | - | - | D |
| 11 | Klem gear box         | Menyatukan gearbox atas dan bawah                                   | Klem gearbox kendor  | Goncangan dalam perjalanan            | Lokomotif bisa terguling akibat roda terganjal gearbox yang jatuh | Y                 | Y | - | A |

| NO | Equipment       | Function                          | Funtion Failure   | Failure mode   | Effect of Failure | Critical analisys |   |   |   |
|----|-----------------|-----------------------------------|---|--|-------------------|-------------------|---|---|---|
|    |                 |                                   |   |  |                   | E                 | S | O | C |
| 12 | Rubber coupling | Menyeimbangkan putaran as panjang | Rubber coupling tidak stabil dalam menyeimbangkan putaran as panjang dalam memutar fan radiator | Bentuk silinder rubber coupling sudah tidak simetris | Lokomotif mogok   | T                 | - | - | D |

Keterangan :

Y = ya                      E = Evident    S = Safety

N = Tidak                 O = Outage

Kategori A (*safety problem*)

Kategori B (*outage problem*)

Kategori C (*economic problem*)

Kategori D (*haidden failure*)

Untuk mengetahui kategori apa pada *failure mode* kita harus mengikuti struktur LTA yang ada pada gambar 2.2 yang ada di bab 2 contoh : pada mode kegagalan roda gigi pinion yang pertama yaitu :

1. *Evident* (E) roda gigi pinion retak atau patah pada struktur LTA terdapat pertanyaan pada kondisi normal apakah operator mengetahui sesuatu sesudah terjadi ? jawaban adalah YA dilanjutkan dengan pertanyaan berikutnya
2. *Safety* (S) apakah mode kegagalan menyebabkan keselamatan? karena jawabannya Tidak maka mode kegagalan truck masuk kedalam pertanyaan selanjutnya
3. *Outage* (O) yaitu apakah mode kegagalan mengakibatkan mesin mati? Apabila jawaban TIDAK maka mode kegagalan masuk kedalam kategori C (*economic problem* ) tetapi karena YA maka mode kegagalan masuk kedalam kategori B (*otage problem* ).

#### 4.3.4 Penentuan Jenis distribusi *Time to failure*

Berikut ini adalah data waktu kerusakan untuk komponen kritis.

Tabel 4.5 nilai time to failure komponen Roda gigi pinion

| No | Roda gigi pinion |               |
|----|------------------|---------------|
|    | Start            | TTF<br>(Hour) |
| 1  | 1/7/2015         |               |
| 2  | 1/28/2015        | 504           |
| 3  | 2/25/2015        | 672           |
| 4  | 3/21/2015        | 576           |
| 5  | 4/20/2015        | 720           |
| 6  | 5/20/2015        | 720           |
| 7  | 6/14/2015        | 600           |
| 8  | 7/16/2015        | 768           |
| 9  | 8/19/2015        | 816           |
| 10 | 9/25/2015        | 888           |

Tabel 4.6 nilai time to failure komponen *axle lining*

| No | Axle Linning |               |
|----|--------------|---------------|
|    | Start        | TTF<br>(Hour) |
| 1  | 1/10/2015    |               |
| 2  | 2/1/2015     | 528           |

| No | Axle Linning |               |
|----|--------------|---------------|
|    | Start        | TTF<br>(Hour) |
| 3  | 2/28/2015    | 648           |
| 4  | 4/2/2015     | 792           |
| 5  | 5/12/2015    | 960           |
| 6  | 6/27/2015    | 1104          |
| 7  | 7/28/2015    | 744           |
| 8  | 9/13/2015    | 1128          |

Tabel 4.7 nilai time to failure komponen *wickassy*

| No | Wickassy  |               |
|----|-----------|---------------|
|    | Start     | TTF<br>(Hour) |
| 1  | 1/8/2015  |               |
| 2  | 2/2/2015  | 600           |
| 3  | 3/4/2015  | 720           |
| 4  | 4/12/2015 | 936           |
| 5  | 5/22/2015 | 960           |
| 6  | 7/3/2015  | 1008          |
| 7  | 8/9/2015  | 888           |
| 8  | 9/27/2015 | 1176          |

Setelah didapat nilai *time to failure* kemudian dilakukan pemilihan jenis distribusi. Pemilihan jenis distribusi dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square CurveFitting*, yang berdasarkan nilai paling besar *index of fit* ( $r$ ).

1. Perhitungan nilai *index of fit* interval waktu antar kerusakan dengan distribusi Normal

Tabel 4.8 perhitungan *index of fit* dengan distribusi normal, roda gigi

| roda gigi pinion |     |         |         |         |                       |                       |        |        |          |
|------------------|-----|---------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|--------|--------|----------|
| no               | ti  | $i-0,3$ | $n+0,4$ | Fti     | $x_i = \frac{xi}{ti}$ | $y_i = \frac{yi}{Zi}$ | $xi^2$ | $yi^2$ | Xi x Yi  |
| 1                | 504 | 0.7     | 9.4     | 0.07447 | 504                   | -1.44                 | 254016 | 2.074  | -725.760 |
| 2                | 576 | 1.7     | 9.4     | 0.18085 | 576                   | -0.91                 | 331776 | 0.828  | -524.160 |
| 3                | 600 | 2.7     | 9.4     | 0.28723 | 600                   | -0.56                 | 360000 | 0.314  | -336.000 |
| 4                | 672 | 3.7     | 9.4     | 0.39362 | 672                   | -0.27                 | 451584 | 0.073  | -181.440 |
| 5                | 720 | 4.7     | 9.4     | 0.50000 | 720                   | 0.00                  | 518400 | 0.000  | 0.000    |
| 6                | 720 | 5.7     | 9.4     | 0.60638 | 720                   | 0.27                  | 518400 | 0.073  | 194.400  |
| 7                | 768 | 6.7     | 9.4     | 0.71277 | 768                   | 0.56                  | 589824 | 0.314  | 430.080  |
| 8                | 816 | 7.7     | 9.4     | 0.81915 | 816                   | 0.91                  | 665856 | 0.828  | 742.560  |
| 9                | 888 | 8.7     | 9.4     | 0.92553 | 888                   | 1.44                  | 788544 | 2.074  | 1278.720 |

| roda gigi pinion |    |           |       |     |            |            |                 |                    |           |
|------------------|----|-----------|-------|-----|------------|------------|-----------------|--------------------|-----------|
| no               | ti | i-<br>0,3 | n+0,4 | Fti | xi =<br>ti | yi =<br>Zi | xi <sup>2</sup> | yi <sup>2</sup>    | Xi x Yi   |
| Total            |    |           |       |     | 6264       | 0.00       | 4478400         | 6.576              | 878.400   |
|                  |    |           |       |     |            |            |                 | (∑Xi) <sup>2</sup> | 39237696  |
|                  |    |           |       |     |            |            |                 | (∑Yi) <sup>2</sup> | 0         |
|                  |    |           |       |     |            |            |                 | <b>r</b>           | 0.9913823 |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{9+0,4} = 0.07447$$

$$x_i = t_i = 504$$

$$x_i^2 = 504^2 = 254016$$

$$(\sum x_i)^2 = 6264^2 = 39237696$$

$$y_i = z_i = \square^{-1} F_{ti}$$

$$y_i = z_i = \square^{-1} 0.07447 = -1.44$$

$$y_i^2 = -1.44^2 = 2.074$$

$$(\sum y_i)^2 = 0^2 = 0$$

$$X_i \times Y_i = 504 \times (-1,44) = -432$$

yi didapatkan dengan melihat tabel *standardized normal probabilitas*

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

$$r = \frac{9 * 878,400 - (6264 * 0)}{\sqrt{9 * 4478400 - 39237696} \sqrt{9 * 6.576 - 0.00}} = 0.9913823$$

Tabel 4.9 perhitungan *index of fit* dengan distribusi normal, wickassy

| Normal Wickassy |      |           |       |         |         |         |                 |                    |            |
|-----------------|------|-----------|-------|---------|---------|---------|-----------------|--------------------|------------|
| no              | ti   | i-<br>0,3 | n+0,4 | Fti     | xi = ti | yi = Zi | xi <sup>2</sup> | yi <sup>2</sup>    | Xi x Yi    |
| 1               | 600  | 0.7       | 7.4   | 0.09459 | 600     | -1.31   | 360000          | 1.716              | -786.000   |
| 2               | 720  | 1.7       | 7.4   | 0.22973 | 720     | -0.74   | 518400          | 0.548              | -532.800   |
| 3               | 888  | 2.7       | 7.4   | 0.36486 | 888     | -0.35   | 788544          | 0.123              | -310.800   |
| 4               | 936  | 3.7       | 7.4   | 0.50000 | 936     | 0.00    | 876096          | 0.000              | 0.000      |
| 5               | 960  | 4.7       | 7.4   | 0.63514 | 960     | 0.35    | 921600          | 0.123              | 336.000    |
| 6               | 1008 | 5.7       | 7.4   | 0.77027 | 1008    | 0.75    | 1016064         | 0.563              | 756.000    |
| 7               | 1176 | 6.7       | 7.4   | 0.90541 | 1176    | 1.31    | 1382976         | 1.716              | 1540.560   |
| Total           |      |           |       |         | 6288    | 0.01    | 5863680         | 4.787              | 1002.960   |
|                 |      |           |       |         |         |         |                 | (∑Xi) <sup>2</sup> | 39538944   |
|                 |      |           |       |         |         |         |                 | (∑Yi) <sup>2</sup> | 0.00010    |
|                 |      |           |       |         |         |         |                 | <b>r</b>           | 0.97915317 |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{7+0,4} = 0,09459$$

$$x_i = t_i = 600 \qquad x_i^2 = 600^2 = 360000$$

$$(\sum x_i)^2 = 6288^2 = 39538944$$

$$y_i = z_i = \square^{-1} F t_i$$

$$y_i = z_i = \square^{-1} 0,09459 = -1.31 \qquad y_i^2 = -1.31^2 = 1,716$$

$$(\sum y_i)^2 = 0,01^2 = 0,00010$$

$$X_i \times Y_i = 600 \times (-1.31) = -786,000$$

$y_i$  didapatkan denagn melihat tabel *standardized normal probabilitas*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

$$r = \frac{7 * 1002.960 - (6288 * 0.01)}{7 * 5863680 - 39538944 \quad 7 * 4.787 - 0.00010} = 0.97915317$$

Tabel 4.10 perhitungan *index of fit* dengan distribusi normal, *axle lining*

| <b>axxle lining</b> |       |                       |         |         |                   |                   |         |                |                  |
|---------------------|-------|-----------------------|---------|---------|-------------------|-------------------|---------|----------------|------------------|
| no                  | $t_i$ | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | $n+0,4$ | $Ft_i$  | $\frac{x_i}{t_i}$ | $\frac{y_i}{Z_i}$ | $x_i^2$ | $y_i^2$        | $X_i \times Y_i$ |
| 1                   | 528   | 0.7                   | 7.4     | 0.09459 | 528               | -1.31             | 278784  | 1.716          | -691.680         |
| 2                   | 648   | 1.7                   | 7.4     | 0.22973 | 648               | -0.74             | 419904  | 0.548          | -479.520         |
| 3                   | 744   | 2.7                   | 7.4     | 0.36486 | 744               | -0.35             | 553536  | 0.123          | -260.400         |
| 4                   | 792   | 3.7                   | 7.4     | 0.50000 | 792               | 0.00              | 627264  | 0.000          | 0.000            |
| 5                   | 960   | 4.7                   | 7.4     | 0.63514 | 960               | 0.35              | 921600  | 0.123          | 336.000          |
| 6                   | 1104  | 5.7                   | 7.4     | 0.77027 | 1104              | 0.75              | 1218816 | 0.563          | 828.000          |
| 7                   | 1128  | 6.7                   | 7.4     | 0.90541 | 1128              | 1.31              | 1272384 | 1.716          | 1477.680         |
| Total               |       |                       |         |         | 5904              | 0.01              | 5292288 | 4.787          | 1210.080         |
|                     |       |                       |         |         |                   |                   |         | $(\sum X_i)^2$ | 34857216         |
|                     |       |                       |         |         |                   |                   |         | $(\sum Y_i)^2$ | 0.00010          |
|                     |       |                       |         |         |                   |                   |         | <b>r</b>       | 0.98214983       |

$$Ft_i = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{7+0,4} = 0,09459$$

$$x_i = t_i = 528 \qquad x_i^2 = 528^2 = 278784$$

$$(\sum x_i)^2 = 5904^2 = 34857216$$

$$y_i = z_i = \square^{-1} F t_i$$

$$y_i = z_i = \square^{-1} 0,09459 = -1.31 \qquad y_i^2 = -1.31^2 = 1,716$$

$$(\sum y_i)^2 = 0,01^2 = 0,00010$$

$$X_i \times Y_i = 528 \times (-1.31) = -691.680$$

$y_i$  didapatkan denagn melihat tabel *standardized normal probabilitas*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

$$r = \frac{7 * 1210.080 - (5904 * 0.01)}{7 * 5292288 - 34857216 \quad 7 * 4.787 - 0.00010} = 0.98214983$$

