

**USULAN PENENTUAN WAKTU PERAWATAN PREVENTIF YANG
OPTIMAL PADA KOMPONEN KRITIS MESIN BUS BERDASARKAN
DOWNTIME**

(Studi kasus di PO bus JOGLOSEMAR)

TUGAS AKHIR

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



Nama : Fani Prasticawati

No. Mahasiswa : 11522377

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

2016

PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah, saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali kutipan 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



Fani Prasticawati

11522377

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

USULAN PENENTUAN WAKTU PERAWATAN PREVENTIF YANG OPTIMAL PADA KOMPONEN KRITIS MESIN BUS BERDASARKAN DOWNTIME (Studi kasus di PO bus JOGLOSEMAR)

TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : Fani Prasticawati
NIM : 11522377

Yogyakarta, 10 Maret 2016

Pembimbing I



Ir. Sunaryo, MP

Pembimbing II



Muhammad Sugarindra, ST., MTI

الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

USULAN PENETUAN WAKTU PERAWATAN PREVENTIF YANG OPTIMAL PADA KOMPONEN KRITIS MESIN BUS BERDASARKAN DOWNTIME

TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : Fani Prasticawati

Nim : 11522377

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

Yogyakarta, April

Tim Penguji
Ir. Sunaryo, MP
Ketua

Muhammad Sugarindra, ST., MTI
Anggota I

Drs. Imam Djati Widodo,
M.Eng.Sc.
Anggota II

Vikha Indira Asri, ST., MT
Anggota III

Mengetahui,

Ka. Prodi Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim
Alhamdulillah Rabbil'alam

Yang utama dari segalanya..

Sembah sujud serta syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas cinta dan kasih sayang-Nya serta segala karunia dan kemudahan yang selalu diberikan sampai akhirnya tugas akhir yang sederhana ini dapat terselesaikan dengan baik.

Serta tidak lupa pula sholawat dan salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa Islam untuk seluruh umat manusia dan membimbing kita menuju Ridho Allah SWT dan saya mempersembahkan untuk orang-orang yang tersayang.

Kedua orang tua saya Prasetyo dan Umiyati yang tak pernah lelah terus memberikan semangat dan motivasinya.

Sosok yang pertama dari tujuan hidupku yang selalu membangkitkan dalam keterpurukan ku. Terimakasih ya Allah yang memberikan malaikat-malaikatMu kepadaku. Sungguh-sungguh terimakasih sujud atas semua yang telah diberikan. Terimakasih atas segala kasih sayang, segala doa, segala dukungan yang tak pernah mampu kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dan persembahan ini.

Terimakasih...

Terimakasih...

Terimakasih...

Adikku tersayang Fachrul Dwi Aprilian

Yang terus memberikan semangat, dukungan dan sindirannya. Semoga kita masing-masing dapat membahagiakan kedua orang tua dan bermanfaat untuk orang banyak.

Aamiin.

HALAMAN MOTTO

مَنْ جَدَّ وَ جَدَّ

Barang siapa yang bersungguh - sungguh akan mendapatkannya.

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا لَهَا مَا كَسَبَتْ وَعَلَيْهَا مَا اكْتَسَبَتْ رَبَّنَا لَا تُؤَاخِذْنَا
إِنْ نَسِينَا أَوْ أَخْطَأْنَا رَبَّنَا وَلَا تَحْمِلْ عَلَيْنَا إَصْرًا كَمَا حَمَلْتَهُ عَلَى الَّذِينَ مِنْ
قَبْلِنَا رَبَّنَا وَلَا تُحَمِّلْنَا مَا لَا طَاقَةَ لَنَا بِهِ وَاعْفُ عَنَّا وَارْحَمْنَا أَنْتَ
مَوْلَانَا فَانصُرْنَا عَلَى الْقَوْمِ الْكَافِرِينَ

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Ia mendapat pahala (dari kebajikan) yang diusahakannya dan ia mendapat siksa (dari kejahatan) yang dikerjakannya. (Mereka berdoa): “Ya Tuhan kami, janganlah Engkau hukum kami jika kami lupa atau kami tersalah. Ya Tuhan kami, janganlah Engkau bebankan kepada kami beban yang berat sebagaimana Engkau bebankan kepada orang-orang sebelum kami. Ya Tuhan kami, janganlah Engkau pikulkan kepada kami apa yang tak sanggup kami memikulnya. Beri maaflah kami; ampunilah kami; dan rahmatilah kami. Engkaulah Penolong kami, maka tolonglah kami terhadap kaum yang kafir. (QS. Al-Baqarah 286)

مَنْ خَرَجَ فِي طَلَبِ الْعِلْمِ فَهُوَ فِي سَبِيلِ اللَّهِ

Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah “
(HR.Turmudzi)

KATA PENGANTAR

Asslamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tidak lupa shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga dan para sahabat, karena dengan syafa'atnya kita dapat hijrah dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang.

Tugas Akhir yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang strata satu (S1) ini tidak akan dapat tersusun dengan baik tanpa bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada berbagai pihak diantaranya:

1. Bapak Dr. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri.
3. Bapak Ir. Sunaryo, MP dan Bapak Muhammad Sugarindra, ST., MTI, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir ini, terimakasih atas segala bimbingannya dan dedikasi sebagai pengajar yang tulus dan ikhlas telah meluangkan waktu untuk membimbing penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. PO Bus JOGLOSEMAR yang telah memberikan kesempatan kepada penulis serta memberikan fasilitas sehingga memudahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Kedua orang tua, adik serta keluarga yang selalu memberikan cinta, kasih sayang, dukungan, motivasi, nasihat serta selalu mencurahkan doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Kepada semua teman-teman penulis, baik teman-teman Yogya Region Bontang, teman-teman Jurusan Industri, teman-teman KKN Unit 42, teman-teman Kru Elita Kerudung dan semua yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

7. Semua pihak yang turut berjasa kepada penulis yang namanya tidak dapat disebutkan satu-persatu, penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan do'a dan dukungannya selama ini.

Dan akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang.

Wassalamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakatuh

Yogyakarta, Maret 2016

Fani Prasticawati
11522377

ABSTRAK

JOGLOSEMAR merupakan salah satu anak dari PT. Sejahtera AO Kencana sakti yang bergerak di bidang jasa transportasi. Selama ini bus hanya menjalankan perawatan yang bersifat korektif yaitu perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan. Perawatan korektif mengakibatkan bus mengalami kerusakan dan tidak dapat beroperasi sesuai jadwal. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode preventive maintenance yaitu metode yang melakukan perhitungan untuk menentukan perawatan yang terjadwal. Perawatan terjadwal bertujuan mengetahui mesin dan komponen kritis untuk menentukan frekuensi dan interval waktu pemeriksaan yang optimal sehingga dapat mencegah kerusakan komponen – komponen pada bus. Objek penelitian ini difokuskan pada armada bus JOGLOSEMAR dengan nomer polisi AB 7778 JN. Penggunaan metode preventive maintenance dengan menentukan komponen kritis berdasarkan persentase downtime terbesar dan frekuensi kerusakan. Uji distribusi ditentukan dengan menggunakan metode Least Square Curve Fitting (LSCF) berdasarkan nilai index of fit terbesar. Kecocokan jenis distribusi diuji dengan menggunakan metode goodness of fit. Nilai MTTF dan MTTR dihitung dengan distribusi terpilih. Penentuan frekuensi dan interval waktu pemeriksaan. Dari hasil penelitian yang menjadi komponen kritis adalah kampas rem. Interval waktu perawatan pada komponen kampas rem adalah selama 28263,912 menit sejak bus beroperasi sesudah kampas rem diganti. Waktu perbaikan yang optimal adalah selama 82,8115 menit setiap kali bus diperbaiki. Interval waktu pemeriksaan yang optimal adalah setiap selang waktu 16.200 menit sekali dengan frekuensi pemeriksaan sebesar sebulan sekali.

Keyword: *komponen kritis, downtime, MTTR, MTTF, interval waktu pemeriksaan*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang semakin pesat berdampak pada meningkatnya kebutuhan dalam dunia perindustrian transportasi. Telah banyak dijumpai berbagai bisnis jasa terutama jasa, salah satunya adalah perusahaan jasa transportasi. Pada saat sekarang ini transportasi merupakan kebutuhan yang tidak dapat terpisahkan dari masyarakat. Terdapat hubungan erat antara transportasi dengan jangkauan dan lokasi kegiatan manusia baik barang atau jasa. Dalam berhubungan dengan kehidupan manusia, transportasi memiliki peranan yang signifikan dalam berbagai aspek, baik dalam aspek sosial, ekonomi, lingkungan, politik, pertahanan dan keamanan (Purnama *dkk.*, 2015)

Betapa besar dan penting peranan transportasi dalam kehidupan manusia, tampak dari usaha-usaha manusia untuk senantiasa memperbaiki dan meningkatkan sistem serta kapasitas angkut sepanjang zaman dahulu kala hingga masa sekarang ini. Makin bertambah baik alat transportasi yang digunakan manusia, makin bertambah tinggi tingkat mobilitas manusia itu, baik secara individual maupun secara sosial, berarti makin besar pula kemungkinan manusia dalam memperoleh sumber penghidupan yang lebih baik.

Perbaikan-perbaikan yang dilakukan bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan, keamanan, meminimalkan kerusakan-kerusakan yang sering terjadi. Untuk meminimalkan kerusakan-kerusakan yang sering terjadi perlunya dilakukan kegiatan perawatan pada suku cadang agar tidak berhenti bekerja secara permanen. Perawatan merupakan suatu kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas peralatan mesin dan mengadakan perbaikan atau penggantian yang diperlukan secara berkala supaya terdapat suatu keadaan mesin yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan (Assauri, 1993).

Kegiatan perawatan atau *maintenance* yang dilakukan pada sistem berperan penting dalam mendukung kelancaran sistem itu sendiri. Perawatan yang dilakukan juga bertujuan meminimalkan kerusakan-kerusakan yang sering terjadi sehingga mengurangi biaya perbaikan mesin. Menurut Nasution (2006), pendekatan perawatan pada dasarnya dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu *planned maintenance* dan *unplanned maintenance*. *Planned Maintenance* adalah tindakan atau kegiatan perawatan yang pelaksanaannya telah direncanakan terlebih dahulu, contohnya *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. *Preventive maintenance* sendiri dapat diartikan sesuatu sistem perawatan yang terjadwal dari suatu peralatan/suku cadang yang didesain untuk meningkatkan keandalan suatu mesin serta untuk mengantisipasi segala kegiatan perawatan yang tidak direncanakan sebelumnya. Sedangkan *predictive maintenance* didefinisikan sebagai pengukuran yang dapat mendeteksi degradasi sistem, sehingga penyebabnya dapat dieliminasi atau dikendalikan tergantung pada kondisi fisik suku cadang. Hasilnya menjadi indikasi kapabilitas fungsi sekarang dan masa depan.

Salah satu industri penyedia jasa transportasi angkutan darat, khususnya pada armada bus, perawatan merupakan hal yang harus diperhatikan karena proses kerja waktu operasional bus yang tanpa henti menempuh perjalanan jauh setiap hari. PO bus JOGLOSEMAR adalah satu usaha yang bergerak dibidang penyedia jasa transportasi angkutan darat antar kotadi Jawa Tengah dan Yogyakarta. Bentuk layanan yang diberikan berupa penyediaan armada bus yang berkualitas dan memberikan kenyamanan bagi penumpang dalam melakukan perjalanan. Bus ini menempuh jarak kurang lebih 250 km dengan waktu lebih dari 2 jam dan melakukan perjalanan pulang pergi.

Sistem perawatan yang dilakukan oleh PO bus JOGLOSEMAR masih bersifat korektif yaitu perawatan dilakukan setelah terjadi kerusakan. Sering kali terjadi kerusakan – kerusakan pada bus atau bahkan bus mengalami mati mesin pada saat bus hendak melakukan perjalanan sehingga bus tidak bisa beroperasi sesuai dengan jadwal. Dan seringkali terjadi keterlambatan perjalanan yang tidak sesuai dengan jadwal yang keberangkatan atau bahkan dilakukan pengoperan penumpang ke bus lain akibat bus yang mengalami kerusakan – kerusakan. Hal ini bisa dilihat dari persentase *downtime* bus – bus di Joglosemar akibat pergantian komponen pada Januari 2015 sebesar 5% dan mengalami peningkatan hingga 13% pada Desember 2015. Tidak adanya penjadwalan

menyebabkan kurang dapat memprediksi kapan bus akan rusak dan melakukan pencegahan sebelum terjadinya kerusakan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas dapat dirumuskan pokok permasalahan dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mesin dan komponen mana yang terpilih menjadi mesin dan komponen kritis pada bus?
2. Berapakah rata-rata waktu kerusakan dan rata-rata waktu perbaikan dari komponen kritis untuk menentukan perawatan preventif?
3. Bagaimana frekuensi dan interval waktu pemeriksaan pada komponen kritis yang terpilih pada bus?

1.3. Batasan Masalah

Pembatasan yang perlu dilakukan untuk memfokuskan kajian yang akan dilaksanakan sehingga tujuan penelitian dapat dicapai. Adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di lakukan pada industri jasa angkatan darat (bus) dilakukan pada bagian bengkel perawatan dan terbatas pada data waktu perawatan secara menyeluruh dari mesin tersebut.
2. Penelitian dilakukan pada satu objek armada bus yang mengalami frekuensi kerusakan terbanyak sebagai asumsi dengan penelitian pada armada tersebut dapat dijadikan dasar perawatan pada armada yang lain agar menjadi lebih baik.
3. Penelitian di fokuskan pada komponen kritis.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui mesin dan komponen yang terpilih menjadi mesin dan komponen kritis pada bus.
2. Mengetahui rata-rata waktu kerusakan dan rata-rata waktu perbaikan dari komponen kritis untuk menentukan perawatan preventif.