2. Perhitungan nilai *index of fit* interval waktu antar kerusakan dengan distribusi lognormal

Tabel 4.11 perhitungan *index of fit* dengan distribusi Lognormal, roda gigi pinion

| roda gigi pinion |     |                     |         |         |                 |                         |                |          |                  |
|------------------|-----|---------------------|---------|---------|-----------------|-------------------------|----------------|----------|------------------|
| no               | ti  | $\frac{i-0,3}{0,3}$ | $n+0,4$ | Fti     | $x_i = \ln t_i$ | $y_i = \frac{F_i}{Z_i}$ | $x_i^2$        | $y_i^2$  | $X_i \times Y_i$ |
| 1                | 504 | 0.7                 | 9.4     | 0.07447 | 6.223           | -1.44                   | 38.720         | 2.074    | -8.961           |
| 2                | 576 | 1.7                 | 9.4     | 0.18085 | 6.356           | -0.91                   | 40.400         | 0.828    | -5.784           |
| 3                | 600 | 2.7                 | 9.4     | 0.28723 | 6.397           | -0.56                   | 40.921         | 0.314    | -3.582           |
| 4                | 672 | 3.7                 | 9.4     | 0.39362 | 6.510           | -0.27                   | 42.383         | 0.073    | -1.758           |
| 5                | 720 | 4.7                 | 9.4     | 0.50000 | 6.579           | 0.00                    | 43.287         | 0.000    | 0.000            |
| 6                | 720 | 5.7                 | 9.4     | 0.60638 | 6.579           | 0.27                    | 43.287         | 0.073    | 1.776            |
| 7                | 768 | 6.7                 | 9.4     | 0.71277 | 6.644           | 0.56                    | 44.140         | 0.314    | 3.721            |
| 8                | 816 | 7.7                 | 9.4     | 0.81915 | 6.704           | 0.91                    | 44.949         | 0.828    | 6.101            |
| 9                | 888 | 8.7                 | 9.4     | 0.92553 | 6.789           | 1.44                    | 46.090         | 2.074    | 9.776            |
| Total            |     |                     |         |         | 58.78           | 0.00                    | 384.18         | 6.58     | 1.29             |
|                  |     |                     |         |         |                 |                         | $(\sum X_i)^2$ | 3455.271 |                  |
|                  |     |                     |         |         |                 |                         | $(\sum Y_i)^2$ | 0.0      |                  |
|                  |     |                     |         |         |                 |                         | <b>r</b>       | 0.989688 |                  |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{9+0,4} = 0,07447$$

$$x_i = \ln t_i = \ln 504 = 6,223 \quad x_i^2 = 6,223^2 = 38.720$$

$$(\sum x_i)^2 = 58.78^2 = 3455.271$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1} F_{ti}$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1} 0,07447 = -1.44 \quad y_i^2 = -1.44^2 = 2.074$$

$$(\sum y_i)^2 = 0^2 = 0$$

$$X_i \times Y_i = 6,223 \times -1,44 = -8.961$$

$y_i$  didapatkan dengan melihat tabel *standardized normal probabilitas*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

$$r = \frac{9 * 1.29 - (58.78 * 0)}{9 * 384.18 - 3455.271 \quad 9 * 6.58 - 0.00} = 0.989688$$

Tabel 4.12 perhitungan *index of fit* dengan distribusi Lognormal, Wickassy

**Wickassy**

| no    | ti   | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | Fti | $x_i = \ln t_i$ | $y_i = z_i$ | $x_i^2$ | $y_i^2$ | $X_i \times Y_i$ |         |
|-------|------|-----------------------|-----|-----------------|-------------|---------|---------|------------------|---------|
| 1     | 600  | 0.7                   | 7.4 | 0.09459         | 6.397       | -1.31   | 40.921  | 1.716            | -8.380  |
| 2     | 720  | 1.7                   | 7.4 | 0.22973         | 6.579       | -0.74   | 43.287  | 0.548            | -4.869  |
| 3     | 888  | 2.7                   | 7.4 | 0.36486         | 6.789       | -0.35   | 46.090  | 0.123            | -2.376  |
| 4     | 936  | 3.7                   | 7.4 | 0.50000         | 6.842       | 0.00    | 46.808  | 0.000            | 0.000   |
| 5     | 960  | 4.7                   | 7.4 | 0.63514         | 6.867       | 0.35    | 47.155  | 0.123            | 2.403   |
| 6     | 1008 | 5.7                   | 7.4 | 0.77027         | 6.916       | 0.75    | 47.827  | 0.563            | 5.187   |
| 7     | 1176 | 6.7                   | 7.4 | 0.90541         | 7.070       | 1.31    | 49.983  | 1.716            | 9.262   |
| Total |      |                       |     |                 | 47.459      | 0.01    | 322.070 | 4.787            | 1.227   |
|       |      |                       |     |                 |             |         |         | $(\sum X_i)^2$   | 2252.39 |
|       |      |                       |     |                 |             |         |         | $(\sum Y_i)^2$   | 0.00010 |
|       |      |                       |     |                 |             |         |         | <b>r</b>         | 0.96579 |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{7+0,4} = 0,09459$$

$$x_i = \ln t_i = \ln 600 = 6.397 \quad x_i^2 = 6.397^2 = 40.921$$

$$(\sum x_i)^2 = 47.459^2 = 2252.39$$

$$y_i = z_i = \square^{-1} F_{ti}$$

$$y_i = z_i = \square^{-1} 0,09459 = -1.31 \quad y_i^2 = -1.31^2 = 1,716$$

$$(\sum y_i)^2 = 0,01^2 = 0,0001$$

$$x_i \times y_i = 6.397 \times -1,31 = -8.380$$

$y_i$  didapatkan dengan melihat tabel *standardized normal probabilitas*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

$$r = \frac{7 * 1.227 - (47.459 * -0.01)}{7 * 322.070 - 2252.39 \quad 7 * 4.787 - 0.00010} = 0.96579$$

Tabel 4.13 perhitungan *index of fit* distribusi dengan Lognormal, *axxle linning*

| Lognormal axxle linning |      |                       |     |                 |             |         |         |                  |         |
|-------------------------|------|-----------------------|-----|-----------------|-------------|---------|---------|------------------|---------|
| no                      | ti   | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | Fti | $x_i = \ln t_i$ | $y_i = z_i$ | $x_i^2$ | $y_i^2$ | $X_i \times Y_i$ |         |
| 1                       | 528  | 0.7                   | 7.4 | 0.09459         | 6.269       | -1.31   | 39.30   | 1.716            | -8.213  |
| 2                       | 648  | 1.7                   | 7.4 | 0.22973         | 6.474       | -0.74   | 41.91   | 0.548            | -4.791  |
| 3                       | 744  | 2.7                   | 7.4 | 0.36486         | 6.612       | -0.35   | 43.72   | 0.123            | -2.314  |
| 4                       | 792  | 3.7                   | 7.4 | 0.50000         | 6.675       | 0.00    | 44.55   | 0.000            | 0.000   |
| 5                       | 960  | 4.7                   | 7.4 | 0.63514         | 6.867       | 0.35    | 47.15   | 0.123            | 2.403   |
| 6                       | 1104 | 5.7                   | 7.4 | 0.77027         | 7.007       | 0.75    | 49.09   | 0.563            | 5.255   |
| 7                       | 1128 | 6.7                   | 7.4 | 0.90541         | 7.028       | 1.31    | 49.40   | 1.716            | 9.207   |
| Total                   |      |                       |     |                 | 46.93       | 0.01    | 315.13  | 4.787            | 1.55    |
|                         |      |                       |     |                 |             |         |         | $(\sum X_i)^2$   | 2202.56 |

| Lognormal axxle lining |    |                       |                       |     |                 |                         |         |                |         |
|------------------------|----|-----------------------|-----------------------|-----|-----------------|-------------------------|---------|----------------|---------|
| no                     | ti | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | Fti | $x_i = \ln t_i$ | $y_i = \frac{y_i}{z_i}$ | $x_i^2$ | $y_i^2$        | Xi x Yi |
|                        |    |                       |                       |     |                 |                         |         | $(\sum Y_i)^2$ | 0.00010 |
|                        |    |                       |                       |     |                 |                         |         | <b>r</b>       | 0.9824  |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{7+0,4} = 0,09459$$

$$x_i = \ln t_i = \ln 528 = 6.269 \quad x_i^2 = 6.269^2 = 39,30$$

$$(\sum x_i)^2 = 46.93^2 = 2202.56$$

$$y_i = z_i = \square^{-1} F_{ti}$$

$$y_i = z_i = \square^{-1} 0,09459 = -1.31 \quad y_i^2 = -1.31^2 = 1,716$$

$$(\sum y_i)^2 = 0,01^2 = 0,00010$$

$$x_i \times y_i = 6.269 \times -1,31 = -8.213$$

$y_i$  didapatkan dengan melihat tabel *standardized normal probabilitas*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

$$r = \frac{7 * 1.55 - (46.93 * 0.01)}{7 * 315.13 - 2202.56 \quad 7 * 4.787 - 0,00010} = 0.9824$$

### 3. Perhitungan nilai *index of fit* interval waktu antar kerusakan dengan distribusi *Weibull*

Tabel 4.14 perhitungan *index of fit* dengan distribusi *Weibull*, roda gigi pinion

| roda gigi pinion |     |                       |                       |         |                 |                                |         |                |          |
|------------------|-----|-----------------------|-----------------------|---------|-----------------|--------------------------------|---------|----------------|----------|
| no               | ti  | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | Fti     | $x_i = \ln t_i$ | $y_i = \ln[\ln(1/(1-F(t_i)))]$ | $x_i^2$ | $y_i^2$        | Xi x Yi  |
| 1                | 504 | 0.7                   | 9.4                   | 0.07447 | 6.223           | -2.559                         | 38.720  | 6.548          | -15.923  |
| 2                | 576 | 1.7                   | 9.4                   | 0.18085 | 6.356           | -1.612                         | 40.400  | 2.599          | -10.246  |
| 3                | 600 | 2.7                   | 9.4                   | 0.28723 | 6.397           | -1.083                         | 40.921  | 1.173          | -6.927   |
| 4                | 672 | 3.7                   | 9.4                   | 0.39362 | 6.510           | -0.693                         | 42.383  | 0.480          | -4.509   |
| 5                | 720 | 4.7                   | 9.4                   | 0.50000 | 6.579           | -0.367                         | 43.287  | 0.134          | -2.411   |
| 6                | 720 | 5.7                   | 9.4                   | 0.60638 | 6.579           | -0.070                         | 43.287  | 0.005          | -0.461   |
| 7                | 768 | 6.7                   | 9.4                   | 0.71277 | 6.644           | 0.221                          | 44.140  | 0.049          | 1.469    |
| 8                | 816 | 7.7                   | 9.4                   | 0.81915 | 6.704           | 0.537                          | 44.949  | 0.288          | 3.597    |
| 9                | 888 | 8.7                   | 9.4                   | 0.92553 | 6.789           | 0.955                          | 46.090  | 0.911          | 6.480    |
| Total            |     |                       |                       |         | 58.782          | -4.671                         | 384.177 | 12.186         | -28.932  |
|                  |     |                       |                       |         |                 |                                |         | $(\sum X_i)^2$ | 3455.271 |
|                  |     |                       |                       |         |                 |                                |         | $(\sum Y_i)^2$ | 21.817   |

| roda gigi pinion |    |                       |                       |     |                       |                                      |         |          |          |
|------------------|----|-----------------------|-----------------------|-----|-----------------------|--------------------------------------|---------|----------|----------|
| no               | ti | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | Fti | $\frac{x_i}{\ln t_i}$ | $\frac{y_i}{\ln[\ln(1/(1-F(t_i)))]}$ | $x_i^2$ | $y_i^2$  | Xi x Yi  |
|                  |    |                       |                       |     |                       |                                      |         | <b>r</b> | 0.992326 |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{9+0,4} = 0,07447$$

$$x_i = \ln t_i = \ln 504 = 6,223$$

$$x_i^2 = 6,223^2 = 38,720$$

$$(\sum x_i)^2 = 58,782^2 = 3455,271$$

$$y_i = \ln \ln \frac{1}{1-F_{ti}} = \ln \ln \frac{1}{1-0,07} = -2,559$$

$$y_i^2 = -2,559^2 = 6,548$$

$$(\sum y_i)^2 = -4,671^2 = 21,817$$

$$X_i \times y_i = 6,223 \times -2,559 = -15,923$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

$$r = \frac{9 * -28.932 - (58.782 * -4.671)}{9 * 384.177 - 3455.271 \quad 9 * 12.186 - 21.817} = 0.992326$$

Tabel 4.15 perhitungan *index of fit* distribusi Weibull, wickassy

| Weibull Wickassy |      |                       |                       |         |                       |                                      |         |                |          |
|------------------|------|-----------------------|-----------------------|---------|-----------------------|--------------------------------------|---------|----------------|----------|
| no               | ti   | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | Fti     | $\frac{x_i}{\ln t_i}$ | $\frac{y_i}{\ln[\ln(1/(1-F(t_i)))]}$ | $x_i^2$ | $y_i^2$        | Xi x Yi  |
| 1                | 600  | 0.7                   | 7.4                   | 0.09459 | 6.397                 | -2.309                               | 40.921  | 5.331          | -14.770  |
| 2                | 720  | 1.7                   | 7.4                   | 0.22973 | 6.579                 | -1.343                               | 43.287  | 1.804          | -8.837   |
| 3                | 888  | 2.7                   | 7.4                   | 0.36486 | 6.789                 | -0.790                               | 46.090  | 0.624          | -5.362   |
| 4                | 936  | 3.7                   | 7.4                   | 0.50000 | 6.842                 | -0.367                               | 46.808  | 0.134          | -2.508   |
| 5                | 960  | 4.7                   | 7.4                   | 0.63514 | 6.867                 | 0.008                                | 47.155  | 0.000          | 0.056    |
| 6                | 1008 | 5.7                   | 7.4                   | 0.77027 | 6.916                 | 0.386                                | 47.827  | 0.149          | 2.668    |
| 7                | 1176 | 6.7                   | 7.4                   | 0.90541 | 7.070                 | 0.858                                | 49.983  | 0.736          | 6.065    |
| Total            |      |                       |                       |         | 47.459                | -3.556                               | 322.070 | 8.778          | -22.687  |
|                  |      |                       |                       |         |                       |                                      |         | $(\sum X_i)^2$ | 2252.385 |
|                  |      |                       |                       |         |                       |                                      |         | $(\sum Y_i)^2$ | 12.649   |
|                  |      |                       |                       |         |                       |                                      |         | <b>r</b>       | 0.984436 |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{7+0,4} = 0,09459$$

$$x_i = \ln t_i = \ln 600 = 6,397$$

$$x_i^2 = 6,397^2 = 40,921$$

$$(\sum x_i)^2 = 47,459^2 = 2252,385$$

$$y_i = \ln \ln \frac{1}{1-F_{ti}} = \ln \ln \frac{1}{1-0.09459} = -2.310 \quad y_i^2 = -2.310^2 = 5,331$$

$$(\sum y_i)^2 = -3,556^2 = 12,649$$

$$x_i \times y_i = 6,397 \times -2.309 = -14.770$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

$$r = \frac{7 * -22.687 - (47.459 * -3.556)}{7 * 322.070 - 2252.385 \quad 7 * 8.778 - 12.649} = 0,984436$$

Tabel 4.16 perhitungan *index of fit* dengan distribusi Weibull, *axle lining*

| no | ti   | axle lining |       |         |               |                                 |                 |                    |          |
|----|------|-------------|-------|---------|---------------|---------------------------------|-----------------|--------------------|----------|
|    |      | i-<br>0,3   | n+0,4 | Fti     | xi =<br>ln ti | yi =<br>ln[ln(1/(1-<br>F(ti)))] | xi <sup>2</sup> | yi <sup>2</sup>    | Xi x Yi  |
| 1  | 528  | 0.7         | 7.4   | 0.09459 | 6.269         | -2.309                          | 39.302          | 5.331              | -14.475  |
| 2  | 648  | 1.7         | 7.4   | 0.22973 | 6.474         | -1.343                          | 41.911          | 1.804              | -8.696   |
| 3  | 744  | 2.7         | 7.4   | 0.36486 | 6.612         | -0.790                          | 43.719          | 0.624              | -5.222   |
| 4  | 792  | 3.7         | 7.4   | 0.50000 | 6.675         | -0.367                          | 44.550          | 0.134              | -2.446   |
| 5  | 960  | 4.7         | 7.4   | 0.63514 | 6.867         | 0.008                           | 47.155          | 0.000              | 0.056    |
| 6  | 1104 | 5.7         | 7.4   | 0.77027 | 7.007         | 0.386                           | 49.094          | 0.149              | 2.703    |
| 7  | 1128 | 6.7         | 7.4   | 0.90541 | 7.028         | 0.858                           | 49.396          | 0.736              | 6.029    |
|    |      | Total       |       |         | 46.931        | -3.556                          | 315.126         | 8.778              | -22.050  |
|    |      |             |       |         |               |                                 |                 | (∑Xi) <sup>2</sup> | 2202.558 |
|    |      |             |       |         |               |                                 |                 | (∑Yi) <sup>2</sup> | 12.649   |
|    |      |             |       |         |               |                                 |                 | <b>r</b>           | 0.986544 |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{7+0,4} = 0.09459$$

$$x_i = \ln t_i = \ln 528 = 6.269$$

$$x_i^2 = 6.269^2 = 39.302$$

$$(\sum x_i)^2 = 46.931^2 = 2202.558$$

$$y_i = \ln \ln \frac{1}{1-F_{ti}} = \ln \ln \frac{1}{1-0,09} = -2,309 \quad y_i^2 = -2,309^2 = 5.331$$

$$(\sum y_i)^2 = -3.556^2 = 12.649$$

$$X_i \times Y_i = 6.269 \times -2,309 = -14.475$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

$$r = \frac{7 * -22.050 - (46.931 * -3.556)}{7 * 315.126 - 2202.558 \quad 7 * 8.778 - 12.649} = 0,986544$$

4. Perhitungan nilai *index of fit* interval waktu antar kerusakan dengan distribusi eksponensial

Tabel 4.17 perhitungan *index of fit* dengan distribusi eksponensial, roda gigi pinion

| <b>roda gigi pinion</b> |     |       |       |       |         |                       |                 |                 |                    |          |
|-------------------------|-----|-------|-------|-------|---------|-----------------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------|
| no                      | ti  | i-0,3 | n+0,4 | Fti   | xi = ti | yi =<br>ln(1/1-F(ti)) | xi <sup>2</sup> | yi <sup>2</sup> | Xi x Yi            |          |
| 1                       | 504 | 0.7   | 9.4   | 0.074 | 504     | 0.077                 | 254016          | 0.006           | 39.003             |          |
| 2                       | 576 | 1.7   | 9.4   | 0.181 | 576     | 0.199                 | 331776          | 0.040           | 114.906            |          |
| 3                       | 600 | 2.7   | 9.4   | 0.287 | 600     | 0.339                 | 360000          | 0.115           | 203.161            |          |
| 4                       | 672 | 3.7   | 9.4   | 0.394 | 672     | 0.500                 | 451584          | 0.250           | 336.164            |          |
| 5                       | 720 | 4.7   | 9.4   | 0.500 | 720     | 0.693                 | 518400          | 0.480           | 499.066            |          |
| 6                       | 720 | 5.7   | 9.4   | 0.606 | 720     | 0.932                 | 518400          | 0.869           | 671.311            |          |
| 7                       | 768 | 6.7   | 9.4   | 0.713 | 768     | 1.247                 | 589824          | 1.556           | 958.048            |          |
| 8                       | 816 | 7.7   | 9.4   | 0.819 | 816     | 1.710                 | 665856          | 2.924           | 1395.426           |          |
| 9                       | 888 | 8.7   | 9.4   | 0.926 | 888     | 2.597                 | 788544          | 6.746           | 2306.478           |          |
| Total                   |     |       |       |       | 6264    | 8.296                 | 4478400         | 12.987          | 6523.563           |          |
|                         |     |       |       |       |         |                       |                 |                 | (∑Xi) <sup>2</sup> | 39237696 |
|                         |     |       |       |       |         |                       |                 |                 | (∑Yi) <sup>2</sup> | 68.826   |
|                         |     |       |       |       |         |                       |                 |                 | <b>r</b>           | 0.941487 |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{9+0,4} = 0,074$$

$$X_i = t_i = 504$$

$$x_i^2 = 504^2 = 254016$$

$$(\sum x_i)^2 = 6264^2 = 39237696$$

$$Y_i = \ln \frac{1}{1-F_{ti}} = \ln \frac{1}{1-0,07447} = 0,0774 \quad y_i^2 = 0,0774^2 = 0,006$$

$$(\sum y_i)^2 = 8,296^2 = 68,826$$

$$X_i \times Y_i = 504 \times 0,0774 = 39,003$$

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

$$r = \frac{9 * 6523,563 - (6264 * 8,296)}{9 * 4478400 - 39237696 \quad 9 * 12,987 - 68,826} = 0,941487$$

Tabel 4.18 perhitungan *index of fit* dengan distribusi eksponensial, wickassy

**Wickassy**

| no    | ti   | i-<br>0,3 | n+0,4 | Fti   | xi =<br>ti | yi =<br>ln(1/1-<br>F(ti)) | xi <sup>2</sup> | yi <sup>2</sup> | Xi x Yi                    |          |
|-------|------|-----------|-------|-------|------------|---------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------|
| 1     | 600  | 0.7       | 7.4   | 0.095 | 600        | 0.099                     | 360000          | 0.010           | 59.623                     |          |
| 2     | 720  | 1.7       | 7.4   | 0.230 | 720        | 0.261                     | 518400          | 0.068           | 187.930                    |          |
| 3     | 888  | 2.7       | 7.4   | 0.365 | 888        | 0.454                     | 788544          | 0.206           | 403.079                    |          |
| 4     | 936  | 3.7       | 7.4   | 0.500 | 936        | 0.693                     | 876096          | 0.480           | 648.786                    |          |
| 5     | 960  | 4.7       | 7.4   | 0.635 | 960        | 1.008                     | 921600          | 1.017           | 967.899                    |          |
| 6     | 1008 | 5.7       | 7.4   | 0.770 | 1008       | 1.471                     | 1016064         | 2.163           | 1482.619                   |          |
| 7     | 1176 | 6.7       | 7.4   | 0.905 | 1176       | 2.358                     | 1382976         | 5.561           | 2773.190                   |          |
| Total |      |           |       |       | 6288       | 6.345                     | 5863680         | 9.505           | 6523.126                   |          |
|       |      |           |       |       |            |                           |                 |                 | ( $\sum Xi$ ) <sup>2</sup> | 39538944 |
|       |      |           |       |       |            |                           |                 |                 | ( $\sum Yi$ ) <sup>2</sup> | 40.255   |
|       |      |           |       |       |            |                           |                 |                 | <b>r</b>                   | 0.916328 |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{7+0,4} = 0,095$$

$$Xi = ti = 600$$

$$xi^2 = 600^2 = 360000$$

$$(\sum xi)^2 = 6288^2 = 39538944$$

$$Yi = \ln \frac{1}{1-F_{ti}} = \ln \frac{1}{1-0.09459} = 0.099$$

$$yi^2 = 0.099^2 = 0,010$$

$$(\sum yi)^2 = 6,345^2 = 40,255$$

$$Xi \times Yi = 600 \times 0.099 = 59.623$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

$$r = \frac{7 * 6523.126 - (6288 * 6.345)}{7 * 5863680 - 39538944 \quad 7 * 9.505 - 40.255} = 0.916328$$