3. Mengetahui frekuensi dan interval waktu pemeriksaan pada komponen kritis yang terpilih pada bus.

1.5. Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan akan mempunyai manfaat dan kegunaan bagi semua pihak, adapun manfaat yang diharapkan oleh penulis sebagai berikut:

1. Bagi universitas
Memperkaya wawasan pengetahuan sebagai bahan studi bagi rekan-rekan mahasiswa dan juga sebagai pertimbangan bagi mahasiswa yang ingin mengerjakan tugas akhir.
2. Bagi perusahaan
Menyajikan informasi lengkap mengenai kegiatan dan waktu perawatan berdasarkan *downtime* bus sehingga dapat digunakan oleh pihak perusahaan untuk menentukan penjadwalan mesin secara preventif
3. Bagi peneliti
Mengaplikasikan teori manajemen perawatan yang telah diperoleh selama perkuliahan serta menambah pengetahuan tentang penerapan manajemen perawatan di lapangan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan standar buku penulisan tugas akhir yang telah ditentukan oleh Prodi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia. Penulisan penelitian ini terbagi atas enam bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

BAB II KAJIAN LITERATUR

Bab ini memuat kajian literatur deduktif dan induktif yang dapat membuktikan bahwa topik Tugas Akhir yang diangkat memenuhi syarat dan kriteria yang telah dijelaskan diatas.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini memuat obyek penelitian, data yang digunakan dan tahapan yang telah dilakukan dalam penelitian secara ringkas dan jelas. Metode ini dapat meliputi metode pengumpulan data, alat bantu, analisis data, dan desain.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini menguraikan proses pengolahan data dengan prosedur tertentu, termasuk gambar dan grafik yang diperoleh dari hasil penelitian.

BAB V PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisis dan interpretasi hasil dari pengumpulan dan pengolahan data.

BAB VI PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang menjawab rumusan permasalahan dan membuktikan hipotesis yang ada. Sedangkan saran berisi beberapa rekomendasi pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai perawatan preventif atau *preventive maintenance* pernah dilakukan sebelumnya di antaranya yaitu Maudzoh dan Ahmadi (2013) yang menggunakan metode *Total Productive Maintenance* (TPM) yang bertujuan untuk mengidentifikasi jenis kerusakan pada bus Trans Jogja. Selain itu dalam penelitian ini juga menggunakan metode *overall equipment efficiency* (OEE) untuk mengetahui ukuran performansi guna memperbaiki kinerja perusahaan. Diagram *fish bone* juga digunakan untuk menganalisis penyebab kerusakan dalam penelitian ini.

Selanjutnya Chairani dkk., (2015) melakukan penelitian pada bus APTB PPD dengan penyelesaian masalah perawatan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Pendekatan RCM dalam melaksanakan penelitian ini dominan bersifat *predictive maintenance*. Alat yang digunakan untuk menentukan faktor - faktor penyebab kegagalan mesin yaitu menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMAE) dan *Logic Tree analysis* (LTA). Dari penelitian ini didapatkan analisis penyebab terjadinya kegagalan yang sering dialami oleh mesin.

Winata dkk., (2013) melakukan penelitian di PO X yang berlokasi di Bojonegoro. Penelitian ini dilakukan karena tidak adanya penjadwalan perawatan. Perusahaan hanya melakukan perawatan jika terjadi kerusakan saja. Maka untuk menyelesaikan masalah ini dilakukan penjadwalan secara *preventive*. Langkah yang dilakukan yaitu mengelompokkan waktu antar kerusakan menggunakan pengujian *Kruskall-Wallis*, melakukan uji untuk melakukan distribusi yang tepat, menentukan jadwal perawatan *spare part*, menentukan stok minimal, serta membuat informasi sebagai usulan untuk perusahaan. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah *Mean Time to Failure* (MTTF) untuk menghitung rata – rata pemakaian komponen dan *Mean Time To Repair* (MTTR) untuk menghitung rata – rata waktu perbaikan. Penelitian ini juga

menghasilkan *safety stock* yang optimal dan membuat sistem informasi penunjang dalam melakukan perawatan *spare part* dengan menggunakan XAMPP.

2.2. Definisi Perawatan

2.2.1. Perawatan (*Maintenance*)

Beberapa pengertian perawatan (*maintenance*) menurut para ahli, yaitu :

1. Menurut Corder (1992), perawatan merupakan suatu kombinasi dari tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau untuk memperbaikinya sampai, suatu kondisi yang bisa diterima.
2. Menurut Assauri (1993), perawatan diartikan sebagai suatu kegiatan pemeliharaan fasilitas pabrik serta mengadakan perbaikan, penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang sesuai dengan yang direncanakan.
3. Menurut Dhillon (1997), perawatan adalah semua tindakan yang penting dengan tujuan untuk menghasilkan produk yang baik atau untuk mengembalikan ke dalam keadaan yang memuaskan
4. *Perfective Maintenance*, meningkatkan kinerja, pembungkusan pengepakan pemeliharaan dengan menggunakan software komputer.

Dalam tahun-tahun belakangan ini kemajuan proses industri mengakibatkan perubahan ekspektasi, penelitian dan teknik atau metode yang dipakai. Perkembangan tersebut dapat dibagi menjadi tiga generasi. Secara perlahan berkembang menjadi kewaspadaan dampak *failure* terhadap keselamatan dan lingkungan, kewaspadaan terhadap adanya hubungan antara sistem *maintenance* dengan kualitas produk. Sejak tahun 1930 evolusi dari *maintenance* dapat menjadi menjadi tiga generasi, yaitu (Eryl, 2010):

1. Generasi Pertama

Industri tidak banyak menggunakan mesin, sehingga *downtime* tidak dianggap penting.

- a. Peralatan yang digunakan masih sederhana, *reliable* sangat mudah diperbaiki
- b. Sistematis perawatan tidak dibutuhkan, hanya diperlukan perawatan seperti pembersihan, servis dan pengecekan rutin.

- c. Tenaga ahli dalam industri sangat rendah
2. Generasi Kedua
- a. Tipe mesin sangat beragam dan kompleks, dimana industri semakin bergantung dengan mesin-mesin tersebut.
 - b. *Downtime* menjadi focus yang penting, dimana muncul ide bahwa *failure* dari perawatan harus dicegah berdasarkan konsep *preventive maintenance*.
 - c. Peralatan secara keseluruhan dilakukan pada interval tetap, biaya perawatan meningkat perlahan bersamaan dengan biaya operasi.
3. Generasi Ketiga
- a. Otomasi semakin berkembang, sehingga lebih banyak dampak *failure* yang terjadi.
 - b. Biaya perawatan semakin meningkat.
 - c. Adanya penelitian baru berhubungan dengan umur operasi dan *failure*.
 - d. Adanya pengembangan baru, termasuk peralatan pendukung keputusan seperti studi *hazard*, mekanisme *failure*, dan analisa dari dampak yang terjadi.
 - e. Pemilihan teknik yang benar, yaitu teknik yang memungkinkan untuk mengembangkan performansi peralatan dan dapat mereduksi biaya peralatan.

Pendekatan pemeliharaan pada dasarnya dibagi atas dua bagian yaitu *planned* dan *unplanned maintenance*. Berikut ini dapat dilihat klasifikasi dari pendekatan sistem pemeliharaan tersebut (Eryl, 2010):

1. *Planned Maintenance*, suatu tindakan atau kegiatan pemeliharaan yang pelaksanaannya telah direncanakan terlebih dahulu.
 - a. *Preventive Maintenance*, suatu sistem pemeliharaan yang terjadwal dari suatu peralatan/komponen yang didesain untuk meningkatkan keandalan suatu mesin serta untuk mengantisipasi segala kegiatan pemeliharaan yang tidak direncanakan sebelumnya.
 - *Time Based Maintenance*
Kegiatan pemeliharaan ini berdasarkan periode waktu, meliputi inspeksi harian, *service*, pembersihan harian dan lain sebagainya.

- *Conditional Based Maintenance*

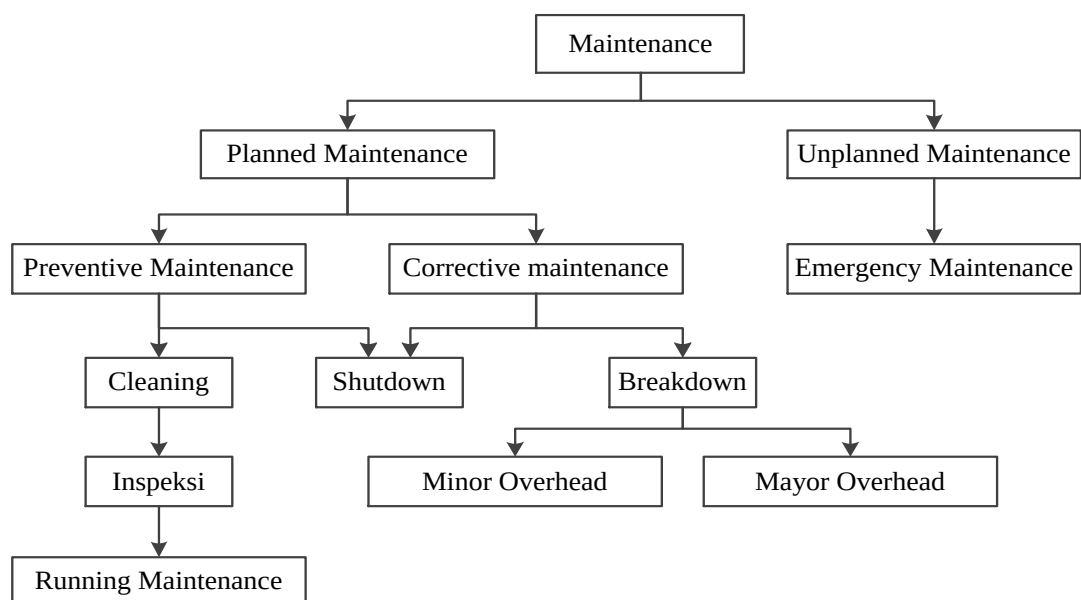
Kegiatan pemeliharaan ini menggunakan peralatan untuk mendiagnosa perubahan kondisi dari peralatan/asset, dengan tujuan untuk memprediksi awal penetapan interval waktu pemeliharaan.

b. *Corrective Maintenance*, suatu kegiatan pemeliharaan yang tujuan akhirnya untuk memperbaiki fungsi mesin atau peralatan.

- *Breakdown Maintenance*, yaitu suatu kegiatan pemeliharaan yang pelaksanaannya menunggu sampai dengan peralatan tersebut rusak lalu dilakukan perbaikan. Cara ini dilakukan apabila efek *failure* tidak bersifat signifikan terhadap operasi atau produksi.

2. *Unplanned Maintenance*, suatu tindakan atau kegiatan pemeliharaan yang pelaksanaannya tidak direncanakan.

Pemilihan kegiatan perawatan tersebut didasarkan atas sifat dari kerusakan atau kegagalan pada peralatan, apakah bersifat terprediksi atau tidak terprediksi. Selain itu juga pemilihan tersebut didasari atas biaya yang ditanggung apabila menerapkan salah satu jenis kegiatan pemeliharaan. Secara skematik pembagian pemeliharaan biasa dilihat dari gambar



Gambar 2.1 Pembagian Perawatan secara Skematik

Suatu mesin terdiri dari beberapa komponen yang vital, apabila komponen tersebut mengalami kerusakan maka akan mendatangkan kerugian yang sangat besar bagi perusahaan, untuk itu tidak bias dipungkiri perlunya suatu perencanaan kegiatan perawatan bagi masing-masing mesin produksi untuk memaksimalkan sumber daya yang ada, tetapi keuntungan yang diperoleh perusahaan dengan lancarnya kegiatan produksi akan lebih besar.

Dalam persoalan teknis yang perlu diperhatikan adalah:

1. Tindakan – tindakan apa yang harus di lakukan untuk memelihara atau merawat peralatan yang ada, untuk memperbaiki atau mereparasi mesin – mesin peralatan yang rusak.
2. Alat – alat atau komponen apa yang dibutuhkan harus di sediakan agar tindakan – tindakan pada bagian pertama di atas dapat dilakukan.

2.2.2. Tujuan Perawatan

Dalam istilah perawatan (*maintenance*) disebutkan bahwa tercakup dua pekerjaan yaitu perawatan dan perbaikan. Perawatan dimaksudkan sebagai aktivitas untuk mencegah kerusakan, sedangkan istilah perbaikan dimaksudkan sebagai tindakan untuk memperbaiki kerusakan.

Menurut Corder (1992) beberapa tujuan *maintenance* yang utama antara lain:

1. Untuk memperpanjang usia kegunaan asset meliputi setiap bagian dari suatu tempat kerja., bangunan dan isinya.
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa dan mendapatkan laba investasi yang maksimum.
3. Dalam menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat dalam setiap waktu misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran & penyelamatan dan sebagainya.
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

2.2.3. Tugas dan Kegiatan Perawatan

Menurut Assauri (1993) semua tugas dan kegiatan pemeliharaan dapat digolongkan ke dalam salah satu dari lima tugas pokok, yaitu:

1. Inspeksi (*Inspection*)

Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala (*routine schedule check*) bangunan dan peralatan pabrik sesuai dengan rencana serta kegiatan pengecekan dan pemeriksaan terhadap peralatan yang mengalami kerusakan dan membuat laporan hasil pengecekan dan pemeriksaan tersebut. Hasil laporan inspeksi harus memuat keadaan peralatan yang diinspeksi, sebab terjadinya kerusakan (bila ada), usaha perbaikan yang telah dilakukan, dan saran perbaikan dan penggantian yang diperlukan. Maksud dari kegiatan inspeksi ini adalah untuk mengetahui apakah pabrik selalu mempunyai peralatan/fasilitas produksi yang baik untuk menjamin kelancaran proses produksi.

2. Kegiatan Teknik (*Engineering*)

Kegiatan teknik meliputi kegiatan percobaan atas peralatan yang baru dibeli, dan kegiatan-kegiatan pengembangan peralatan atau komponen peralatan yang perlu diganti, serta melakukan penelitian-penelitian terhadap kemungkinan pengembangan tersebut.