Tabel 4.19 perhitungan *index of fit* dengan distribusi eksponensial, *axle lining*

| <b>axxle lining</b> |      |           |       |       |         |                           |                 |                 |                            |          |
|---------------------|------|-----------|-------|-------|---------|---------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------|
| no                  | ti   | i-<br>0,3 | n+0,4 | Fti   | xi = ti | yi =<br>ln(1/1-<br>F(ti)) | xi <sup>2</sup> | yi <sup>2</sup> | Xi x Yi                    |          |
| 1                   | 528  | 0.7       | 7.4   | 0.095 | 528     | 0.099                     | 278784          | 0.010           | 52.469                     |          |
| 2                   | 648  | 1.7       | 7.4   | 0.230 | 648     | 0.261                     | 419904          | 0.068           | 169.137                    |          |
| 3                   | 744  | 2.7       | 7.4   | 0.365 | 744     | 0.454                     | 553536          | 0.206           | 337.715                    |          |
| 4                   | 792  | 3.7       | 7.4   | 0.500 | 792     | 0.693                     | 627264          | 0.480           | 548.973                    |          |
| 5                   | 960  | 4.7       | 7.4   | 0.635 | 960     | 1.008                     | 921600          | 1.017           | 967.899                    |          |
| 6                   | 1104 | 5.7       | 7.4   | 0.770 | 1104    | 1.471                     | 1218816         | 2.163           | 1623.820                   |          |
| 7                   | 1128 | 6.7       | 7.4   | 0.905 | 1128    | 2.358                     | 1272384         | 5.561           | 2659.999                   |          |
| Total               |      |           |       |       | 5904    | 6.345                     | 5292288         | 9.505           | 6360.011                   |          |
|                     |      |           |       |       |         |                           |                 |                 | ( $\sum Xi$ ) <sup>2</sup> | 34857216 |
|                     |      |           |       |       |         |                           |                 |                 | ( $\sum Yi$ ) <sup>2</sup> | 40.255   |

| axxle linning |    |                       |     |         |                        |        |        |          |          |
|---------------|----|-----------------------|-----|---------|------------------------|--------|--------|----------|----------|
| no            | ti | $\frac{i-0,3}{n+0,4}$ | Fti | xi = ti | $y_i = \ln(1/1-F(ti))$ | $xi^2$ | $yi^2$ | Xi x Yi  |          |
|               |    |                       |     |         |                        |        |        | <b>r</b> | 0.930969 |

$$F_{ti} = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{7+0,4} = 0,095$$

$$X_i = t_i = 528$$

$$xi^2 = 528^2 = 278784$$

$$(\sum xi)^2 = 5904^2 = 34857216$$

$$Y_i = \ln \frac{1}{1-F_{ti}} = \ln \frac{1}{1-0,09459} = 0,099$$

$$yi^2 = 0,099^2 = 0,010$$

$$(\sum yi)^2 = 6,345^2 = 40,255$$

$$X_i \times Y_i = 528 \times 0,099 = 52,469$$

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

$$r = \frac{7 * 6360,011 - (5904 * 6,345)}{\sqrt{7 * 5292288 - 34857216} \sqrt{7 * 9,505 - 40,255}} = 0,930969$$

Berdasarkan hasil perhitungan *indeks of fit* ( $r$ ) maka jenis distribusi yang akan digunakan oleh setiap komponen adalah sebagai berikut, nilai  $r$  yang paling besar dan mendekati 1 merupakan distribusi terpilih. Berdasarkan tabel 4.20 Maka distribusi yang terpilih untuk semua komponen menggunakan distribusi *weibull*

Tabel 4.20 penentuan distribusi

| komponen         | Distribusi      |            |           |              |
|------------------|-----------------|------------|-----------|--------------|
|                  | Weibull         | Normal     | Lognormal | Eksponensial |
| Roda gigi pinion | <b>0.992326</b> | 0.9913823  | 0.989688  | 0.941487     |
| Wickassy         | <b>0.984436</b> | 0.97915317 | 0.96579   | 0.916328     |
| axle linning     | <b>0.986544</b> | 0.98214983 | 0.9824    | 0.930969     |

#### 4.3.5 Uji kecocokan *Goodness Of Fit* Data Kerusakan Komponen (*Time To Failure*)

Pengujian distribusi *goodness of fit test* untuk menentukan uji hipotesis terhadap pola distribusi *weibull*. Distribusi yang terpilih adalah distribusi Weibull maka akan digunakan uji *Mann's Test*.

Hipotesa untuk melakukan uji *Mann's Test* adalah :

$H_0$  : Data *time to failure* berdistribusi Weibull

$$\alpha = 0,05$$

Penerimaan  $H_0$  jika  $M < F_{\text{crit}}$ , yaitu  $M < F_{\text{crit}}$

Perhitungan

$n$  = jumlah data

$$k_1 = \frac{n}{2}$$

$$k_2 = \frac{n-1}{2}$$

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

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

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

1. Uji *mann's test* untuk komponen roda gigi pinion

Tabel 4.21 uji *mann's test* komponen roda gigi pinion

| <b>i</b> | <b>ti</b> | <b>ln ti</b> | <b>1-((i-0.5)/(n+0.25))</b> | <b>Zi</b> | <b>Mi</b> | <b>ln t+1 - ln t</b> | <b>(ln t+1 - ln t)/Mi</b> |
|----------|-----------|--------------|-----------------------------|-----------|-----------|----------------------|---------------------------|
| 1        | 504       | 6.2226       | 0.9459                      | -2.8901   | 1.1581    | 0.1335               | 0.1153                    |
| 2        | 576       | 6.3561       | 0.8378                      | -1.7320   | 0.5771    | 0.0408               | 0.0707                    |
| 3        | 600       | 6.3969       | 0.7297                      | -1.1549   | 0.4114    | 0.1133               | 0.2755                    |
| 4        | 672       | 6.5103       | 0.6216                      | -0.7435   | 0.3378    | 0.0690               | 0.2042                    |
| 5        | 720       | 6.5793       | 0.5135                      | -0.4057   | 0.3036    | 0.0000               | 0.0000                    |
| 6        | 720       | 6.5793       | 0.4054                      | -0.1022   | 0.2953    | 0.0645               | 0.2186                    |
| 7        | 768       | 6.6438       | 0.2973                      | 0.1931    | 0.3167    | 0.0606               | 0.1914                    |
| 8        | 816       | 6.7044       | 0.1892                      | 0.5098    | 0.4114    | 0.0846               | 0.2056                    |
| 9        | 888       | 6.7890       | 0.0811                      | 0.9212    |           |                      |                           |
|          |           |              |                             |           |           |                      | 1.2812911                 |

$$t_i = 504$$

$$\ln t_i = \ln 504 = 6.2226$$

$$Z_1 = \ln - \ln\left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25}\right) = \ln - \ln\left(1 - \frac{1-0,5}{9+0,25}\right) = \ln (-\ln 0.9459) = -2.8901$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = Z_2 - Z_1 = -1.7320 - -2.8901 = 1.1581$$

$$n = 9$$

$$k_1 = \frac{n}{2} = \frac{9}{2} = 4.5$$

$$k_2 = \frac{n-1}{2} = \frac{9-1}{2} = 4$$

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

$$\ln t_{i+1} - \ln t_i = 6.3561 - 6.2226 = 0.1335$$

$$(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i = 0.1335 / 1.1581 = 0.1153$$

$$\sum (\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i = 1.2812911$$

$$M = \frac{4.5 * 1.2812911}{4 * 1.2812911} = 1,125$$

$$F_{\text{crit.}} = 6,26$$

Jadi, keputusan  $M < F_{\text{crit.}}$   $1.125 < 6,26$ , maka menerima  $H_0$

## 2. Uji *mann's test* untuk komponen *wickassy*

Tabel 4.22 uji *mann's test* komponen *wickassy*

| i | ti   | ln ti  | $\frac{1 - ((i - 0.5)/(n + 0.25))}{0.5}$ | Zi      | Mi     | $\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}$ | $\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i}{\sum (\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i}$ |  |
|---|------|--------|--|---------|--------|-------------------------------------|--|--|
| 1 | 600  | 6.3969 | 0.9310                                   | -2.6386 | 1.1768 | 0.1823                              | 0.1549   |  |
| 2 | 720  | 6.5793 | 0.7931                                   | -1.4619 | 0.6012 | 0.2097                              | 0.3489   |  |
| 3 | 888  | 6.7890 | 0.6552                                   | -0.8607 | 0.4441 | 0.0526                              | 0.1186   |  |
| 4 | 936  | 6.8416 | 0.5172                                   | -0.4167 | 0.3856 | 0.0253                              | 0.0657   |  |
| 5 | 960  | 6.8669 | 0.3793                                   | -0.0311 | 0.3827 | 0.0488                              | 0.1275   |  |
| 6 | 1008 | 6.9157 | 0.2414                                   | 0.3516  | 0.4676 | 0.1542                              | 0.3297   |  |
| 7 | 1176 | 7.0699 | 0.1034                                   | 0.8192  |        |                                     |  |  |
|   |      |        |  |         |        |                                     | 1.1452   |  |

$$t_i = 600$$

$$\ln t_i = \ln 600 = 6.3969$$

$$Z_1 = \ln t_i - \ln \left(1 - \frac{i - 0.5}{n + 0.25}\right) = \ln 600 - \ln \left(1 - \frac{1 - 0.5}{7 + 0.25}\right) = \ln 600 - \ln(0.9310) = -2.6386$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = Z_2 - Z_1 = -1.4619 - (-2.6386) = 1.1768$$

$$n = 7$$

$$k_1 = \frac{n}{2} = \frac{7}{2} = 3.4$$

$$k_2 = \frac{n - 1}{2} = \frac{7 - 1}{2} = 3$$

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

$$\ln t_{i+1} - \ln t_i = 6.5793 - 6.3969 = 0.1823$$

$$(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i = 0.1823 / 1.1768 = 0.1549$$

$$\sum (\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i = 1.1452$$

$$M = \frac{3.5 * 1.1452}{3 * 1.1452} = 1.166667$$

$$F_{\text{crit.}} = 9.12$$

Jadi, keputusan  $M < F_{\text{crit.}}$   $1.166667 < 9.12$ , maka menerima  $H_0$

### 3. Uji *mann's test* untuk komponen *axle lining*

Tabel 4.23 uji *mann's test* komponen *axle lining*

| i | $t_i$ | $\ln t_i$ | $\frac{1 - ((i - 0.5)/(n + 0.25))}{1}$ | $Z_i$   | $M_i$  | $\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i}$ | $\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i}$ |
|---|-------|-----------|--|---------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 528   | 6.2691    | 0.9310                                 | -2.6386 | 1.1768 | 0.2048                              | 0.1740                                |
| 2 | 648   | 6.4739    | 0.7931                                 | -1.4619 | 0.6012 | 0.1382                              | 0.2298                                |
| 3 | 744   | 6.6120    | 0.6552                                 | -0.8607 | 0.4441 | 0.0625                              | 0.1408                                |
| 4 | 792   | 6.6746    | 0.5172                                 | -0.4167 | 0.3856 | 0.1924                              | 0.4989                                |
| 5 | 960   | 6.8669    | 0.3793                                 | -0.0311 | 0.3827 | 0.1398                              | 0.3652                                |
| 6 | 1104  | 7.0067    | 0.2414                                 | 0.3516  | 0.4676 | 0.0215                              | 0.0460                                |
| 7 | 1128  | 7.0282    | 0.1034                                 | 0.8192  |        |                                     |                                       |
|   |       |           |  |         |        |                                     | 1.4547                                |

$$t_i = 528$$

$$\ln t_i = \ln 528 = 6.2691$$

$$Z_1 = \ln - \ln\left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25}\right) = \ln - \ln\left(1 - \frac{1-0,5}{7+0,25}\right) = \ln (-\ln 0.931034) = -2.6386$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = Z_2 - Z_1 = -1.4619 - (-2.6386) = 1.1768$$

$$n = 7$$

$$k_1 = \frac{n}{2} = \frac{7}{2} = 3.5$$

$$k_2 = \frac{n-1}{2} = \frac{7-1}{2} = 3$$

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

$$\ln t_{i+1} - \ln t_i = 6.4739 - 6.2691 = 0.2048$$

$$(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i = 0.2048 / 1.1768 = 0.1740$$

$$\sum (\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i = 1.4547$$

$$M = \frac{3.5 * 1.4547}{3 * 1.4547} = 1.166667$$

$$F_{\text{crit.}} = 9.12$$

Jadi, keputusan  $M < F_{\text{crit.}}$   $1.166667 < 9.12$ , maka menerima  $H_0$

#### 4.3.6 Perhitungan Parameter dari distribusi Waktu Antar Kerusakan (*Mean Time To Failure*)

Setelah dilakukan uji kecocokan distribusi weibull maka langkah selanjutnya adalah menentukan parameter  $\theta$  (*scale parameter*) dan  $\beta$  (*shape parameter*) yang dapat dicari dengan menggunakan metode rumus regresi linier.