3. Kegiatan Produksi (*Production*)

Kegiatan produksi merupakan kegiatan pemeliharaan yang sebenarnya, yaitu memperbaiki dan mereparasi mesin-mesin dan peralatannya. Secara fisik, melaksanakan perjalanan yang disarankan atau diusulkan dalam kegiatan inspeksi dan teknik, melaksanakan servis dan pelumasan. Kegiatan produksi ini dimaksudkan agar kegiatan produksi dalam pabrik dapat berjalan lancar sesuai dengan rencana.

4. Pekerjaan Administrasi (*Clerical Work*)

Pekerjaan Administrasi (*Clerical Work*) ini merupakan kegiatan administrasi dari pekerjaan pemeliharaan yang menjamin adanya catatan - catatan mengenai kegiatan atau kejadian – kejadian yang penting bagi pemeliharaan.

5. Pemeliharaan Bangunan (*House Keeping*)

Kegiatan pemeliharaan bangunan merupakan kegiatan untuk menjaga agar bangunan gedung tetap terpelihara.

2.3. Prosedur Pemeliharaan

Sebelum melakukan pemeliharaan terhadap setiap asset atau fasilitas yang digunakan dalam produksi, sebaiknya terlebih dahulu disusun rencana akan hal – hal atau kegiatan apa saja yang akan dilakukan terhadap mesin tertentu. Prosedur yang harus dilalui dalam melakukan kegiatan pemeliharaan antara lain (Corder, 1992) :

1. Menentukan apa yang akan dipelihara. Hal ini meliputi daftar sarana, penyusunan bahan – bahan yang menyangkut pembiayaan, karena merupakan asset fisik yang memerlukan pemeliharaan dan merupakan satu – satunya alasan yang bias dipertanggungjawabkan dalam meminta pengeluarannya.
2. Menentukan bagaimana asset atau sarana tersebut dipelihara. Membuat jadwal pemeliharaan bagi setiap mesin atau peralatan yang telah ditentukan. Sistem ini dapat dimulai dengan melakukan pemeliharaan terencana bagi beberapa mesin ‘kunci’ dan kemudian diikuti oleh mesin lain sampai tercapai tingkat pemeliharaan ekonomis yang optimum.
3. Setelah mempersiapkan jadwal pemeliharaan, selanjutnya adalah menyusun spesifikasi pekerjaan yang dihipunkan dari jadwal pemeliharaan. Spesifikasi ini dipersiapkan terpisah untuk masing-masing kegiatan dan frekuensi pemeriksaan.
4. Membuat perencanaan mingguan. Rencana ini dibuat bersama-sama dengan bagian produksi, biaya dan seksi perencanaan dan kemajuan produksi. Pengaturan pemberhentian pabrik untuk pemeriksaan pemberhentian pabrik untuk pemeriksaan pemeliharaan pencegahan terencana dan reparasi adalah persyaratan dasar mutlak.
5. Membuat dan mengisi blangko laporan pemeriksaan yang diikuti bersama spesifikasi pekerjaan pemeliharaan. Setelah pemeliharaan selesai, blangko ini dikembalikan ke mandor pemeliharaan untuk diperiksa dan di tanda tangan sebelum akhirnya dikembalikan ke kantor pemeriksaan.

2.4. Komponen Kritis

Program perawatan peralatan atau mesin harus dilakukan secara terencana. Namun demikian disadari bahwa tidak mungkin membuat suatu program yang merencanakan sistem perawatan untuk semua mesin atau tidak mungkin semua kerusakan dapat diatasi. Tetapi dengan adanya program perawatan tersebut sekurang-kurangnya dapat

mengatasi masalah-masalah yang ada. Usaha mendasar dalam merencanakan perawatan pencegahan dengan cara memberikan perhatian serius pada unit-unit atau komponen-komponen kritis.

Suatu komponen atau unit dapat dikualifikasikan kritis apabila:

1. Kerusakan unit itu dapat membahayakan kesehatan atau keselamatan pengguna.
2. Kerusakan unit dapat mempengaruhi kualitas dari produk.
3. Kerusakan unit dapat menimbulkan kemacetan produksi.
4. Biaya investasi untuk unit itu sangat mahal.

2.5. Kerusakan

Menurut Immawan dan Saputra (2010) kerusakan adalah suatu kondisi sistem yang menyimpang dari persyaratan standar yang telah ditentukan bagi sistem tersebut untuk melakukan fungsinya dengan sempurna. Setiap peralatan atau mesin mempunyai karakteristik kerusakan yang berbeda – beda. Sejumlah peralatan yang sama akan mempunyai karakteristik kerusakan yang berbeda jika dioperasikan pada kondisi lingkungan yang berbeda. Bahkan jika sejumlah peralatan yang sama dioperasikan pada kondisi lingkungan yang sama pun dapat mempunyai karakteristik kerusakan yang berbeda.

Ada dua jenis kerusakan, yaitu sebagai berikut:

1. Kerusakan fungsional merupakan suatu kondisi dimana mesin atau peralatan tidak mampu melaksanakan fungsinya sesuai *performance standard* yang ditentukan.
2. Kerusakan potensial merupakan suatu kondisi ditemukannya indikasi dini adanya penyimpangan yang akan menimbulkan kerusakan fungsional.

2.6. Fungsi Laju Kerusakan

Dalam analisis kerusakan dari suatu peralatan, factor yang diperhatikan adalah laju kerusakan (*failure rate*) alat setiap saat selama masa operasinya. Analisis kerusakan merupakan dasar teknik perawatan dan teknik keandalan.

Analisis kerusakan suatu peralatan dibagi menjadi dua cara, yaitu:

1. Menentukan sebab – sebab kerusakan berdasarkan aspek – aspek teknik peralatan
2. Menekankan pada ketergantungan mekanisme kerusakan terhadap waktu tanpa memperhatikan sebab – sebab kerusakan peralatan.

Laju kerusakan (*failure rate*) itu sendiri merupakan laju dimana kerusakan terjadi pada interval waktu yang ditetapkan. Untuk mengenal laju kerusakan dapat membayangkan sebuah tes atau percobaan yang dilakukan, dimana percobaan tersebut dilakukan dalam jumlah yang besar terhadap komponen - komponen yang identik dioperasikan dan waktu untuk gagal setiap komponen dicatat. Perkiraan laju kegagalan setiap komponen untuk titik waktu adalah jumlah item yang gagal dalam interval waktu terhadap populasi awal pada waktu operasi dimulai. Maka laju kerusakan adalah peluang peralatan tersebut akan gagal dalam interval waktu selanjutnya dengan syarat peralatan tersebut berfungsi pada waktu awal interval. Dengan memperhatikan kurva fungsi laju kerusakan distribusi weibull, normal dan eksponensial, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Fungsi laju kerusakan berdistribusi weibull dengan $\beta > 1$ dan fungsi laju kerusakan berdistribusi normal adalah monoton naik
2. Fungsi laju kerusakan berdistribusi weibull dengan $\beta = 1$ dan fungsi laju kerusakan berdistribusi eksponensial adalah monoton tetap
3. Fungsi laju kerusakan berdistribusi weibull $\beta < 1$ adalah monoton turun

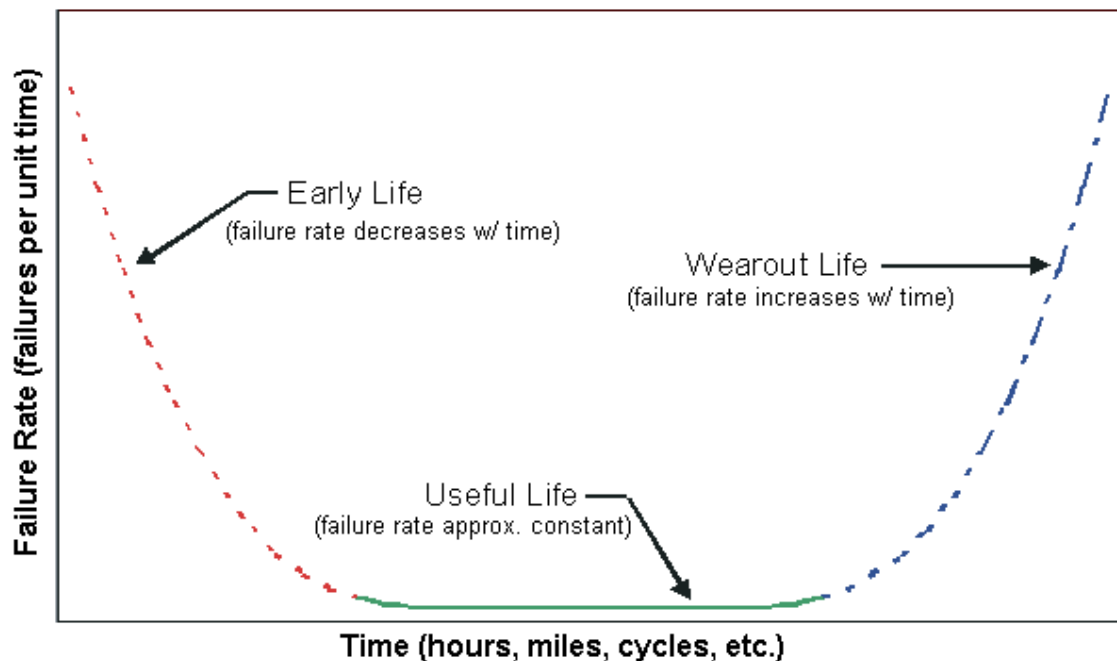
2.7. Konsep *Reliability* (Keandalan)

Keandalan (*reliability*) didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang diinginkan sepanjang suatu periode waktu tertentu bilamana digunakan pada kondisi-kondisi pengoperasian yang telah ditentukan. Atau dalam perkataan yang lebih singkat, keandalan merupakan probabilitas dari ketidak-gagalan terhadap waktu.

Menentukan keandalan dalam pengertian operasional mengharuskan definisi diatas dibuat lebih spesifik (Sachbudi, 2005) :

1. Harus ditetapkan definisi yang jelas dan dapat diobservasi dari suatu kegagalan. Berbagai kegagalan ini harus didefinisikan relatif terhadap fungsi yang dilakukan oleh komponen atau sistem.
2. Unit waktu yang menjadi referensi dalam penentuan keandalan harus diidentifikasi dengan tegas.
3. Komponen atau sistem yang diteliti harus diobservasikan pada performansi normal. Ini mencakup beberapa faktor seperti beban yang didesain, lingkungan, dan berbagai kondisi pengoperasian.

Sedangkan menurut Ebeling (2007) Keandalan adalah probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan menginformasikan suatu fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi. Pada umumnya *Bathub Curve* menjelaskan mengenai pola laju kerusakan pada suatu produk. Pada awalnya akan mengalami penurunan laju kerusakan (kerusakan dini), diikuti dengan laju kerusakan yang mendekati konstan (usia pakai), kemudian mengalami peningkatan laju kerusakan (melewati masa pakai). Bentuk kurvanya dapat dilihat seperti berikut:



Gambar 2.2 Kurva Laju Kerusakan (*Bathup Curve*)

Setiap periode waktu memiliki karakteristik tertentu, yang ditentukan oleh laju kerusakan :

1. *Early Failure* atau Kerusakan Awal

Daerah ini sering disebut dengan *burn-in periode*. Pada periode ini laju kerusakan menurun seiring dengan peningkatan waktu. Kerusakan yang terjadi pada waktu ini dapat disebabkan oleh berbagai penyebab seperti :

- a. Pengendalian kualitas yang tidak memenuhi syarat
- b. Performansi material dan tenaga kerja yang di bawah standar
- c. Metode *manufacturing* yang tidak tepat
- d. Kesalahan pemasangan dan set up
- e. Kesalahan manusia

Jika terjadi kerusakan ini kemudian diganti dengan produk baru, maka keandalannya akan meningkat kembali.

2. *Useful Region* atau Pengoperasian Normal

Periode waktu ini ditandai dengan laju kerusakan yang konstan. Kerusakan yang terjadi pada fase ini diasumsikan terjadi secara acak dan penyebab kerusakannya adalah faktor keselamatan yang rendah, kerusakan tak terdeteksi, kesalahan manusia dan kerusakan alamiah atau kerusakan yang tidak jelas penyebabnya. Hal ini berarti bahwa laju kerusakan sesaat tidak akan bertambah walaupun umur peralatan terus bertambah.

3. *Wear Out Failure* atau Periode *Wear Out*

Periode waktu ini ditandai dengan laju kerusakan yang meningkat tajam, karena memburuknya kondisi peralatan. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa umur pemakaian berguna dan produk mulai akan dipertanyakan sejalan dengan semakin memburuknya kondisi produk. Bila suatu alat telah memasuki periode ini, maka sebaiknya dilakukan perawatan pencegahan untuk mengurangi terjadinya kerusakan yang lebih fatal. Fase ini disebabkan oleh produk atau peralatan yang digunakan sudah melebihi umur prosuk, perawatan yang tidak memadai, kelelahan karena friksi atau aus karena pemakaian.

2.8. Diagram Pareto

Diagram Pareto merupakan salah satu *tools* (alat) dari *QC 7 Tools* yang sering digunakan dalam hal pengendalian Mutu. Pada dasarnya, Diagram Pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya jumlah kejadian. Urutannya mulai dari jumlah permasalahan yang paling banyak terjadi sampai yang paling sedikit terjadi.

Dalam Grafik, ditunjukkan dengan batang grafik tertinggi (paling kiri) hingga grafik terendah (paling kanan). Diagram batang bagian kiri relatif lebih penting daripada sebelah kanannya. Diagram Pareto dibuat berdasarkan data statistik dan prinsip bahwa 20% penyebab bertanggungjawab terhadap 80% masalah yang muncul atau sebaliknya. Kedua aksioma tersebut menegaskan bahwa lebih mudah mengurangi bagian lajur yang terletak di bagian kiri diagram Pareto daripada mencoba untuk menghilangkan secara sistematis lajur yang terletak di sebelah kanan diagram. Hal ini dapat diartikan bahwa diagram Pareto dapat menghasilkan sedikit sebab penting untuk meningkatkan mutu produk atau jasa.

Dalam penggunaannya, diagram pareto sangat bermanfaat dalam mengidentifikasi masalah yang terjadi dan yang akan diselesaikan. Permasalahan dengan persentase paling tinggi adalah prioritas utama untuk dilakukan tindakan.

2.9. Distribusi Kegagalan

Terdapat 4 macam distribusi yang digunakan agar dapat mengetahui pola data yang terbentuk, distribusi tersebut antara lain adalah distribusi weibull, normal, lognormal dan eksponensial (Ebeling, 2007):

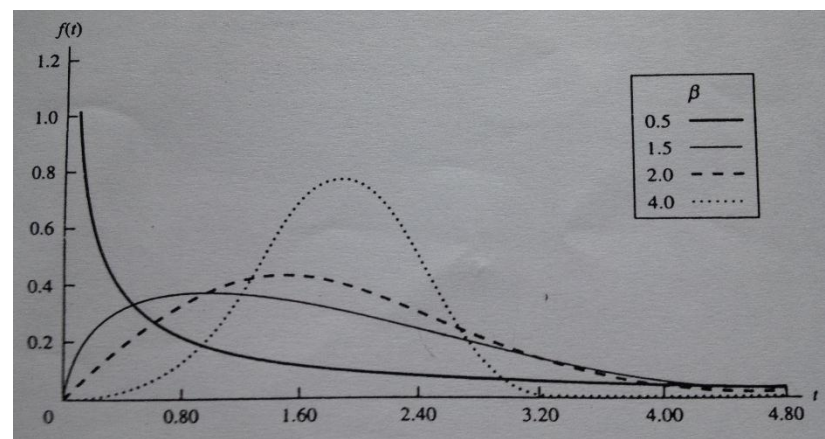
1. Distribusi Weibull

Salah satu distribusi kerusakan yang paling berguna untuk menentukan reliabilitas adalah distribusi *weibull*. Distribusi *weibull* dapat digunakan untuk memodelkan laju kerusakan yang meningkat maupun menurun. Distribusi ini sangat fleksibel terhadap berbagai fungsi distribusi kerusakan, fleksibilitas ini dikarenakan distribusi *weibull* memiliki parameter bentuk (β) sehingga karakteristik distribusi yang memiliki laju meningkat, menurun dan konstan

dapat ditunjukkan oleh nilai parameter bentuk tersebut. Terdapat dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini yaitu θ yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*) dan β yang disebut parameter bentuk (*shape parameter*). Fungsi keandalan yang terdapat dalam *weibull* yaitu :

$$R(t) = e^{-(\frac{t}{\theta})^\beta} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana $\theta > 0$, $\beta > 0$, dan $t \geq 0$



Gambar 2.3 Distribusi Weibull

Dalam distribusi *weibull* yang menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk adalah parameter β . Nilai – nilai β yang menunjukkan laju kerusakan terdapat dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 Nilai – nilai Parameter β

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Pengurangan laju kerusakan
$\beta = 1$	Distribusi Eksponensial
$1 < \beta < 2$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), <i>konkaf</i>
$\beta = 2$	Distribusi <i>Rayleigh</i>
$\beta > 2$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), <i>konkaf</i>
$3 \leq \beta \leq 4$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), mendekati kurva normal

Jika parameter β mempengaruhi laju kerusakan maka parameter θ mempengaruhi nilai tengah dari pola data.

Fungsi – fungsi distribusi *weibull* adalah sebagai berikut :

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp \left[\left(-\frac{t}{\theta}\right)^{\beta} \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

untuk $t \geq 0$

- b. Fungsi Komulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \exp \left[\left(-\frac{t}{\theta}\right)^{\beta} \right] \dots\dots\dots (2.3)$$

- c. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \dots\dots\dots (2.4)$$

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

- d. Fungsi Laju Kerusakan

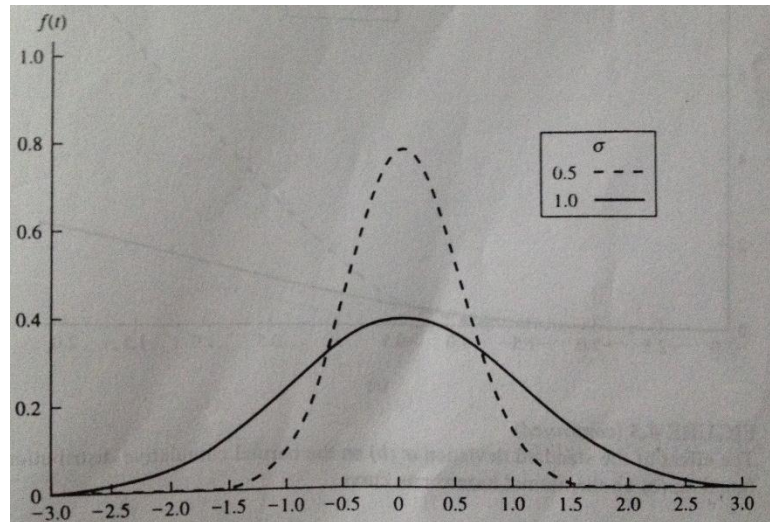
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \dots\dots\dots (2.6)$$

2. Distribusi Normal

Distribusi normal sangat tepat untuk digunakan dalam memodelkan keausan (kelelahan) dan kondisi *wearout* suatu komponen. Karena hubungannya dengan distribusi lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal. Dapat digunakan jika pengaruh suatu random diakibatkan oleh sejumlah besar variasi random yang tidak bergantung (saling bebas/independen) yang kecil atau sedikit. Parameter yang digunakan adalah μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi). Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi normal yaitu :

$$R(t) = \phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana $\mu > 0$, $\sigma > 0$ dan $t > 0$



Gambar 2.4 Distribusi Normal

Fungsi – fungsi dalam distribusi normal adalah sebagai berikut :

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right) \dots\dots\dots (2.8)$$

- $\infty < t < \infty$ dimana t = waktu

- b. Fungsi Komulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (2.9)$$

- c. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (2.11)$$

- d. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \dots\dots\dots (2.12)$$

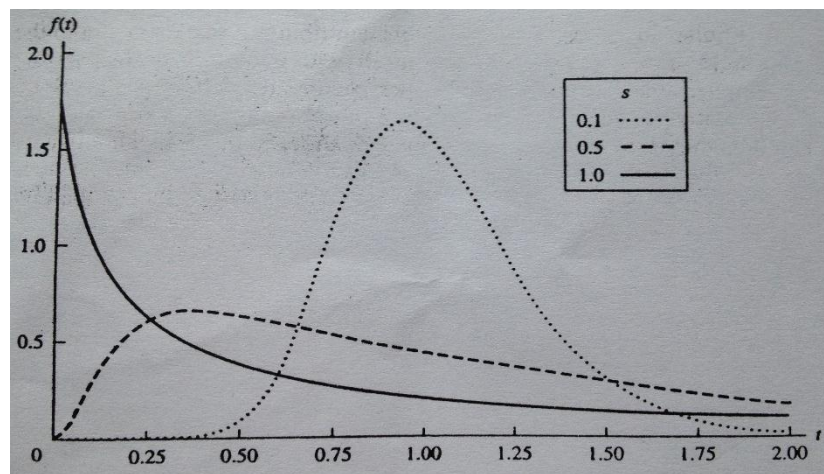
3. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal merupakan distribusi yang berguna untuk menggambarkan distribusi kerusakan untuk situasi yang bervariasi. Distribusi lognormal banyak digunakan di bidang teknik, khususnya sebagai model untuk berbagai jenis sifat material dan kelelahan material. Distribusi Lognormal menggunakan dua parameter yaitu s yang merupakan parameter bentuk (*shape*

parameter) dan *tmed* 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 :

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana $s > 0$, $t_{med} > 0$ dan $t > 0$



Gambar 2.5 Distribusi Lognormal

Fungsi – fungsi dalam distribusi lognormal antara lain :

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t\sigma}} \exp\left[-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \dots\dots\dots(2.14)$$

- $\infty < t < \infty$ dimana t = waktu

atau

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \ln\left(\frac{t}{t_{med}}\right)^2\right] \dots\dots\dots(2.15)$$

- b. Fungsi Komulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = \phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(2.16)$$

atau,

$$F(t) = \phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots(2.17)$$

- c. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)} \dots\dots\dots(2.18)$$

atau,

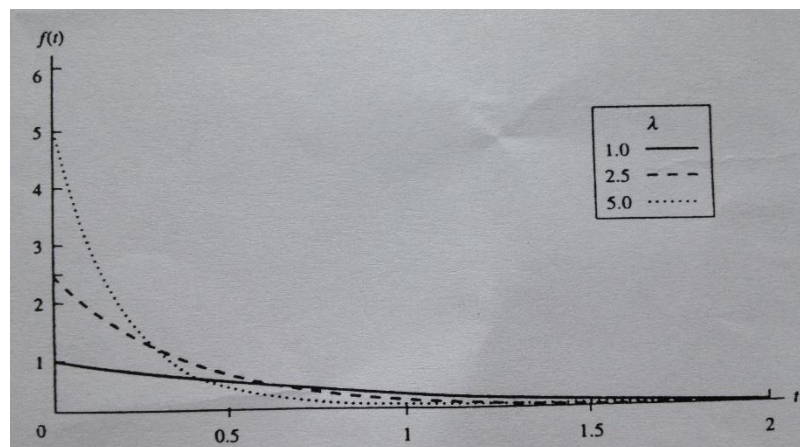
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)} \dots\dots\dots(2.19)$$

4. Distribusi Eksponensial

Distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan adalah distribusi ekponensial. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ekponensial merupakan distribusi yang paling mudah untuk dianalisa. Jika laju kerusakan dari semua mode kerusakan dari sebuah komponen adalah konstan, maka keseluruhan laju kerusakan dari komponen juga konstan. Parameter yang digunakan dalam distribusi eksponensial adalah λ untuk menunjukkan rata – rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi ekponensial yaitu :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana $t > 0, \lambda > 0$



Gambar 2.6 Distribusi Eksponensial

Fungsi – fungsi kerusakan dalam distribusi eksponensial antara lain:

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \lambda \exp^{(-\lambda t)} \dots\dots\dots(2.21)$$

untuk $t \geq 0$; dan dengan $t =$ waktu

- b. Fungsi Komulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \dots\dots\dots (2.22)$$

- c. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \dots\dots\dots (2.23)$$

- d. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \dots\dots\dots (2.24)$$

2.10. Identifikasi Distribusi Data

Identifikasi data dilakukan dengan metode *Least Square Curve Fitting* (LSCF) yaitu cara mencari nilai *index of fit*. Distribusi yang dipakai pada metode ini adalah weibull, eksponensial, normal dan lognormal. Berikut adalah cara mencari nilai r untuk memilih distribusi yang akan dipakai.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$F(t) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \dots\dots\dots (2.26)$$

$F(t)$ = Nilai distribusi kumulatif

n = jumlah data kerusakan

i = 1,2,3,...,n

y_i atau $z_i = y_i$ dipakai untuk distribusi *weibull* dan eksponensial sedangkan z_i dipakai untuk distribusi normal dan lognormal

Perbedaan kedua distribusi ini adalah dalam cara perhitungan x_i dan y_i atau z_i . Berikut adalah cara perhitungan mencari kedua variabel tersebut untuk masing-masing distribusi.

- a. Diastribusi Weibull

$$X_i = \ln(t_i) \dots\dots\dots (2.27)$$

$$Y_i = Z_i = \ln \left[\ln \frac{1}{1-F(t)} \right] \dots\dots\dots(2.28)$$

t_i adalah data ke- i

b. Distribusi Normal

$$X_i = t_i \dots\dots\dots(2.29)$$

$$Y_i = Z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots(2.30)$$

Nilai $Z_i = \phi^{-1}[F(t_i)]$ diperoleh dari tabel *Standart Normal Probabilities*

c. Distribusi Lognormal

$$X_i = \ln(t_i) \dots\dots\dots(2.31)$$

$$Y_i = Z_i = \phi^{-1}[F(t_i)] \dots\dots\dots(2.32)$$

Nilai $Z_i = \phi^{-1}[F(t_i)]$ diperoleh dari tabel *Standart Normal Probabilities*

d. Distribusi Eksponensial

$$X_i = t_i \dots\dots\dots(2.33)$$

$$Y_i = Z_i = \left[\ln \frac{1}{1-F(t)} \right] \dots\dots\dots(2.34)$$

t_i adalah data ke- i

2.11. Uji Kecocokan Distribusi

Uji kecocokan distribusi dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi data yang telah dipilih benar – benar mewakili data. Pengujian kecocokan distribusi yang dilakukan adalah uji spesifik *Goodness of Fit* karena memiliki probabilitas yang lebih besar dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai (Ebeling, 2007).

Pengujian yang dilakukan untuk masing – masing distribusi tersebut adalah sebagai berikut :

a. *Mann' test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi weibull

Dimana Hipotesisnya adalah:

H_0 : Data berdistribusi weibull

H_1 : Data tidak berdistribusi weibull

Uji statistiknya adalah:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k+1}^{r-1} [\ln t_{i+1} - \ln t_i] / M_i}{k_2 \sum_{i=i+1}^{k_i} [\ln t_{i+1} - \ln t_i] / M_i} \dots\dots\dots(2.35)$$

Dimana;

$$k_1 = \left[\frac{r}{2} \right] \dots\dots\dots(2.36)$$

$$k_2 = \left[\frac{r-1}{2} \right] \dots\dots\dots(2.37)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \dots\dots\dots(2.38)$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \dots\dots\dots(2.39)$$

Jika $M > F_{\text{crit}}$, maka H_0 diterima. F_{crit} diperoleh dari tabel distribusi F.