1 Parameter untuk komponen roda gigi pinion

$$\beta = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$\beta = \frac{9 \times -28,932 - (58,72 \times -4,671)}{9 \times 384,177 - 3455,271} = 6,102$$

$$\alpha = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{b \sum x_i}{n}$$

$$\alpha = \frac{-4,671}{9} - \frac{6,102 \times 58,72}{9}$$

$$\alpha = -40,377$$

$$\theta = \exp^{-\alpha/\beta}$$

$$\theta = \exp^{-(-40,377/6,102)}$$

$$\theta = 747,195$$

Jadi nilai parameter  $\theta = 747,195$  dan  $\beta = 6,012$

2. Parameter untuk komponen *wickassy*

$$\beta = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$\beta = \frac{7 \times -22,687 - (47,459 \times -3,556)}{7 \times 322,070 - 2252,385} = 4,738$$

$$\alpha = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{b \sum x_i}{n}$$

$$\alpha = \frac{-3,556}{7} - \frac{4,738 \times 47,459}{7}$$

$$\alpha = -32,632$$

$$\theta = \exp^{-\alpha/\beta}$$

$$\theta = \exp^{-(-32,632/4,738)}$$

$$\theta = 979,585$$

Jadi nilai parameter  $\theta = 979,585$  dan  $\beta = 4,738$

3. Parameter untuk komponen *axle lining*

$$\beta = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$\beta = \frac{7 \times 20,050 - (46,931 \times -3,556)}{7 \times 315,126 - 2202,558} = 3,780$$

$$\alpha = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{b \sum x_i}{n}$$

$$\alpha = \frac{-3,56}{7} - \frac{3,7015 \times 42,13}{7}$$

$$\alpha = -25,8553$$

$$\theta = \exp^{-\alpha/\beta}$$

$$\theta = \exp^{-(-22,78487/3,7015)}$$

$$\theta = 933,439$$

Jadi nilai parameter  $\theta = 933,439$  dan  $\beta = 3,780$

#### 4.3.7 Penentuan Nilai Tengah Dari Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (*Mean Time To Failure*)

Menghitung nilai MTTF yang sesuai dengan distribusi *Weibull* terhadap data *time to failure* sebagai berikut :

## 1. Komponen roda gigi pinion

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 747,195 * \Gamma \left( 1 + \frac{1}{6,102} \right) \\ &= 747,195 * \Gamma(1,16) \quad \text{tabel fungsi gamma} \\ &= 747,195 * 0,9298 \\ &= 694,742 \end{aligned}$$

2. Komponen *wickassy*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 979,585 * \Gamma \left( 1 + \frac{1}{4,783} \right) \\ &= 979,585 * \Gamma(1,21) \quad \text{tabel fungsi gamma} \\ &= 979,585 * 0,91558 \\ &= 896,888 \end{aligned}$$

### 3. Komponen *axle lining*

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \\
 &= 933,440 * \Gamma \left( 1 + \frac{1}{3.781} \right) \\
 &= 933,440 * \Gamma(1,26) \quad \text{tabel fungsi gamma} \\
 &= 933,440 * 0.9044 \\
 &= 844,202
 \end{aligned}$$

## 4.4 Perhitungan Biaya

### 4.4.1 Harga Komponen

Berikut adalah harga dari setiap komponen dan jumlah terpasang yang ada pada lokomotif CC 201.

Tabel 4.24 Harga komponen

| Komponen         | Jumlah terpasang | Harga @      | Total         |
|------------------|------------------|--------------|---------------|
| Roda gigi pinion | 18               | Rp14.768.247 | Rp265.828.446 |
| Wickassy         | 18               | Rp364.637    | Rp6.563.466   |
| Axle lining      | 18               | Rp2.494.973  | Rp44.909.514  |

### 4.4.2 Data Ongkos *Engineer*

Ongkos *Engineer* di Dipo Lokomotif dibagi menjadi dua, yaitu Gaji Pokok dan Premi Dinas. Besarnya Gaji Pokok dan Premi Dinas tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4.25 Premi Dinas dan Gaji Pokok secara umum

| Jenis Ongkos per Engineer               | Jumlah    |
|---|-----------|
| Premi Dinas pegawai per bulan (26 hari) | Rp350.000 |
| Gaji Pokok pegawai per bulan (26 hari)  | Rp800.000 |

Untuk mendapatkan besarnya Premi Dinas dan Gaji Pokok yang sesuai dengan aktivitas perawatan, dibutuhkan ketentuan-ketentuan sesuai dengan keadaan di lapangan berikut ini :

- Jumlah hari kerja dalam sebulan : 26 hari.
- Jumlah jam kerja dalam sehari : 8 jam.

- Setiap melakukan aktivitas perawatan, khususnya pada komponen-komponen kritis, jumlah pegawai pegawai yang terlibat sebanyak 8 orang.
  - Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan *preventive maintenance* inspeksi yang tidak sekaligus dilakukan penggantian adalah 3 jam.
  - Waktu yang dibutuhkan apabila *corrective maintenance* adalah 8 jam (1 hari kerja).
- Berdasarkan ketentuan-ketentuan di atas, maka didapatkan ongkos untuk 8 orang Pegawai sebagai berikut :

Tabel4.26 gaji pegawai perjam

|                      | Premi Dinas per jam | Gaji Pokok per jam |
|----------------------|---------------------|--------------------|
| Gaji pegawai per jam | Rp 1.682,69         | Rp 3.846,15        |

Untuk mencari nilai dari gaji premi perjam dan gaji pokok perjam dari pegawai adalah sebagai berikut

$$(\text{premi perbulan} / \text{jumlah hari} / \text{jam kerja}) = (\text{Rp } 350.000 / 26 / 8) = \text{Rp } 1.682,69$$

$$(\text{Gaji perbulan} / \text{jumlah hari} / \text{jam kerja}) = (\text{Rp } 800.000 / 26 / 8) = \text{Rp } 3.846,15$$

Karena dalam melakukan perawatan lokomotif jenis mekanik membutuhkan 8 orang pegawai, maka perhitungan gaji adalah sebagai berikut

$$\text{Premi Dinas per jam} \times 8 \text{ orang} = \text{Rp } 1.682,69 \times 8 = \text{Rp } 13.461,54$$

$$\text{Gaji Pokok per jam} \times 8 \text{ orang} = \text{Rp } 3.846,15 \times 8 = \text{Rp } 30.769,23$$

Tabel 4.27 gaji pegawai pada saat perawatan

| Jenis <i>Maintenance</i>              | Premi Dinas   | Gaji Pokok    | total         |
|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <i>Preventive Maintenance</i> (3 jam) | Rp 40.384,62  | Rp 92.307,69  | Rp 132.692,31 |
| <i>Corrective Maintenance</i> (8 jam) | Rp 107.692,31 | Rp 246.153,85 | Rp 353.846,15 |

$$\text{Preventive Maintenance} = \text{Rp } 13.461,54 \times 3 \text{ jam} = \text{Rp } 40.384,62$$

$$= \text{Rp } 30.769,23 \times 3 \text{ jam} = \text{Rp } 92.307,69$$

$$\text{total gaji saat Preventive Maintenance} = \text{Rp } 40.384,62 + \text{Rp } 92.307,69 = \text{Rp } 132.692,31$$

$$\text{Corrective Maintenance} = \text{Rp } 13.461,54 \times 8 \text{ jam} = \text{Rp } 107.692,31$$

$$= \text{Rp } 30.769,23 \times 8 \text{ jam} = \text{Rp } 246.153,85$$

$$\text{total gaji Corrective Maintenance} = \text{Rp } 107.692,31 + \text{Rp } 246.153,85 = \text{Rp } 353.846,15$$

#### 4.4.3 Data loss of revenue

*Loss of Revenue* menunjukkan berapa besarnya pendapatan yang hilang akibat dilakukannya perawatan, baik *preventive* maupun *corrective maintenance*. Besarnya *loss of revenue* dapat dihitung berdasarkan ketentuan-ketentuan berikut ini :

Tabel 4.28 *Loss of Revenue*

| Jenis <i>Maintenance</i>              | kehilangan     |
|---------------------------------------|----------------|
| <i>Preventive Maintenance</i> (3 jam) | Rp38.220.000   |
| <i>Corrective Maintenance</i> (8 jam) | Rp 101.920.000 |

- Jumlah penumpang maksimal @ lokomotif CC 201 (7 kereta, 52 seat) = 364 penumpang.
- Lokomotif melakukan 2 kali perjalanan satu kali perjalanan membutuhkan waktu 6 jam dalam sehari.
- Harga tiket : Rp. 210.000.
- Rata-rata *revenue* per hari : Rp.210.000 x 364 x 2 = Rp 152.880.000
- Rata-rata *revenue* per jam : Rp 152.880.000 / 12 jam = Rp. 12.740.000

Jadi untuk *preventive maintenance* = Rp 12.740.000 x 3 jam = Rp 38.220.000

Jadi untuk *corrective maintenance* = Rp 12.740.000 x 8 jam = Rp 101.920.000

#### 4.4.4 Perhitungan Biaya Perawatan komponen Kritis

Biaya perawatan secara umum ada dua jenis, yaitu *preventive maintenance cost* dan *corrective maintenance cost*. Setiap komponen kritis memiliki biaya perawatan yang berbeda-beda, tergantung dari harga komponen masing-masing. Biaya perawatan ini sesuai dengan tindakan perawatan yang dilakukan. Berikut adalah biaya perawatan pencegahan dan biaya perawatan kerusakan :

Pada tabel berikut ini adalah perhitungan Cp dan Cf untuk setiap komponen kritis :

Tabel 4.29 biaya perawatan perkomponen

| Komponen         | cp               | cf                |
|------------------|------------------|-------------------|
| roda gigi pinion | Rp 53.120.939,31 | Rp 117.042.093,15 |
| wickassy         | Rp 38.717.329,31 | Rp 102.638.483,15 |
| axxle lining     | Rp 40.847.665,31 | Rp 104.768.819,15 |

Persamaan :

$$C_p = W + CM + L$$

W = Upah pekerja

CM = biaya komponen

L = pendapatan yang hilang

Cf = W + CM + L

W = Upah pekerja

CM = biaya komponen

L = pendapatan yang hilang

Berikut adalah perhitungan *Preventive Maintenance* (Cp) dan *Corrective Maintenance* (Cf) untuk komponen roda gigi pinion

Cp = W + CM + L

= Rp 132.692 + Rp14.768.247 + Rp 38.220.000 = Rp 53.120.939,31

Cf = W + CM + L

= Rp 353.846,15 + Rp14.768.247 + Rp 101.920.000 = Rp 117.042.093,15

Setelah data-data tersebut dikumpulkan, maka langkah-langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan interval waktu pergantian dan ekspektasi biayanya. Pada kasus PT KAI Daop VI Yogyakarta ini, perusahaan menginginkan *reliability* atau keandalan komponen kritis ketika dilakukan perawatan tidak kurang dari 0.9. Hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.30 Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen roda gigi pinion

| tp         | R(tp)         | F(Tp)         | Cp*R(tp)            | cf*f(tp)           | T(tp)            |
|------------|---------------|---------------|---------------------|--------------------|------------------|
| 50         | 1.0000        | 0.0000        | 53120934.690        | 10.17336854        | 1062418.90       |
| 100        | 1.0000        | 0.0000        | 53120641.333        | 656.5320199        | 531212.98        |
| 200        | 0.9996        | 0.0004        | 53101713.060        | 42361.45411        | 265720.37        |
| 250        | 0.9986        | 0.0014        | 53047437.927        | 161946.5985        | 212837.54        |
| 300        | 0.9959        | 0.0041        | 52901287.724        | 483961.3429        | 177950.83        |
| 350        | 0.9896        | 0.0104        | 52567784.330        | 1218773.938        | 153675.88        |
| 400        | 0.9769        | 0.0231        | 51894340.704        | 2702581.504        | 136492.31        |
| 450        | 0.9537        | 0.0463        | 50660365.383        | 5421416.229        | 124626.18        |
| 500        | 0.9145        | 0.0855        | 48580168.603        | 10004742.29        | 117169.82        |
| <b>510</b> | <b>0.9042</b> | <b>0.0958</b> | <b>48034434.330</b> | <b>11207166.08</b> | <b>116160.00</b> |
| 600        | 0.7654        | 0.2346        | 40657032.625        | 27461896.31        | 113531.55        |
| 650        | 0.6488        | 0.3512        | 34463741.358        | 41107659.78        | 116263.69        |
| 694.742    | 0.5244        | 0.4756        | 27854067.596        | 55670844.51        | 120224.36        |
| 700        | 0.5089        | 0.4911        | 27032543.589        | 57480919.61        | 120733.52        |
| 750        | 0.3596        | 0.6404        | 19101913.366        | 74954585.8         | 125408.67        |
| 800        | 0.2214        | 0.7786        | 11762901.36         | 91124731.48        | 128609.54        |
| 850        | 0.1141        | 0.8859        | 6061528.689         | 103686644          | 129115.50        |

| tp  | R(tp)  | F(Tp)  | Cp*R(tp)    | cf*f(tp)    | T(tp)     |
|-----|--------|--------|-------------|-------------|-----------|
| 900 | 0.0469 | 0.9531 | 2488971.075 | 111558109.1 | 126718.98 |

TC = total ekspektasi biaya perawatan persatuan waktu

Untuk nilai perhitungan tp (510) adalah sebagai berikut :

$$TC(tp) = \frac{C_p \cdot R(tp) + (C_f \cdot F(tp))}{tp}$$

$$R(510) = \exp \left( -\frac{tp}{\theta} \right)^\beta = \exp \left( -\frac{510}{794.195} \right)^{6,102} = 0.9042$$

$$F(510) = 1 - R(tp) = 1 - 0,9042 = 0.0958$$

$$TC(510) = \frac{Rp \ 53,176,716.00 \times 0,0942 + (Rp \ 119.815.882 \times 0.0958)}{510}$$

$$TC(510) = Rp \ 116.160,00 / \text{jam}$$

Tabel 4.31 Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen *wickassy*

| tp         | R(tp)        | F(Tp)        | Cp*R(tp)            | cf*f(tp)           | T(tp)           |
|------------|--------------|--------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| 50         | 1.000        | 0.000        | 38717300.062        | 77.53045759        | 774347.55       |
| 100        | 1.000        | 0.000        | 38716548.861        | 2068.941702        | 387186.18       |
| 200        | 0.999        | 0.001        | 38696507.851        | 55197.06           | 193758.52       |
| 250        | 0.998        | 0.002        | 38657425.922        | 158802.0868        | 155264.91       |
| 300        | 0.996        | 0.004        | 38575374.232        | 376318.6633        | 129838.98       |
| 350        | 0.992        | 0.008        | 38423234.398        | 779636.8189        | 112008.20       |
| 400        | 0.986        | 0.014        | 38165512.886        | 1462848.847        | 99070.90        |
| 450        | 0.975        | 0.025        | 37758296.265        | 2542367.942        | 89557.03        |
| 500        | 0.960        | 0.040        | 37150123.585        | 4154615.544        | 82609.48        |
| <b>510</b> | <b>0.956</b> | <b>0.044</b> | <b>36999431.236</b> | <b>4554096.459</b> | <b>81477.51</b> |
| 600        | 0.907        | 0.093        | 35102256.111        | 9583451.029        | 74476.18        |
| 650        | 0.867        | 0.133        | 33550774.824        | 13696381.56        | 72687.93        |
| 690        | 0.827        | 0.173        | 32015466.487        | 17766438.09        | 72147.69        |
| 700        | 0.816        | 0.184        | 31589018.334        | 18896939.4         | 72122.80        |
| 750        | 0.754        | 0.246        | 29199032.800        | 25232719.64        | 72575.67        |
| 800        | 0.682        | 0.318        | 26396019.137        | 32663425.11        | 73824.31        |
| 850        | 0.600        | 0.400        | 23237047.304        | 41037765.05        | 75617.43        |
| 896.888    | 0.518        | 0.482        | 20042349.435        | 49506813.65        | 77544.98        |
| 900        | 0.512        | 0.488        | 19825172.536        | 50082543.12        | 77675.24        |
| 950        | 0.421        | 0.579        | 16305863.84         | 59412125.33        | 79703.15        |

Untuk nilai perhitungan tp (510) adalah sebagai berikut :

$$TC(tp) = \frac{C_p \cdot R(tp) + (C_f \cdot F(tp))}{tp}$$

$$R(510) = \exp \left( -\frac{tp}{\theta} \right)^{\beta} = \exp \left( -\frac{510}{979,585} \right)^{4,738} = 0.956$$

$$F(510) = 1 - R(tp) = 1 - 0.907 = 0.093$$

$$TC(510) = \frac{Rp \ 38,773,106.00 \times 0.956 + (Rp \ 105.412.272 \times 0.044)}{510}$$

$$TC(510) = Rp \ 81.477,51 / \text{jam}$$

Tabel 4.32 Perhitungan Interval Waktu Perawatan Komponen *axle lining*

| tp         | R(tp)        | F(Tp)        | Cp*R(tp)            | cf*f(tp)           | T(tp)           |
|------------|--------------|--------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| 50         | 1.000        | 0.000        | 40847025.064        | 1642.140833        | 816973.34       |
| 100        | 1.000        | 0.000        | 40838871.122        | 22555.91417        | 408614.27       |
| 200        | 0.997        | 0.003        | 40727024.665        | 309427.1746        | 205182.26       |
| 250        | 0.993        | 0.007        | 40567790.683        | 717841.1237        | 165142.53       |
| 300        | 0.986        | 0.014        | 40292029.702        | 1425131.298        | 139057.20       |
| 350        | 0.976        | 0.024        | 39857963.408        | 2538453.51         | 121132.62       |
| 400        | 0.960        | 0.040        | 39221232.898        | 4171582.432        | 108482.04       |
| 450        | 0.939        | 0.061        | 38337587.257        | 6438015.769        | 99501.34        |
| 500        | 0.910        | 0.090        | 37166360.385        | 9442056.647        | 93216.83        |
| <b>510</b> | <b>0.903</b> | <b>0.097</b> | <b>36894523.101</b> | <b>10139283.06</b> | <b>92223.15</b> |
| 600        | 0.902        | 0.098        | 36838593.603        | 10282734.77        | 92033.84        |
| 650        | 0.775        | 0.225        | 31665651.106        | 23550643.06        | 84948.14        |
| 690        | 0.727        | 0.273        | 29688246.056        | 28622423.55        | 84508.22        |
| 700        | 0.714        | 0.286        | 29163413.894        | 29968548.12        | 84474.23        |
| 750        | 0.646        | 0.354        | 26377786.636        | 37113310.89        | 84654.80        |
| 800        | 0.572        | 0.428        | 23375630.849        | 44813440.49        | 85236.34        |
| 844.202    | 0.505        | 0.495        | 20611953.600        | 51901904.42        | 85896.34        |
| 850        | 0.49563994   | 0.50436      | 20245734.2          | 52841208.38        | 85984.64        |
| 900        | 0.41845418   | 0.581546     | 17092876.33         | 60927868.73        | 86689.72        |
| 950        | 0.34344242   | 0.656558     | 14028820.83         | 68786762.86        | 87174.30        |

Untuk nilai perhitungan tp (510) adalah sebagai berikut :

$$TC(tp) = \frac{C_p \cdot R(tp) + (C_f \cdot F(tp))}{tp}$$

$$R(510) = \exp \left( -\frac{tp}{\theta} \right)^{\beta} = \exp \left( -\frac{510}{933.439} \right)^{3,780} = 0.903$$

$$F(510) = 1 - R(tp) = 1 - 0.903 = 0.097$$

$$TC(510) = \frac{Rp \ 40,903,442.00 \times 0.903 + (Rp \ 107,542,608.00 \times 0.097)}{510}$$

$$TC(510) = Rp \ 92.223.15 / \text{jam}$$

Jadi waktu penggantian yang optimal untuk masing-masing komponen sesuai dengan keinginan perusahaan yaitu keandalan komponen kritis ketika dilakukan Perawatan

tidak kurang dari 0.9 adalah untuk roda gigi pinion dan *axle lining* serta *wickassy* perawatan yang tepat dilakukan setiap 510 jam.

#### 4.4.5 Perhitungan Nilai *Reliability* Pada Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen

Peningkatan keandalan dapat dicapai dengan program perawatan pencegahan. Program perawatan pencegahan dapat mengurangi efek penuaan atau *wearout* dan dapat menunjukkan hasil yang signifikan terhadap umur mesin. Berikut ini adalah nilai keandalan setelah ditentukan interval waktu perawatan dengan nilai keandalan tidak kurang dari 0.9 untuk masing masing komponen kritis.

Tabel 4.33 nilai keandalan pada penentuan Interval Penggantian Komponen roda gigi pinion

| tp         | R(tp)         | F(Tp)         | R(tp) %      | F(Tp) %     |
|------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| 50         | 1.0000        | 0.0000        | 100.00       | 0.00        |
| 100        | 1.0000        | 0.0000        | 100.00       | 0.00        |
| 200        | 0.9996        | 0.0004        | 99.96        | 0.04        |
| 250        | 0.9986        | 0.0014        | 99.86        | 0.14        |
| 300        | 0.9959        | 0.0041        | 99.59        | 0.41        |
| 350        | 0.9896        | 0.0104        | 98.96        | 1.04        |
| 400        | 0.9769        | 0.0231        | 97.69        | 2.31        |
| 450        | 0.9537        | 0.0463        | 95.37        | 4.63        |
| 500        | 0.9145        | 0.0855        | 91.45        | 8.55        |
| <b>510</b> | <b>0.9042</b> | <b>0.0958</b> | <b>90.42</b> | <b>9.58</b> |
| 600        | 0.7654        | 0.2346        | 76.54        | 23.46       |
| 650        | 0.6488        | 0.3512        | 64.88        | 35.12       |
| 694.742    | 0.5244        | 0.4756        | 52.44        | 47.56       |
| 700        | 0.5089        | 0.4911        | 50.89        | 49.11       |
| 750        | 0.3596        | 0.6404        | 35.96        | 64.04       |
| 800        | 0.2214        | 0.7786        | 22.14        | 77.86       |
| 850        | 0.1141        | 0.8859        | 11.41        | 88.59       |
| 900        | 0.0469        | 0.9531        | 4.69         | 95.31       |

$$R_t = \exp - \frac{t}{\theta}^\beta$$

$$R(510) = \exp - \frac{tp}{\theta}^\beta = \exp - \frac{510}{794.195}^{6,102} = 0.9042$$

$$R_{510} = 0.9042 \text{ apabila di persentasekan sebesar } = 0.9042 / 1 \times 100\% = 90,42\%$$

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

$F(510) = 1 - 0.9042 = 0,0958$  apabila di persentasekan sebesar  $= 0,0958 / 1 \times 100\% = 9,58\%$