- b. *Kolmogorov – Smirnov Test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Normal dan Lognormal

Dimana Hipotesisnya adalah:

H_0 : Data berdistribusi normal atau lognormal

H_i : Data tidak berdistribusi normal atau lognormal

Uji statistiknya adalah

$$D_n = \max \{D_1, D_2\} \dots\dots\dots(2.40)$$

dimana;

$$D_1 = \max \left\{ \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} \dots\dots\dots(2.41)$$

$$D_2 = \max \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) \right\} \dots\dots\dots(2.41)$$

Dimana;

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \dots\dots\dots(2.42)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right)^2}{n-1} \dots\dots\dots(2.43)$$

Jika $D_n < D_{\text{crit}}$, maka H_0 diterima. D_{crit} diperoleh dari tabel *Kolmogorov-Smirnov*.

- c. *Bartlett Test* $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Eksponensial

Dimana Hipotesisnya adalah:

Ho : Data berdistribusi eksponensial

Hi : Data tidak berdistribusi eksponensial

$$B = \frac{2r[\ln((\frac{1}{n}) \sum_{i=1}^r ti) - (\frac{1}{r}) \sum_{i=1}^r \ln ti]}{1 + (r+1)/(6r)} \dots\dots\dots(2.44)$$

Dimana:

t_i = waktu kerusakan unit ke-i

r = jumlah kerusakan

Jika $B < \chi^2_{r-1}$, maka Ho diterima. χ^2_{r-1} diperoleh dari tabel distribusi *chi-square*..

2.12. Mean Time To Failure

Mean Time To Failure merupakan rata – rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi krusakan dimana rata – rata waktu ini merupakan waktu ekspektasi terjadinya kerusakan dari unit – unit identik yang beroperasi pada kondisi normal. MTTF bermanfaat untuk mengetahui kinerja dan kemampuan dari peralatan yang digunakan. Perhitungan MTTF memerlukan parameter yang telah dihitung sebelumnya. Cara perhitungan setiap MTTF juga berbeda tergantung dengan parameter yang sesuai dengan distribusi data yang ada. MTTF didefinisikan dengan persamaan (Eneling, 2007):

$$MTTR = E(T) = \int_0^\infty t f(t) dt \dots\dots\dots(2.45)$$

Berikut ini adalah perhitungan MTTF masing - masing distribusi (Ebeling, 1997)

a. Distribusi *Weibull*

$$MTTF = \text{nilai } \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots(2.46)$$

Nilai $\theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ didapatkan dari $\Gamma(x)$ = tabel fungsi gamma

b. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \dots\dots\dots(2.47)$$

c. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots\dots(2.48)$$

- d. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2.49)$$

2.13. *Mean Time To Repair*

Dalam menghitung rata – rata ataupunentuan nilai tengah dari fungsi probabilitas untuk suatu perbaikan, sangatlah perlu diperhatikan distribusi data perbaikannya. Perhitungan MTTR memerlukan parameter yang telah dihitung sebelumnya. Cara perhitungan setiap MTTR juga berbeda tergantung dengan parameter yang sesuai dengan distribusi data yang ada. Menurut Ebeling (2007) MTTR diperoleh dengan rumus:

$$MTTR = \int_0^{\infty} t \cdot h(t)dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t))dt \dots\dots\dots(2.50)$$

Dimana :

$h(t)$ adalah fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan (TTR)

$H(t)$ adalah fungsi distribusi komulatif untuk data waktu perbaikan (TTR)

t adalah waktu perbaikan yang dibutuhkan terhadap komponen yang rusak

Berikut ini adalah perhitungan MTTF masing - masing distribusi (Ebeling, 1997)

- a. Distribusi *Weibull*

$$MTTF = \text{nilai } \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \dots\dots\dots(2.51)$$

Nilai $\theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$ didapatkan dari $\Gamma(x)$ = tabel fungsi gamma

- b. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \dots\dots\dots(2.52)$$

- c. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots\dots(2.53)$$

- d. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2.54)$$

2.14. Penentuan Frekuensi Pemeriksaan Optimal

Dalam melakukan tindakan pemeliharaan, selain melakukan penggantian juga diperlukan tindakan pemeriksaan. Pemeriksaan berkala sangat dibutuhkan dalam tindakan perawatan mesin maupun komponen. Dari model pemeriksaan ini diharapkan dapat diperoleh pemecahan masalah yang paling optimum untuk menentukan kegiatan pemeriksaan. Selain itu juga diharapkan dapat meminimalkan kerusakan mesin dan mengurangi laju kerusakan mesin.

Langkah – langkah perhitungan interval pemeriksaan yang optimal adalah:

1. Rata – rata kerusakan tiap bulannya

$$k = \frac{\text{Jumlah kerusakan per tahun}}{\text{Waktu kerja produktif}} \dots\dots\dots(2.55)$$

2. Rasio jam kerja terhadap waktu rata – rata satu kali perbaikan

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\text{MTTR}}{\text{Jam kerja/bulan}} \dots\dots\dots(2.56)$$

3. Rasio jam kerja sebulan terhadap waktu pemeriksaan

$$\frac{1}{i} = \frac{\text{waktu satu kali pemeriksaan}}{\text{jam kerja/bulan}} \dots\dots\dots(2.59)$$

4. frekuensi pemeriksaan optimal

$$n = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} \dots\dots\dots(2.60)$$

5. Interval waktu antar pemeriksaan

$$\frac{\text{Jam kerja produktif perbulan}}{n} \dots\dots\dots(2.61)$$

dimana;

n = Jumlah pemeriksaan

i = Waktu rata – rata pemeriksaan

k = Rata – rata kerusakan per unit waktu

μ = Waktu rata – rata perbaikan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

Objek penelitian dilakukan di PO Bus JOGLOSEMAR yang berlokasi di Jl. Magelang Km. 5,6 Yogyakarta. Penelitian dilaksanakan dari Bulan Desember 2015 – Februari 2016.

3.2. Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini adalah subyek dari mana data ini diperoleh. Yang menjadi sumber data primer selama penelitian ini adalah kepala mekanik bus JOGLOSEMAR. Kemudian diperoleh data – data berupa data – data pergantian komponen tiap bulannya.

3.3. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data ini dilakukan dengan cara melaksanakan penelitan langsung ke perusahaan yang bersangkutan. Data terkait didapatkan dengan sumber :

a. Observasi

Observasi dilakukan dengan melakukan penelitian langsung ke lokasi penelitian untuk mendapatkan data – data yang dibutuhkan dalam penelitian. Dengan mengamati secara langsung keadaan dan kegiatan yang terjadi sesuai dengan kebutuhan data yang diinginkan dan berdasarkan tujuan penelitian.

b. Wawancara

Dilakukan dengan melakukan tanya jawab langsung tentang masalah yang terkait penelitian dengan mekanik, operator mesin, dan pihak – pihak terkait yang berada di departemen *maintenance*.

c. Data Perusahaan

Data - data lain yang dibutuhkan dalam penelitian ini didapatkan dari literature yang ada di perusahaan yang bersangkutan, meliputi sejarah berdirinya, visi, misi, kegiatan dan informasi lainnya.

3.4. Pengolahan Data

Langkah – langkah pengolahan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan mesin kritis

Pemilihan mesin kritis dilakukan dengan menggunakan metode diagram pareto.

2. Penentuan komponen kritis

Komponen kritis yang terpilih adalah komponen yang memiliki persentase *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak. Pemilihan komponen kritis juga dilakukan dengan menggunakan metode diagram pareto.

3. Perhitungan *index of fit*

Penentuan distribusi yang sesuai untuk interval waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan untuk komponen kritis dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting* (LSCF). Rumus *index of fit* adalah sebagai berikut:

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

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

F(t) = Nilai distribusi kumulatif

n = jumlah data kerusakan

i = 1,2,3,...,n

y_i atau $z_i = y_i$ dipakai untuk distribusi *weibull* dan eksponensial sedangkan z_i dipakai untuk distribusi normal dan lognormal. Perbedaan kedua distribusi ini adalah dalam cara perhitungan x_i dan y_i atau z_i .

Berikut adalah cara perhitungan mencari kedua variabel tersebut untuk masing-masing distribusi.

- a. Diastribusi Weibull

$$Xi = \text{Ln}(ti)$$

$$Yi = \ln \left[\ln \frac{1}{1-F(t)} \right]$$

ti adalah data ke- i

- b. Distribusi Normal

$$Xi = ti$$

$$Yi = Zi = \phi^{-1}[F(ti)]$$

Nilai $Zi = \phi^{-1}[F(ti)]$ diperoleh dari tabel *Standart Normal Probabilities*

- c. Distribusi Lognormal

$$Xi = \text{Ln}(ti)$$

$$Yi = Zi = \phi^{-1}[F(ti)]$$

Nilai $Zi = \phi^{-1}[F(ti)]$ diperoleh dari tabel *Standart Normal Probabilities*

- d. Distribusi Eksponensial

$$Xi = ti$$

$$Yi = \left[\ln \frac{1}{1-F(t)} \right]$$

ti adalah data ke- i

4. Uji kecocokan distribusi.

Melakukan uji kecocokan distribusi (*goodness of fit*) terhadap data waktu kerusakan dan waktu perbaikan untuk komponen mesin kritis yang diperoleh untuk meyakinkan apakah pola distribusi data yang diduga sudah sesuai dengan pola distribusi tertentu untuk diolah lebih lanjut.

Pengujian yang dilakukan untuk masing – masing distribusi tersebut adalah sebagai berikut :

- a. *Mann' test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi weibull

Dimana Hipotesisnya adalah:

H_0 : Data berdistribusi weibull

H_1 : Data tidak berdistribusi weibull

Uji statistiknya adalah:

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

Dimana;

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

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

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

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

Jika $M > F_{\text{crit}}$, maka H_0 diterima. F_{crit} diperoleh dari tabel distribusi F.

- b. *Kolmogorov – Smirnov Test dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Normal dan Lognormal*

Dimana Hipotesisnya adalah:

H_0 : Data berdistribusi normal atau lognormal

H_i : Data tidak berdistribusi normal atau lognormal

Uji statistiknya adalah

$$D_n = \max \{D_1, D_2\}, \text{ dimana;}$$

$$D_1 = \max \left\{ \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\}$$

$$D_2 = \max \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right) \right\}$$

Dimana;

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{t_1 - \bar{t}}{s} \right)^2}{n-1}$$

Jika $D_n < D_{\text{crit}}$, maka H_0 diterima. D_{crit} diperoleh dari tabel *Kolmogorov-Smirnov*.

- c. *Bartlett Test $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Eksponensial*

Dimana Hipotesisnya adalah:

H_0 : Data berdistribusi eksponensial

H_i : Data tidak berdistribusi eksponensial

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

Dimana:

t_i = waktu kerusakan unit ke-i

r = jumlah kerusakan

Jika $B < \chi^2_{r-1}$, maka H_0 diterima. χ^2_{r-1} diperoleh dari tabel distribusi *chi-square*.

5. Perhitungan MTTF dan MTTR

Melakukan perhitungan MTTF dan MTTR berdasarkan pada parameter distribusi yang terpilih. MTTF adalah waktu rata-rata terjadinya kerusakan dan MTTR adalah rata-rata waktu perbaikan kerusakan komponen.

Berikut ini adalah perhitungan MTTF dan MTTR masing - masing distribusi (Ebeling, 1997)

a. Distribusi Weibull

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

Nilai $\theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ didapatkan dari $\Gamma(x)$ = tabel fungsi gamma

b. Distribusi Normal

$$\text{MTTF} = \mu$$

c. Distribusi Lognormal

$$\text{MTTF} = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}}$$

d. Distribusi Eksponensial

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda}$$

6. Penentuan frekuensi pemeriksaan

Melakukan perhitungan untuk frekuensi pemeriksaan, penentuan frekuensi pemeriksaan menggunakan nilai dari MTTR. Dari model pemeriksaan ini diharapkan dapat diperoleh pemecahan masalah yang paling optimum untuk menentukan kegiatan pemeriksaan dan meminimalkan kerusakan mesin dan mengurangi laju kerusakan mesin.