Tabel 4.34 nilai keandalan pada penentuan Interval Penggantian Komponen *wickassy*

| tp         | R(tp)        | F(Tp)        | R(tp) %      | F(Tp) %     |
|------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 50         | 1.000        | 0.000        | 100.00       | 0.00        |
| 100        | 1.000        | 0.000        | 100.00       | 0.00        |
| 200        | 0.999        | 0.001        | 99.95        | 0.05        |
| 250        | 0.998        | 0.002        | 99.85        | 0.15        |
| 300        | 0.996        | 0.004        | 99.63        | 0.37        |
| 350        | 0.992        | 0.008        | 99.24        | 0.76        |
| 400        | 0.986        | 0.014        | 98.57        | 1.43        |
| 450        | 0.975        | 0.025        | 97.52        | 2.48        |
| 500        | 0.960        | 0.040        | 95.95        | 4.05        |
| <b>510</b> | <b>0.956</b> | <b>0.044</b> | <b>95.56</b> | <b>4.44</b> |
| 600        | 0.907        | 0.093        | 90.66        | 9.34        |
| 650        | 0.867        | 0.133        | 86.66        | 13.34       |
| 690        | 0.827        | 0.173        | 82.69        | 17.31       |
| 700        | 0.816        | 0.184        | 81.59        | 18.41       |
| 750        | 0.754        | 0.246        | 75.42        | 24.58       |
| 800        | 0.682        | 0.318        | 68.18        | 31.82       |
| 850        | 0.600        | 0.400        | 60.02        | 39.98       |
| 896.888    | 0.518        | 0.482        | 51.77        | 48.23       |
| 900        | 0.512        | 0.488        | 51.20        | 48.80       |
| 950        | 0.421        | 0.579        | 42.12        | 57.88       |

$$R t = \exp - \frac{t}{\theta}^{\beta}$$

$$R(510) = \exp - \frac{510}{979,585}^{4,738} = 0.956$$

$R 510 = 0,956$  apabila di persentasekan sebesar  $= 0,956/1 \times 100\% = 95,56\%$

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

$F(510) = 1 - 0,956 = 0,044$  apabila di persentasekan sebesar  $= 0,044/1 \times 100\% = 4,44\%$

Tabel 4.35 nilai keandalan pada penentuan interval penggantian Komponen *axle lining*

| tp  | R(tp) | F(Tp) | R(tp) % | F(Tp) % |
|-----|-------|-------|---------|---------|
| 50  | 1.000 | 0.000 | 100.00  | 0.00    |
| 100 | 1.000 | 0.000 | 99.98   | 0.02    |

|            |              |              |              |             |
|------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 200        | 0.997        | 0.003        | 99.70        | 0.30        |
| 250        | 0.993        | 0.007        | 99.31        | 0.69        |
| 300        | 0.986        | 0.014        | 98.64        | 1.36        |
| 350        | 0.976        | 0.024        | 97.58        | 2.42        |
| 400        | 0.960        | 0.040        | 96.02        | 3.98        |
| 450        | 0.939        | 0.061        | 93.86        | 6.14        |
| 500        | 0.910        | 0.090        | 90.99        | 9.01        |
| <b>510</b> | <b>0.903</b> | <b>0.097</b> | <b>90.32</b> | <b>9.68</b> |
| 600        | 0.828        | 0.172        | 82.85        | 17.15       |
| 650        | 0.775        | 0.225        | 77.52        | 22.48       |
| 690        | 0.727        | 0.273        | 72.68        | 27.32       |
| 700        | 0.714        | 0.286        | 71.40        | 28.60       |
| 750        | 0.646        | 0.354        | 64.58        | 35.42       |
| 800        | 0.572        | 0.428        | 57.23        | 42.77       |
| 844.202    | 0.505        | 0.495        | 50.46        | 49.54       |
| 850        | 0.49564      | 0.50436      | 49.56        | 50.44       |
| 900        | 0.418454     | 0.581546     | 41.85        | 58.15       |
| 950        | 0.343442     | 0.656558     | 34.34        | 65.66       |

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

$$R(510) = \exp\left(-\frac{510^{3,780}}{933.439}\right) = 0.903$$

$R(t) = 0,903$  apabila di persentasekan sebesar  $= 0,903/1 \times 100\% = 90,32\%$

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

$F(250) = 1 - 0,903 = 0,097$  apabila di persentasekan sebesar  $= 0,097/1 \times 100\% = 9,68\%$

## BAB V

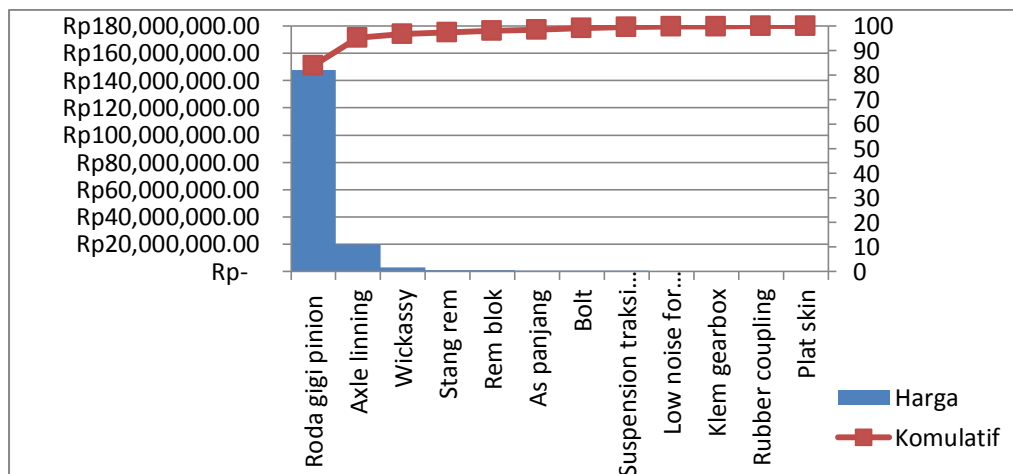
### PEMBAHASAN

#### 5.1 Analisis komponen Kritis

Penentuan jenis lokomotif CC201 untuk mendapatkan komponen kritis adalah yang pertama dengan melihat banyaknya kerusakan pada keempat jenis lokomotif tersebut dari total kerusakan lokomotif CC201 sebanyak 147 kali yaitu 48,98% kerusakan paling banyak dialami oleh lokomotif CC201 dengan jenis lokomotif mekanik, oleh karena itu akan dilakukan pencarian komponen kritis pada lokomotif jenis mekanik. Penentuan komponen kritis dengan cara melihat banyaknya kerusakan dan biaya yang keluar akibat kerusakan tersebut, berikut ini adalah diagram pareto untuk komponen kritis

Tabel 5.1 data kerusakan komponen sistem mekanik

| Komponen Sistem Mekanik | Jumlah Failure | harga satuan    | Total harga      | Persentase | Kumulatif |
|-------------------------|----------------|-----------------|------------------|------------|-----------|
| Roda gigi pinion        | 10             | Rp14,768,247.00 | Rp147,682,470.00 | 83.82%     | 83.82%    |
| Axle lining             | 8              | Rp2,494,973.00  | Rp19,959,784.00  | 11.32%     | 95.14%    |
| Wickassy                | 8              | Rp364,637.00    | Rp2,917,096.00   | 1.65%      | 96.79%    |
| Stang rem               | 3              | Rp390,000.00    | Rp1,170,000.00   | 0.66%      | 97.45%    |
| Rem blok                | 14             | Rp69,875.00     | Rp978,250.00     | 0.55%      | 98.00%    |
| As panjang              | 2              | Rp468,800.00    | Rp937,600.00     | 0.53%      | 98.53%    |
| Bolt                    | 12             | Rp73,515.00     | Rp882,180.00     | 0.50%      | 99.03%    |
| Suspension traksi m     | 1              | Rp715,000.00    | Rp715,000.00     | 0.40%      | 99.43%    |
| Low noise for snubl     | 9              | Rp42,419.00     | Rp381,771.00     | 0.21%      | 99.64%    |
| Klem gearbox            | 1              | Rp214,630.00    | Rp214,630.00     | 0.12%      | 99.76%    |
| Rubber coupling         | 2              | Rp88,600.00     | Rp177,200.00     | 0.10%      | 99.86%    |
| Plat skin               | 2              | Rp78,975.00     | Rp157,950.00     | 0.08%      | 100%      |



Gambar 5.1 diagram pareto

Dapat dilihat pada gambar bahwa roda gigi pinion berada di urutan pertama pada komponen kritis selain jumlah kerusakannya sebanyak 10 kali, harga dari komponen tersebut juga cukup mahal, sehingga biaya penggantian roda gigi pinion lebih mahal dari komponen lainnya walaupun ada komponen lain yang memiliki jumlah kerusakan lebih banyak dari gigi pinion tetapi biaya penggantian tidak semahal biaya roda gigi pinion, sehingga roda gigi pinion dapat dikatakan komponen kritis. Tetapi menurut hasil dari *failure mode and effect analysis* equipment yang memiliki nilai *risk priority number* (RPN) adalah *wickassy* dan *axle lining* dimana kedua komponen tersebut memiliki nilai RPN yang paling tinggi, oleh karena pertimbangan itu *wickassy* dan *axle lining* juga masuk ke dalam komponen kritis, dan dapat dilihat juga pada diagram pareto *wickassy* dan *axle lining* menempati urutan ke dua dan ke tiga setelah roda gigi pinion. Jadi kesimpulan dari diagram pareto di atas adalah komponen yang memiliki prioritas untuk dilakukannya perawatan pencegahan adalah roda gigi pinion, *wickassy* dan *axle lining*.

## 5.2 Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

*Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dibuat untuk mengetahui kegunaan, jenis kerusakan, mode kerusakan dan efek yang ditimbulkan akibat dari kerusakan komponen tersebut, selain itu FMEA juga dapat mengetahui *risk priority number* (RPN) dari komponen apabila terjadi kerusakan.. nilai dari RPN diperoleh dari perkalian antara nilai *severity* x *occurrence* x *detection*. nilai *severity* adalah seberapa serius efek yang ditimbulkan akibat kerusakan, dengan range nilai 1 sampai dengan 10, semakin tinggi

nilai *severity* maka akibat yang ditimbulkan adalah semakin berbahaya. Nilai *occurrence* adalah tingkatan keseringan kegagalan tersebut terjadi dengan range nilai 1 sampai dengan 10 semakin tinggi nilai *occurrence* maka semakin sering kerusakan tersebut terjadi. Nilai *detection* adalah bagaimana kegagalan tersebut dapat terdeteksi, dengan nilai range 1 sampai 8, semakin tinggi nilai *detection* maka kegagalan sulit terdeteksi oleh operator pada saat perawatan *preventif*. Berikut adalah nilai RPN dari setiap komponen.

Tabel 5.2 nilai RPN dari setiap komponen

| Komponen         | nilai RPN |
|------------------|-----------|
| Roda gigi pinion | 144       |
| axle lining      | 324       |
| wickassy         | 336       |
| stang rem        | 90        |
| rem blok         | 108       |
| plat skin        | 63        |
| As panjang       | 72        |
| Bolt             | 140       |
| Suspension       | 18        |
| Low noise for    | 210       |
| Klem gear box    | 52        |
| Rubber coupling  | 72        |

Tabel diatas menunjukkan nilai RPN yang terbesar adalah komponen *wickassy* hal ini menyatakan bila bahwa komponen *wickassy* memiliki prioritas untuk dilakukan tindakan koreksi atau perawatan.

### 5.3 Analisis Uji kecocokan distribusi (Goodness of fit)

Niali *index of fit* bukan merupakan keputusan final karena data waktu kerusakan masih harus diuji dengan uji kecocokan data (*goodness of fit*). Hasil keduanya bisa saja berbeda karena *index of fit* dan *goodness of fit* memiliki perbrdaan konsep. Untuk itu *goodness of fit* perlu dilakukan untuk memastikan apakah distribusi yang dipilih benar-benar sesuai dengan data waktu kerusakan. Karena hasil dari *index of fit* mengasumsikan bahwa data berdistribusi weibull untuk data waktu antar kerusakan, maka uji kecocokan data dilakukan dengan uji *Mann's Test*. Hasil uji *Mann's Test*

masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.21, 4.22, dan 4.23. Dari hasil uji hipotesis masing-masing alat uji tersebut diketahui bahwa uji hipotesisnya dapat diterima.

Tabel 5.3 nilai uji *mann's test*

| Komponen           | M        | F <sub>crit</sub> |
|--------------------|----------|-------------------|
| Roda gigi pinion   | 1.125    | 6.26              |
| <i>wickassy</i>    | 1.166667 | 9.12              |
| <i>axle lining</i> | 1.166667 | 9.12              |

Hasil perhitungan atas uji kecocokkan dapat dilihat pada Tabel 5.2. Dari hasil perhitungan akan diperoleh nilai M (hasil dari uji *mann's test*) yang akan dibandingkan dengan nilai F<sub>crit</sub>. Karena nilai M, dari ke tiga komponen tersebut lebih kecil dari F<sub>crit</sub>, maka dapat disimpulkan bahwa H<sub>0</sub> dapat diterima atau data waktu antar kerusakan berdistribusi *weibull*.