Langkah – langkah perhitungan interval pemeriksaan yang optimal adalah:

a. Rata – rata kerusakan tiap bulannya

$$k = \frac{\text{Jumlah kerusakan per tahun}}{\text{Waktu kerja produktif}}$$

b. Rasio jam kerja terhadap waktu rata – rata satu kali perbaikan

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\text{MTTR}}{\text{Jam kerja/bulan}}$$

c. Rasio jam kerja sebulan terhadap waktu pemeriksaan

$$\frac{1}{i} = \frac{\text{waktu satu kali pemeriksaan}}{\text{jam kerja/bulan}}$$

d. frekuensi pemeriksaan optimal

$$n = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}}$$

e. Interval waktu antar pemeriksaan

$$\frac{\text{Jam kerja produktif perbulan}}{n}$$

dimana;

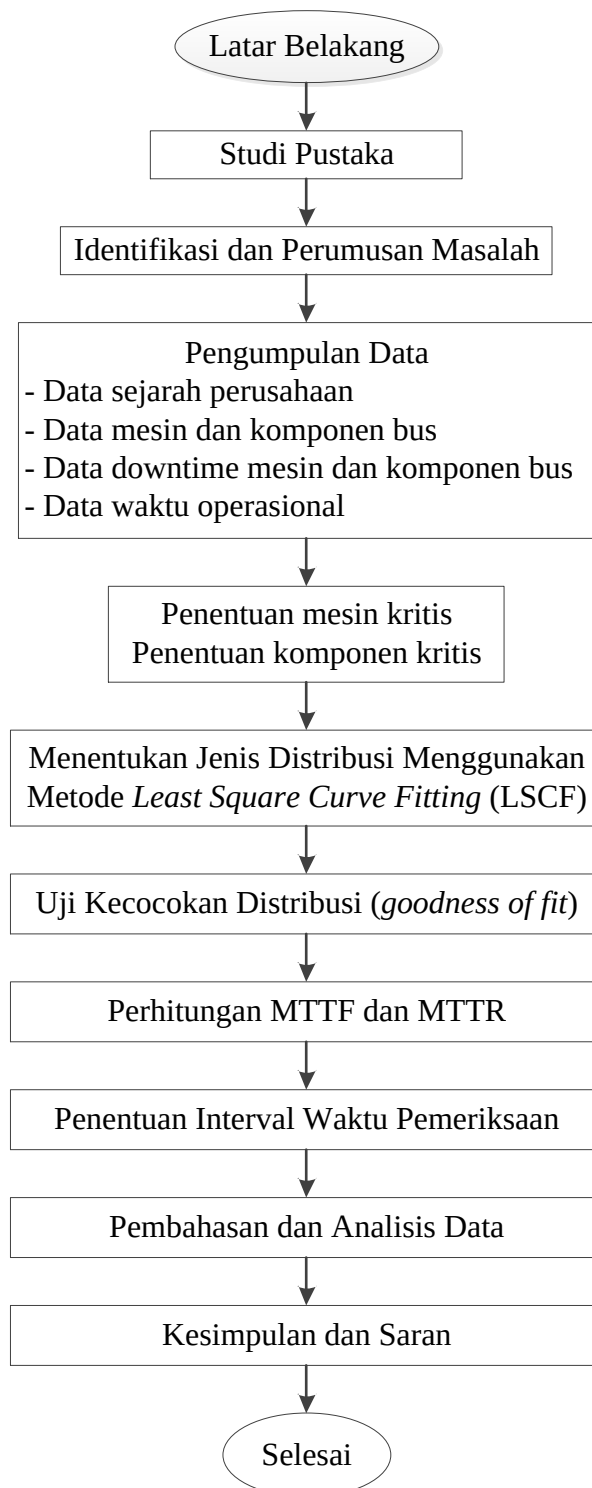
n = Jumlah pemeriksaan

i = Waktu rata – rata pemeriksaan

k = Rata – rata kerusakan per unit waktu

μ = Waktu rata – rata perbaikan

3.5. Flow Chart



Gambar 3.1 *Flow Chart* Model Penelitian

3.6. Deskripsi *Flow Chart*

3.6.1 Latar Belakang

Langkah awal dalam melakukan penelitian adalah menentukan permasalahan yang ada di tempat penelitian. Dengan melakukan penelitian dan observasi terhadap permasalahan yang muncul di tempat penelitian.

3.6.2 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan agar dapat menguasai teori maupun konsep dasar yang berkaitan dengan permasalahan yang sedang diteliti. Studi ini dilakukan dengan membaca dan mempelajari beberapa referensi seperti literature, laporan-laporan ilmiah dan tulisan – tulisan ilmiah lainnya yang dapat mendukung terbentuknya landasan teori, sehingga dapat digunakan sebagai landasan yang kuat dalam analisis penelitian.

3.6.3 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Mengidentifikasikan masalah yang timbul di tempat penelitian kemudian merumuskan masalah yang ada berdasarkan latar belakang masalah yang dikaji.

3.6.4 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan melakukan wawancara langsung dengan pihak – pihak yang terkait dengan permasalahan yang diangkat dalam penelitian. Selain itu juga melakukan observasi langsung di tempat penelitian.

3.6.5 Penentuan Mesin Kritis dan Komponen Kritis

Pemilihan mesin kritis dilakukan dengan menggunakan metode diagram pareto. Pemilihan komponen kritis juga dilakukan dengan menggunakan metode diagram pareto. Komponen kritis yang terpilih adalah komponen yang memiliki persentase *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak.

3.6.6 Menentukan Jenis Distribusi

Menentukan jenis distribusi untuk interval waktu kerusakan dan waktu perbaikan berdasarkan komponen kritis. Terdapat empat macam distribusi yang digunakan untuk mengetahui pola data yang terbentuk. Distribusi itu adalah distribusi *weibull*, lognormal,

normal dan eksponensial. Menentukan jenis distribusi ditentukan dengan menghitung nilai *index of fit*.

3.6.7 Uji Kecocokan Distribusi

Setelah menduga jenis distribusi untuk interval waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan pada komponen kritis, maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji kecocokan distribusi (*goodness of fit*) terhadap data waktu kerusakan dan waktu perbaikan yang diperoleh untuk meyakinkan apakah pola distribusi data yang diduga sudah sesuai dengan pola distribusi tertentu untuk diolah lebih lanjut.

3.6.8 Perhitungan MTTF dan MTTR

Melakukan perhitungan untuk menentukan interval waktu antar kerusakan dan perhitungan untuk menentukan waktu perbaikan pada komponen kritis bus. Untuk menentukan interval waktu antar kerusakan menggunakan metode *Mean Time To Failure* dan untuk menentukan waktu perbaikan dengan menggunakan metode *Mean Time To Repair*.

3.6.9 Penentuan Interval Waktu Pemeriksaan

Menentukan interval waktu pemeriksaan yang optimal untuk komponen kritis yang terpilih. Perhitungan untuk menentukan interval waktu pemeriksaan menggunakan nilai *Mean Time To Repair* yang telah diketahui sebelumnya.

3.6.10 Pembahasan dan Analisis Data

Dilakukan analisis terhadap data – data yang telah diolah dan menganalisa komponen kritis yang terpilih juga menentukan interval waktu pemeriksaan yang optimal dari komponen kritis yang terpilih.

3.6.11 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan pernyataan singkat, jelas dan tepat tentang apa yang diperoleh atau dapat dijabarkan dari hipotesis, sehingga dapat menjawab tujuan dan dapat menyelesaikan permasalahan yang ada. Saran – saran yang dikemukakan memuat berbagai masukan atau pendapat mengenai penyelesaian kasus yang dihadapi pada sistem yang diteliti.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data

4.1.1. Data Umum Perusahaan

a. Profil Singkat Perusahaan

PT. Sejahtera AO Kencana sakti adalah sinergi antara PT. Alfa Omega Sehati Mitra dan PT. Kencana Transport, *member of panorama Sentra Wisata Tbk.* Kini beroperasi dengan total 22 armada yang secara rutin melayani kebutuhan wisatawan dari berbagai kalangan untuk rute Yogyakarta, Semarang, Solo dan Purwokerto.

JOGLOSEMAR sebagai upaya untuk membangun dan mensinergikan antara sarana transportasi yang aman dan nyaman, objek wisata yang menarik, dan unsur – unsur yang termasuk didalamnya sehingga tercipta pola wisata yang terpadu, mudah dan dengan harga yang kompetitif.

JOGLOSEMAR adalah inovasi produk transportasi wisata yang melayani kebutuhan wisatawan, pebisnis, mahasiswa bahkan perorangan yang menginginkan layanan aman, nyaman, hemat, efisien dan tepat waktu dengan implikasi idealnya, yaitu yaitu dapat menyentuh spirit pariwisata. Memberikan daya dukung kepada dunia usaha untuk bisa secara bersama – sama meningkatkan kinerja dan volume usahanya.

Idealisme ini hanya bisa terealisasi dengan pola operasional yang sejauh ini sudah JOGLOSEMAR lakukan dengan melayani transportasi massa secara terjadwal dan bukan *on request* (sebagaimana transportasi wisata *charter* pada umumnya. Pola operasi JOGLOSEMAR sebagai alternatif mengenai penghematan energi. JOGLOSEMAR lahir dari konsep transportasi post modernism yang menekankan layanan personal.

Sebagai biro perjalanan wisata JOGLOSEMAR juga menyediakan berbagai macam layana terpadu seperti *booking* tiket pesawat, *hotel reservation*, rental mobil sampai dengan paket tour. Bagi kalangan social tertentu JOGLOSEMAR merupakan kebutuhan yang memang harus ada di tengah kemajemukan masyarakat kita dewasa ini.

b. Struktur Organisasi

Struktur organisasi adalah kerangka yang menunjukkan kedudukan, tugas dan kewajiban, serta tanggung jawab tingkatan – tingkatan manajemen dalam suatu organisasi.

c. Visi dan Misi Perusahaan

1. Visi Perusahaan

Dalam eksistensinya di dunia industry jasa, PT Sejahtera AO Kencana Sakti mempunyai sebuah isi yaitu “menjadi perusahaan jasa transportasi terbaik di wilayah JOGLOSEMAR (Jogja, Solo, Semarang) dan Jawa tengah pada khususnya dan Indonesia pada umumnya, yang mampu memberikan *one stop solution* terhadap segala kebutuhan wisatawan”

2. Misi Perusahaan

PT Sejahtera AO Kencana Sakti mempunyai beberapa misi dalam mengembangkan perusahaan, yaitu:

- 1) Penyediaan sarana transportasi nyaman dan tariff kompetitif
- 2) Penyediaan sarana akomodasi nyaman dengan harga yang bersahabat
- 3) Penyediaan *food & beverage* yang sehat, lezt dengan *rate* yang sesuai dengan kondisi wisatawan
- 4) Penyediaan paket wisata / *tour* di setiap destinasi dengan biaya yang disesuaikan
- 5) Penyediaan sarana rental alat transportasi dengan biaya murah

d. Tenaga Kerja

Tenaga kerja adalah salah satu komponen penting dalam suatu perusahaan. Tenaga kerja pada dasarnya menjadi bagian sebagian partner

kerja yang saling membutuhkan, saling melayani dan saling menguntungkan antara perusahaan dengan karyawan.

PT Sejahtera AO Kencana Sakti juga mempertimbangkan masalah pendidikan tenaga kerjayang aka direkrut dengan mempertimbangkan jenis pekerjaan yang akan dilakukan oleh tenaga kerja tersebut. Missal, untuk administrasi diperlukan tenaga kerja khusus, sedangkan untuk operator lebih diutamakan pada keterampilan atau kemampuan khusus.

Jumlah tenaga kerja pada PT Sejahtera AO Kencana Sakti kurang lebih 112 orang dengan umur produktif. Karyawan terbagi menjadi tiga sesuai dengan pekerjaan yaitu *management*, *frontliner* dan *driver*.

e. Sistem Kerja

JOGLOSEMAR mempunyai pola operasional khusus (penghantaran dan penjemputan dilakukan pada shelter – shelter tertentu) yang seyogyanya kelak dalam penerapan peraturannya pun membutuhkan pedekatan atau perlakuan khusus pula. Shelter – shelter yang ada sudah didesain sedemikian rupa sehingga wisatawan yang akan mengunjungi obyek wisata yang dilalui armada JOGLOSEMAR antara lain : Malioboro dan Keraton Yogyakarta, Candi Prambanan, Kota Lama Semarang, Lawang Sewu, BTC Solo dan pusat perbelanjaan JL. Slamet Riyadi Solo.

1. Layanan Transportasi (angkutan pariwisata terjadwal)

- a. Rute Yogyakarta, Solo, Semarang, Purwokerto
- b. Shelter pick up point dan Drop point
- c. Pemandu (bus)
- d. Armada bus dan mini bus

2. Layanan ekstra

- a. Hotel accommodation, restaurant, local arrangement, city tour, car rental

3. Paket wisata (1 day trip dengan biaya lenih ekonomis)

- a. Wisata keratin dan Malioboro
- b. Wisata Lawang sewu

4. Paket Wisata “JAHE” (Jalan – jalan Hemat)

Saat ini beroperasi untuk melayani kebutuhan transportasi wisata di daerah Yogyakarta, Solo, Semarang dan Purwokerto. Tersedia shelter pick up point dan drop point yang terletak di beberapa wilayah strategis, sehingga mudah di akses, dan memiliki kemudahan akses untuk menuju destinasi wisata tertentu. Pemandu siap sedia untuk melayani kebutuhan informasi dan memberikan pelayanan terbaik bagi wisatawan.

Saat ini JOGLOSEMAR menggunakan armada bus dengan kapasitas 25 orang penumpang, dan armada mini bus dengan kapasitas 8 orang penumpang. Keseluruhan armada berikut fasilitasnya disiapkan dan dilakukan perawatan berkala secara teratur.

f. Pemasaran Produk

Pemasaran pelayanan angkutan dan wisata oleh PT Sejahtera AO Kencana Sakti dilakukan dengan 2 cara yaitu *marketing* dan *telemarketing*. *Direct Marketing* dilakukan dengan cara seperti penyebaran brosur, display / spanduk serta kerjasama dengan agen / tempat penjemputan, sedangkan *telemarketing* menggunakan cara seperti *blog* dan *email*.

g. Jam Kerja

Jumlah jam kerja yang harus dipenuhi setiap karyawan selama satu minggu berbeda antara karyawan bagian *management* dan *frontliner*. Bagian *management* bekerja selama 56 jam, 6 hari dalam seminggu. Sedangkan bagian *frontliner* dan *driver* bekerja dengan sistem *shift* yaitu *shift* siang dan *shift* malam. Adapun pembagian jam kerjanya adalah sebagai berikut:

- | | |
|----------------------|---------------------------|
| 1. Senin – Sabtu | Pukul 08.30 s.d 17.00 WIB |
| Istirahat | Pukul 12.00 s.d 13.00 WIB |
| Istirahat (Jumat) | Pukul 11.45 s.d 13.00 WIB |
| 2. <i>Shift</i> Pagi | Pukul 05.00 s.d 13.30 WIB |
| <i>Shift</i> Siang | Pukul 13.30 s.d 22.00 WIB |

Untuk waktu kerja lembur (*overtime*) tergantung dan disesuaikan kondisi dan situasi pekerjaan.

4.1.2. Sistem Perawatan Armada atau Mesin

Setiap perusahaan khususnya JOGLOSEMAR telah menerapkan pemeliharaan dan perawatan mesin secara berkala. Namun perawatan pada armada bus selama ini hanya didasarkan pada km atau batas jarak tempuh yang menjadi patokan. Sebelum mencapai jarak tempuh maksimal, armada bus belum dilakukan perawatan. Hal ini dilakukan untuk keadaan atau perawatan terjadwal tapi untuk perawatan tidak terjadwal dilakukan menunggu sampai adanya kerusakan yang terjadi pada armada bus. Tindakan perawatan pencegahan masih jarang sekali dilakukan, perawatan pencegahannya hanya dilakukan jika mendapat keluhan dari supir bus atau *crew* bus yang merasa aneh pada kendaraannya.