#### 5.4 Analisis Parameter Distribusi TTF dan Nilai MTTF

Setelah pola distribusi data selang waktu antar kerusakan diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan parameter distribusi untuk mendapatkan nilai MTTF (*Mean Time To Failure*). Data waktu antar kerusakan untuk ke tiga komponen kritis mengikuti distribusi *weibull*, maka hasil perhitungan MTTF adalah sebagai berikut

Tabel 5.4 Nilai Parameter Distribusi TTF dan Nilai MTTF

| Komponen           | ( <i>scale parameter</i> ) | ( <i>shape parameter</i> ) | MTTF (jam) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|------------|
| roda gigi pinion   | 747,195                    | 6,102                      | 694,742    |
| <i>wickassy</i>    | 979,585                    | 4,738                      | 896,888    |
| <i>axle lining</i> | 933,439                    | 37,015                     | 844,202    |

Untuk komponen roda gigi pinion didapat bahwa rata-rata selang waktu antar kerusakan adalah sebesar 694,742 jam, artinya bahwa komponen tersebut akan mengalami kerusakan setelah beroperasi selama 694,742 jam. Komponen *wickassy* rata-rata selang waktu antar kerusakan adalah sebesar 896,888 jam yang artinya setelah beroperasi selama 896,888 jam maka komponen tersebut akan mengalami kerusakan. Begitu juga dengan *axle lining* dengan rata-rata selang waktu antar kerusakan sebesar 844,202 jam.

### 5.5 Analisa Interval Waktu Perawatan

Setelah diperoleh nilai MTTF maka tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk menentukan interval waktu pergantian pencegahan. Parameter dari distribusi yang telah lulus uji kecocokan distribusi selanjutnya juga digunakan untuk menghitung interval waktu pergantian pencegahan dengan kriteria minimasi biaya. Dimana hasil perhitungan dipilih karena memiliki nilai keandalan 0,9, karena perusahaan menginginkan keandalan untuk komponen kritis tidak kurang dari 0,9. Model yang digunakan adalah model pergantian optimal yaitu menentukan waktu pergantian pencegahan berdasarkan umur optimal keandalan komponen mesin. Hasil perhitungan selang waktu pergantian komponen kritis dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5.5 Interval Waktu Pergantian

| roda gigi pinion           | tp      | R(tp)  | F(Tp)  |
|----------------------------|---------|--------|--------|
| sesudah penentuan interval | 510     | 0.9042 | 0.0958 |
| sebelum penentuan interval | 694.742 | 0.5244 | 0.4756 |

Tabel 5.6 Interval Waktu Pergantian

| <i>wickassy</i>            | tp      | R(tp) | F(Tp) |
|----------------------------|---------|-------|-------|
| sesudah penentuan interval | 510     | 0.956 | 0.044 |
| sebelum penentuan interval | 896.888 | 0.518 | 0.482 |

Tabel 5.7 Interval Waktu Pergantian

| <i>Axle lining</i>         | tp      | R(tp) | F(Tp) |
|----------------------------|---------|-------|-------|
| sesudah penentuan interval | 510     | 0.903 | 0.097 |
| sebelum penentuan interval | 844.202 | 0.505 | 0.495 |

Dapat dilihat di tabel interval waktu sebelum penentuan interval yang optimal untuk komponen roda gigi pinion adalah 694,742 jam dengan keandalan 0,5244 yang artinya probabilitas mesin rusak sebelum mencapai waktu yang ditetapkan adalah sebesar 0,4756 atau 47,56%. Sedangkan setelah ditentukan interval waktu perawatan yaitu pada jam ke 510, keandalan mesin adalah 0,9042 hal ini juga sejalan dengan perusahaan yang menginginkan keandalan mesinnya tidak kurang dari 0,9, sehingga probabilitas kerusakan mesin sangat kecil yaitu sebesar 9.58%.

## 5.6 Perhitungan Perkiraan Biaya Perawatan Pencegahan

1. TC(t) pada interval jam ke 510 waktu penggantian komponen roda gigi pinion : biaya penggantian per satuan waktu x jumlah satuan waktu kerja.  
 Satuan waktu kerja = jumlah hari pada Januari hingga September 2014 adalah 136 hari , kemudian waktu oprasi lokomotif dalam sehari adalah 12 jam, jadi jumlah satuan waktu kerja adalah  $12 \times 136 = 1632$  jam  
 $= \text{Rp } 116.160 \times 1632 = \text{Rp } 189.573.120$
2. TC(t) pada interval jam ke 510 waktu penggantian komponen *wickassy* : biaya penggantian per satuan waktu x jumlah satuan waktu kerja.  
 Satuan waktu kerja = jumlah hari pada Januari hingga September 2014 adalah 136 hari , kemudian waktu oprasi lokomotif dalam sehari adalah 12 jam, jadi jumlah satuan waktu kerja adalah  $12 \times 136 = 1632$  jam  
 $= \text{Rp } 81.477 \times 1632 = \text{Rp } 132.970.464$
3. TC(t) pada interval jam ke 510 waktu penggantian komponen *axle lining*: biaya penggantian per satuan waktu x jumlah satuan waktu kerja.  
 Satuan waktu kerja = jumlah hari pada Januari hingga September 2014 adalah 136 hari , kemudian waktu oprasi lokomotif dalam sehari adalah 12 jam, jadi jumlah satuan waktu kerja adalah  $12 \times 136 = 1632$  jam  
 $= \text{Rp } 92.223 \times 1632 = \text{Rp } 150.507.936$

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis dengan *reliability centered maintenance* ada beberapa kesimpulan yang dapat ditarik diantaranya yaitu penentuan komponen kritis dapat ditentukan dengan melihat jumlah kerusakan dan biaya komponen melalui diagram pareto didapatkan komponen kritis yaitu roda gigi pinion, *axle lining*, *wickassy*,
2. Usulan interval waktu perawatan *preventive* yang baik untuk melakukan perawatan pada komponen kritis adalah setiap 510 jam operasi untuk komponen roda gigi pinion, *axle lining*, dan *axle lining*.
3. Setelah ditentukan interval penggantian komponen kritis didapatkan biaya untuk melakukan penggantian, untuk komponen roda gigi pinion melakukan penggantian pada jam 510 setelah beroperasi dengan nilai keandalan sebesar 0.9042 dan mengeluarkan biaya penggantian sebesar Rp 189.573.120. Komponen *wickassy* melakukan penggantian pada jam 510 setelah beroperasi dengan nilai keandalan sebesar 0.956 dan mengeluarkan biaya penggantian sebesar Rp 132.970.464. Komponen *wickassy* melakukan penggantian pada jam 510 setelah beroperasi dengan nilai keandalan sebesar 0,903 dan mengeluarkan biaya penggantian sebesar Rp 150.507.936.

#### 6.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dipo Lokomotif Yogyakarta sebaiknya membentuk suatu bagian yang khusus melakukan pencatatan terhadap semua *failure* yang terjadi, agar *failure* tersebut

dapat *ter-record* dengan baik. Hal ini dapat membantu dalam penentuan kebijakan perawatan pada komponen-komponen lokomotifnya.

2. Sebaiknya penelitian selanjutnya tidak hanya terbatas pada satu sistem dalam lokomotif, agar kerusakan komponen-komponennya dapat mewakili seluruh sistem dalam lokomotifnya.
3. Pihak perusahaan diharapkan perlu menerapkan *preventive maintenance* untuk menjaga mesin-mesin lokomotif supaya tetap dalam kondisi terbaik dan siap dioperasikan. Salah satunya adalah penggantian komponen sebelum mesin mengalami kerusakan dengan mempertimbangkan interval waktu penggantian komponen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andina, N.S., Ambar, H., dan Fifi, H.M. 2014. Usulan Kebijakan Perawatan Lokomotif Jenis CC201 Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* Di PT. Kereta Api Indonesia DIPO Bandung. No 2 volume 2.
- Aritonang, Y.M.K., Ari, S., & Cecillia, I. 2015. penerapan metode RCM untuk menentukan strategi perawatan fasilitas produksi kain : Universitas Khatolik Parahyangan.
- Blanchard. 1994. Improving Machinery Reliability : Elsevier Science (USA)*
- Corder, Anthony, dan Hadi, K. 1992, Teknik Manajemen Pemeliharaan, Erlangga, Jakarta.
- Charles, E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. McGraw-Hill, Singapore.*
- Darius, A. 2007. Menejemen Perawatan Mesin : Universitas Darma Persada
- Eko, L. 2011, Sekilas Tentang Runtutan Sebab Akibat Perkembangan Dunia *Maintenance*: Universitas Diponegoro, Semarang
- Gaspersz, V. 2002. *Total Quality Management*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hendro, A. 2012. Usualan Perancangan Perawatan Mesin Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Di PT. Perkebunan Nusantara VII (Persero) Unit Usaha Sungai Niru Kab. Muara Enim : Universitas Negeri Sunan Kalijaga.
- Hubdat. 2014. Kebijakan Transportasi Perkotaan. (*Online*) : <http://hubdat.web.id/kebijakan/30-kebijakan-transportasi> 12 Desember 2014.
- Hutabarat. 2008. Pengantar Oseanografi : Universitas Indonesia Pres, Jakarta

- Indriani, S., Sutrisno, & Judi, A. 2013. Penentuan Kebijakan Perawatan Berbasis *Reliability Centered Maintenance* dan Optimasi Pengadaan Komponen Pada Subsistem Kritis Lokomotif CC 204 : Universitas Telkom, Bandung.
- Irawan, H., Arif, R., dan Zefri, D. 2013. Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Pada Mesin *Blowing OM*: Universitas Brawijaya, Malang.
- Jardine, A.K.S. 1973. *Maintenance, Replacement, and Reability, Pitman Publishing Corporation, Canada*
- Laporan Bulanan Dipo Kereta Yogyakarta, PT Kereta Api (Persero), Yogyakarta, 2014 – 2015
- Lisna, W. 2009. Usulan Perbaikan Efektivitas Mesin Dengan Menggunakan Metode *Overall Equipment fectiveness* sebagai dasar penerapan *total productive maintenance*.
- MOUBRAY, J. 1991. *Reliability Centered Maintenance, Second Edition : Industrial Press Inc.*
- Rahma, S., Wijayanti, D. A., Ismiyati, & Djoko, P. 2014. Penyediaan Transportasi Masa Depan di Kota Semarang **3** : 367 – 379
- Smith, A., & Glen, R. 2004. *RCM-Gateway to World Class Maintenance: United Kingdom: Elsevier Inc.*
- Sofyan, A. 1999. Manajemen Produksi dan Operasi Edisi Revisi, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
- Sujadi, A. 2015. Revolusi BUMN Transportasi (*online*) : <http://www.kompasiana.com/sujadi/r-evolusi-bumn> 27 Agustus 2015.
- Weny, Y. A., & Yudha, P. 2012. Perancangan Kebijakan Perawatan dan Penentuan Persediaan Spare Part di Sub Sistem Evaporasi Pabrik Urea Kaltim-3 PT Pupuk Kalimantan Timur. No 1 *volume* 1.

Widhiyanti, L., & Francisca, W. 2011. Strategi PT Kereta Api Indonesia (KAI) Dalam Meningkatkan Pelayanan Transportasi Kereta Api, Yogyakarta.

Walpole, 1992. Pengantar Statistika, : P.T. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta

### Lampiran



Axle Linning



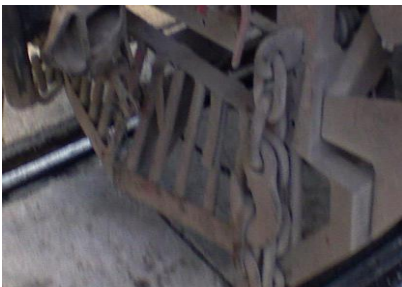
Plat Skin dan Jurnal Bearing



Hendry Cot



Helical Spring



Cowfinger



Roda Gigi Pinion



Low noise for snubber



Remblok



Roda Gigi Besar



Rubber Coupling



Tempat Bolt



Roda