4.1.3. Data pada Mesin atau Sistem

a. Data Analisis Kualitatif

1. Didapatkan melalui wawancara dengan supervisor *sparepart* dan mekanik
2. Keluhan dari supir bus tentang kerusakan yang sering terjadi pada kendaraannya
3. Pengamatan langsung di lapangan

b. Data Analisis Kuantitatif

1. Didapatkan dari data – data perusahaan tentang kerusakan armada
2. Data perusahaan mengenai waktu perawatan armada

4.2. Pengolahan Data

4.2.1. Pengumpulan Data *Downtime* Armada Bus JOGLOSEMAR

Data – data total downtime kerusakan mesin bus diambil dari data histori dokumentasi perjalanan JOGLOSEMAR pada Januari 2015 sampai dengan Desember 2015. Data – data ini didapatkan dari bagian penanggung jawab bengkel dan *sparepart*. Data total *downtime* pada armada bus dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Downtime pada Armada Bus

NO.	No Polisi Bus	Frekuensi Kerusakan	Downtime (Jam)
1	AB7778JN	184	180.807

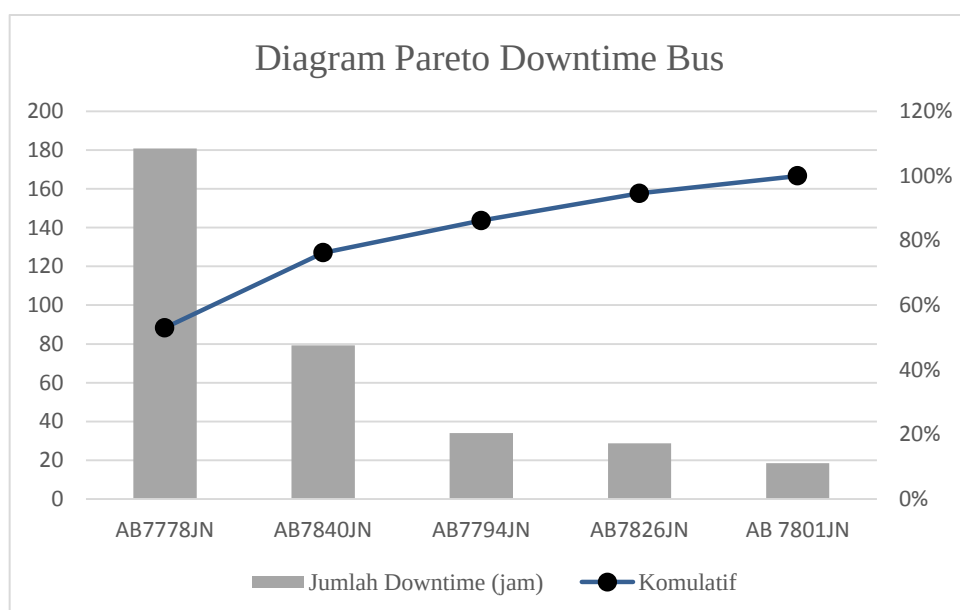
NO.	No Polisi Bus	Frekuensi Kerusakan	Downtime (Jam)
2	AB7840JN	114	79.205
3	AB7794JN	59	34.081
4	AB7826JN	29	28.75
5	AB7801JN	26	18.418
Total		412	341.261

4.2.2. Penentuan Mesin Kritis

Penentuan mesin kritis armada bus dilihat dari bus yang memiliki total *downtime* kerusakan bus yang paling besar selama Bulan Januari hingga Desember 2015. Memiliki persentase *downtime* mesin kritis yang paling terbesar seperti tabel dibawah ini.

Tabel 4.2 Perbandingan dan Persentase *Downtime* Armada Bus di JOGLOSEMAR

No.	No Polisi Bus	Jumlah Downtime (Jam)	Persen	Kumulatif
1	AB7778JN	180.807	53%	53%
2	AB7840JN	79.205	23%	76%
3	AB7794JN	34.081	10%	86%
4	AB7826JN	28.75	8%	95%
5	AB7801JN	18.418	5%	100%
Total		341.261	100%	100%



Gambar 4.1 Diagram Pareto Downtime Bus Dengan Nopol AB7778JN

Dari tabel perbandingan mesin kritis armada bus dan diagram pareto diatas, dapat dilihat bahwa bus yang memiliki frekuensi kerusakan terbanyak dan total *downtime* terbesar adalah bus dengan nomor polisi AB 7778 JN, yaitu frekuensi kerusakan sebanyak 184 kali dan total *downtime* 180,807 jam selama Bulan Januari hingga Desember 2015. Dilihat dari persentase kerusakan dan total *downtime* terbesar dibanding dengan bus – bus yang lainnya.

4.2.3. Penentuan Komponen Kritis

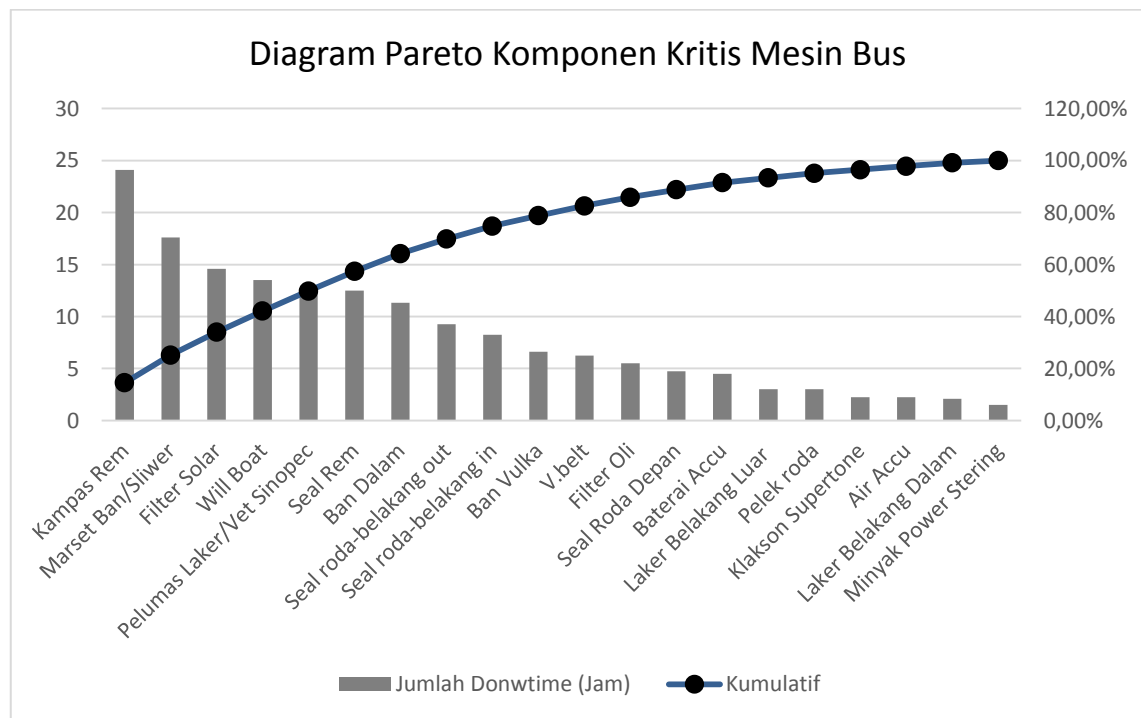
Setelah ditentukan bus dengan persentase kerusakan dan *downtime* paling tinggi, langkah selanjutnya adalah menentukan komponen kritis pada bus yang terpilih. Pada bus dengan nomor polisi AB 7778 JN, selama periode bulan Januari sampai dengan Desember 2015, seluruh data *downtime* keseluruhan mesin kritis yang terjadi pada periode tersebut dicatat dan dikelompokkan menurut jenis komponennya.

Dari hasil diagram pareto sebelumnya, didapat bahwa bus dengan nomor polisi AB 7778 JN terpilih menjadi mesin kritis karena memiliki total *downtime* terbesar. Untuk menentukan komponen kritis dari bus dengan nomor polisi AB 7778 JN diperlukan pendataan *downtime* kerusakan mesin menurut jenis komponennya. Data-data *downtime* komponen dari bus dengan nomor polisi AB 7778 JN dapat dilihat pada tabel dan diagram paretto berikut.

Tabel 4.3 Perbandingan dan Persentase *Downtime* Bus Dengan Nopol AB7778JN

No	Komponen	Jumlah Downtime (Jam)	Persen	Kumulatif
1	Kampas Rem	24.08	14.55%	14.55%
2	Marset Ban/Sliwer	17.6	10.63%	25.18%
3	Filter Solar	14.58	8.81%	33.99%
4	Will Boat	13.5	8.16%	42.14%
5	Pelumas Laker/Vet Sinopec	12.75	7.70%	49.85%
6	Seal Rem	12.5	7.55%	57.40%
7	Ban Dalam	11.33	6.84%	64.24%
8	Seal roda-belakang out	9.25	5.59%	69.83%
9	Seal roda-belakang in	8.25	4.98%	74.81%
10	Ban Vulka	6.62	4.00%	78.81%

No	Komponen	Jumlah Downtime (Jam)	Persen	Kumulatif
11	V.belt	6.25	3.78%	82.59%
12	Filter Oli	5.5	3.32%	85.91%
13	Seal Roda Depan	4.75	2.87%	88.78%
14	Baterai Accu	4.5	2.72%	91.50%
15	Laker Belakang Luar	3	1.81%	93.31%
16	Pelek roda	3	1.81%	95.12%
17	Klakson Supertone	2.25	1.36%	96.48%
18	Air Accu	2.24	1.35%	97.84%
19	Laker Belakang Dalam	2.08	1.26%	99.09%
20	Minyak Power Stering	1.5	0.91%	100.00%
		165.53	100%	100.00%



Gambar 4.2 Diagram Pareto Downtime Bus Dengan Nopol AB7778JN

Komponen kritis adalah komponen yang memiliki persentase *downtime* kerusakan terbesar dibanding komponen-komponen lain. Dengan melihat hasil dari diagram pareto di atas maka komponen kritis dari bus dengan nomor polisi AB 7778 JN adalah kampas rem dengan total *downtime* kerusakan 24,08 jam atau 1444,8 menit.

Dari diagram pareto diatas, menunjukkan batang grafik tertinggi yang berada paling kiri adalah kampas rem. Prinsip Pareto atau lebih dikenal juga sebagai aturan 20/80 menyatakan banyak kejadian atau akibat sebesar 80% dari total efeknya hanya disebabkan 20% dari sebabnya. Untuk diagram diatas, hanya 10 komponen yang menyebabkan penyebab terjadinya *downtime* terbesar yaitu hingga 80% dari total seluruhnya. Berdasarkan diagram diatas, kampas rem dan sliwer dipilih menjadi komponen kritis karena memiliki presentasi *downtime* terbesar dan total kerusakan terbanyak.

4.2.4. Pengolahan Data Waktu Kerusakan Komponen Kritis

Setelah ditentukan komponen kritisnya, langkah selanjutnya adalah menghitung interval waktu antar kerusakan. Perhitungan ini dilakukan dengan menghitung selang waktu antar kerusakan dari satu kerusakan yang telah diperbaiki sampai terjadinya kerusakan yang berikutnya (ti). Sedangkan untuk data *downtime* diperoleh dari data waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki komponen tersebut, dari saat bus berhenti beroperasi dan diperbaiki karena terjadinya kerusakan sampai perbaikan itu selesai (dti).

Data – data tersebut diambil selama bulan Januari hingga Desember 2015 dan satuan waktu antar kerusakan dan *downtime* dikonversikan dalam satuan menit. Seperti tabel dibawah ini.

Tabel 4.4 Komponen Kampas Rem dan Sliwer pada Januari sampai Desember 2015

Kampas Rem				Sliwer		
No	Tanggal	Interval (Menit)	Downtime (Menit)	Tanggal	Interval (Menit)	Downtime (Menit)
1	15-Feb-15	0	60	03-Jan-14	0	30
2	08-Sep-15	4320	60	21-Mei-15	1440	30
3	29-Mei-15	5760	60	22-Mei-15	1440	30
4	29-Dec-15	7200	60	29-Jul-15	2880	30
5	22-Jun-15	10080	75	04-Mar-15	5760	30
6	25-Feb-15	14400	75	10-Jan-15	10080	34,8
7	05-Sep-15	15840	90	29-Dec-15	11520	36
8	25-Nop-15	18720	90	11-Dec-15	12960	40,2
9	25-Jul-15	20160	90	21-Dec-15	14400	45
10	23-Sep-15	21600	90	07-Sep-15	20160	45
11	15-Jun-15	24480	90	22-Sep-15	21600	45
12	11-Jul-15	27360	105	20-Mei-15	23040	45

No	Kampas Rem			Tanggal	Sliwer	
	Tanggal	Interval (Menit)	Downtime (Menit)		Interval (Menit)	Downtime (Menit)
13	24-Des-15	41760	109,8	10-Okt-15	25920	45
14	01-Apr-15	50400	120	11-Jun-15	28800	60
15	12-Nop-15	72000	120	02-Des-15	31680	60
16	25-Mei-15	77760	150	02-Feb-15	33120	60
17				27-Feb-15	36000	60
18				24-Agust-15	36000	60
19				10-Nop-15	44640	60
20				27-Jul-15	66240	60
21				04-Mei-15	87840	90

Dari tabel diatas, dapat dilihat selang waktu kerusakan pada kampas rem yang terjadi antara kerusakan pertama yaitu pada 15 Februari ke kerusakan kedua yaitu 25 Februari adalah 10 hari. Satuan waktu yang digunakan dalam data ini ada satuan menit, sehingga $10 \times 24 \times 60 = 14.440$ menit. Untuk *downtime* pada 15 Februari adalah 1 jam, sehingga $1,5 \times 60 = 90$ menit. Sama halnya untuk komponen sliwer.

4.2.5. Perhitungan *Index of Fit* Interval Waktu Kerusakan

Untuk mengetahui distribusi yang paling seseai dengan data waktu antar kerusakan maka perlu dilakukan identifikasi jenis distribusi mengguakan metode *Least Square Curve Fitting* (LSCF). Dari perhitungan ini diperoleh *index of fit* untuk tiap distribusi tersebut. *Index of fit* digunakan untuk pertimbangan penentuan uji distribusi selanjutnya.

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

4.2.5.1. Identifikasi Interval Waktu Kerusakan Tiap Distribusi pada Kampas Rem

1. Identifikasi Interval Waktu Kerusakan Dengan Distribusi Weibull

Tabel 4.5 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Weibull

No.	ti (menit)	xi = Ln(ti)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln Ln(i/1- F(ti))	xi2	yi2	xi.yi
1	4320	8.37101	0.7	15.4	0.0454545	-3.067873	70.07382	9.411842	-25.6812
2	5760	8.65869	1.7	15.4	0.1103896	-2.145823	74.97296	4.604558	-18.58
3	7200	8.88184	2.7	15.4	0.1753247	-1.646281	78.88702	2.71024	-14.622
4	10080	9.21831	3.7	15.4	0.2402597	-1.291789	84.97721	1.66872	-11.9081
5	14400	9.57498	4.7	15.4	0.3051948	-1.010261	91.68031	1.020628	-9.67324
6	15840	9.67029	5.7	15.4	0.3701299	-0.771668	93.51458	0.595471	-7.46225
7	18720	9.83735	6.7	15.4	0.4350649	-0.560288	96.77341	0.313923	-5.51175
8	20160	9.91146	7.7	15.4	0.5	-0.366513	98.23695	0.134332	-3.63268
9	21600	9.98045	8.7	15.4	0.5649351	-0.18361	99.60935	0.033713	-1.83251
10	24480	10.1056	9.7	15.4	0.6298701	-0.006117	102.1234	3.74E-05	-0.06182
11	27360	10.2168	10.7	15.4	0.6948052	0.1712648	104.3838	0.029332	1.749785
12	41760	10.6397	11.7	15.4	0.7597403	0.3548976	113.2031	0.125952	3.776002
13	50400	10.8277	12.7	15.4	0.8246753	0.5545261	117.2401	0.307499	6.004268
14	72000	11.1844	13.7	15.4	0.8896104	0.7901556	125.0913	0.624346	8.837433
15	77760	11.2614	14.7	15.4	0.9545455	1.1285084	126.8187	1.273531	12.70856
Total	411840	148.34				-8.050871	1477.586	22.85412	-65.8895
^total		22004.8				64.816531			

$$\begin{aligned}
r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \\
&= \frac{15 \times -65,8895 - (148,34)(-8,050871)}{\sqrt{[15 \times 1477,586 - (22.004,8)][15 \times 22,856 - (64,816531)]}} \\
&= 0,9794
\end{aligned}$$

2. Identifikasi Interval Waktu Kerusakan Dengan Distribusi Eksponensial

Tabel 4.6 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Eksponensial

No.	ti = xi (Menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln Ln(i/1- F(ti))	xi2	yi2	xi.yi
1	4320	0.7	15.4	0.04545	0.04652	18662400	0.00216	200.967
2	5760	1.7	15.4	0.11039	0.11697	33177600	0.01368	673.757
3	7200	2.7	15.4	0.17532	0.19277	51840000	0.03716	1387.91
4	10080	3.7	15.4	0.24026	0.27478	101606400	0.0755	2769.77
5	14400	4.7	15.4	0.30519	0.36412	207360000	0.13259	5243.38
6	15840	5.7	15.4	0.37013	0.46224	250905600	0.21367	7321.91

No.	ti = xi (Menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln Ln(i/1- F(ti))	xi2	yi2	xi.yi
7	18720	6.7	15.4	0.43506	0.57104	350438400	0.32609	10690
8	20160	7.7	15.4	0.5	0.69315	406425600	0.48045	13973.9
9	21600	8.7	15.4	0.56494	0.83226	466560000	0.69266	17976.8
10	24480	9.7	15.4	0.62987	0.9939	599270400	0.98784	24330.7
11	27360	10.7	15.4	0.69481	1.18681	748569600	1.40851	32471
12	41760	11.7	15.4	0.75974	1.42603	1743897600	2.03358	59551.2
13	50400	12.7	15.4	0.82468	1.74112	2540160000	3.03148	87752.2
14	72000	13.7	15.4	0.88961	2.20374	5184000000	4.85647	158669
15	77760	14.7	15.4	0.95455	3.09104	6046617600	9.55454	240360
Total	411840				14.1965	18749491200	23.8464	663372
^total	1750585600				201.54			

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

$$= \frac{15 \times 663.372,1 - (411.840)(14,1964914)}{\sqrt{[15 \times 1,874 \times 10^{11} - (1.750.585.600)][15 \times 23,84638 - (201,5403)]}}$$

$$= 0,9829$$

3. Identifikasi Interval Waktu Kerusakan Dengan Distribusi Normal

Tabel 4.7 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Normal

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
1	4320	0.7	15.4	0.04546	-1.69	18662400	2.8561	-7300.8
2	5760	1.7	15.4	0.11039	-1.22	33177600	1.4884	-7027.2
3	7200	2.7	15.4	0.17533	-0.93	51840000	0.8649	-6696
4	10080	3.7	15.4	0.24026	-0.7	101606400	0.49	-7056
5	14400	4.7	15.4	0.3052	-0.51	207360000	0.2601	-7344
6	15840	5.7	15.4	0.37013	-0.33	250905600	0.1089	-5227.2
7	18720	6.7	15.4	0.43507	-0.16	350438400	0.0256	-2995.2
8	20160	7.7	15.4	0.5	0	406425600	0	0
9	21600	8.7	15.4	0.56494	0.16	466560000	0.0256	3456
10	24480	9.7	15.4	0.62987	0.33	599270400	0.1089	8078.4
11	27360	10.7	15.4	0.69481	0.51	748569600	0.2601	13953.6

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
12	41760	11.7	15.4	0.75974	0.7	1743897600	0.49	29232
13	50400	12.7	15.4	0.82468	0.93	2540160000	0.8649	46872
14	72000	13.7	15.4	0.88961	1.22	5184000000	1.4884	87840
15	77760	14.7	15.4	0.95455	1.69	6046617600	2.8561	131414
Total	411840				0	18749491200	12.188	277200
^total	1750585600				0			

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \\
 &= \frac{15 \times 277,200 - (411.840)(0)}{\sqrt{[15 \times 18.749.491.200 - (1.750.585.600)][15 \times 12,188 - (0)]}} \\
 &= 0,9829
 \end{aligned}$$

4. Identifikasi Interval Waktu Kerusakan Dengan Distribusi Lognormal

Tabel 4.8 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Lognormal

No.	ti (menit)	xi = Ln(ti)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
1	4320	8.371	0.7	15.4	0.04545	-1.69	70.07382	2.8561	-14.147
2	5760	8.6587	1.7	15.4	0.11039	-1.22	74.97296	1.4884	-10.5636
3	7200	8.8818	2.7	15.4	0.17532	-0.93	78.88702	0.8649	-8.26011
4	10080	9.2183	3.7	15.4	0.24026	-0.7	84.97721	0.49	-6.45282
5	14400	9.575	4.7	15.4	0.30519	-0.51	91.68031	0.2601	-4.88324
6	15840	9.6703	5.7	15.4	0.37013	-0.33	93.51458	0.1089	-3.1912
7	18720	9.8373	6.7	15.4	0.43506	-0.16	96.77341	0.0256	-1.57398
8	20160	9.9115	7.7	15.4	0.5	0	98.23695	0	0
9	21600	9.9804	8.7	15.4	0.56494	0.16	99.60935	0.0256	1.596872
10	24480	10.106	9.7	15.4	0.62987	0.33	102.1234	0.1089	3.334852
11	27360	10.217	10.7	15.4	0.69481	0.51	104.3838	0.2601	5.210587
12	41760	10.64	11.7	15.4	0.75974	0.7	113.2031	0.49	7.447786
13	50400	10.828	12.7	15.4	0.82468	0.93	117.2401	0.8649	10.0698
14	72000	11.184	13.7	15.4	0.88961	1.22	125.0913	1.4884	13.64499
15	77760	11.261	14.7	15.4	0.95455	1.69	126.8187	2.8561	19.03174
Total	411840	148.34				0	1477.586	12.188	11.26468
^total		22005				0			

$$\begin{aligned}
r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \\
&= \frac{15 \times 11,26468 - (148,34)(0)}{\sqrt{[15 \times 1477,586 - (22.005)][15 \times 12,188 - (0)]}} \\
&= 0,9910
\end{aligned}$$

Tabel 4.9 Perbandingan Nilai *Index of Fit* Interval Waktu Antar Kerusakan Komponen Kampas Rem

Distribusi	Nilai r
Weibull	0.9794
Eksponensial	0.9829
Normal	0.9204
Lognormal	0.9910

Dari perhitungan *index of fit*, pemilihan jenis distribusi dipilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar, karena nilai *index of fit* menunjukkan koefisien korelasi (r). Dimana yang menjadi nilai *index of fit* terbesar adalah nilai r yang mendekati 1. Pada data interval waktu antar kerusakan untuk komponen kampas rem diperoleh nilai *index of fit* terbesar pada distribusi Lognormal sebesar 0,9910.

4.2.5.2. Identifikasi Interval Waktu Kerusakan Tiap Distribusi pada Komponen Sliwer

1. Identifikasi Interval Waktu Kerusakan Dengan Distribusi Weibull

Tabel 4.10 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Weibull

No.	ti (menit)	xi = Ln(ti)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln Ln(i/1- F(ti))	xi ²	yi ²	xi.yi
1	1440	7.2724	0.7	20.4	0.03431	-3.3548	52.888	11.255	-24.4
2	1440	7.2724	1.7	20.4	0.08333	-2.4417	52.888	5.962	-17.76
3	2880	7.96555	2.7	20.4	0.13235	-1.9521	63.45	3.8108	-15.55
4	5760	8.65869	3.7	20.4	0.18137	-1.6088	74.973	2.5883	-13.93
5	10080	9.21831	4.7	20.4	0.23039	-1.3399	84.977	1.7953	-12.35
6	11520	9.35184	5.7	20.4	0.27941	-1.1157	87.457	1.2448	-10.43
7	12960	9.46962	6.7	20.4	0.32843	-0.921	89.674	0.8482	-8.721

No.	ti (menit)	xi = Ln(ti)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln Ln(i/1- F(ti))	xi2	yi2	xi.yi
8	14400	9.57498	7.7	20.4	0.37745	-0.7467	91.68	0.5575	-7.15
9	20160	9.91146	8.7	20.4	0.42647	-0.5871	98.237	0.3447	-5.819
10	21600	9.98045	9.7	20.4	0.47549	-0.4381	99.609	0.1919	-4.372
11	23040	10.045	10.7	20.4	0.52451	-0.2965	100.9	0.0879	-2.978
12	25920	10.1628	11.7	20.4	0.57353	-0.1599	103.28	0.0256	-1.625
13	28800	10.2681	12.7	20.4	0.62255	-0.026	105.43	0.0007	-0.267
14	31680	10.3634	13.7	20.4	0.67157	0.10744	107.4	0.0115	1.1135
15	33120	10.4079	14.7	20.4	0.72059	0.243	108.32	0.059	2.5291
16	36000	10.4913	15.7	20.4	0.76961	0.38388	110.07	0.1474	4.0274
17	36000	10.4913	16.7	20.4	0.81863	0.53486	110.07	0.2861	5.6113
18	44640	10.7064	17.7	20.4	0.86765	0.70423	114.63	0.4959	7.5397
19	66240	11.101	18.7	20.4	0.91667	0.91024	123.23	0.8285	10.105
20	87840	11.3833	19.7	20.4	0.96569	1.21557	129.58	1.4776	13.837
Total	515520	194.096				-10.889	1908.7	32.018	-80.59
^total		37673.3				118.572			

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum_{i=1}^n xi yi - (\sum_{i=1}^n xi)(\sum_{i=1}^n yi)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2 \right]}} \\
 &= \frac{20 \times (-80,59) - (194,097)(-10,889)}{\sqrt{[20 \times 190,7 - (37673,32)][20 \times 118,572 - (32,018)]}} \\
 &= 0,98067
 \end{aligned}$$

2. Identifikasi Interval Waktu Kerusakan Dengan Distribusi Eksponensial

Tabel 4.11 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Eksponensial

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln(i/1- F(ti))	xi2	yi2	xi.yi
1	1440	0.7	20.4	0.0343	0.03492	2073600	0.0012	50.279
2	1440	1.7	20.4	0.0833	0.08701	2073600	0.0076	125.3
3	2880	2.7	20.4	0.1324	0.14197	8294400	0.0202	408.87
4	5760	3.7	20.4	0.1814	0.20013	3.30E+07	0.0401	1152.7
5	10080	4.7	20.4	0.2304	0.26187	1.00E+08	0.0686	2639.7
6	11520	5.7	20.4	0.2794	0.32769	1.30E+08	0.1074	3775
7	12960	6.7	20.4	0.3284	0.39814	1.70E+08	0.1585	5159.9

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln(i/1- F(ti))	xi2	yi2	xi.yi
8	14400	7.7	20.4	0.3775	0.47393	2.10E+08	0.2246	6824.6
9	20160	8.7	20.4	0.4265	0.55595	4.10E+08	0.3091	11208
10	21600	9.7	20.4	0.4755	0.64529	4.70E+08	0.4164	13938
11	23040	10.7	20.4	0.5245	0.74341	5.30E+08	0.5527	17128
12	25920	11.7	20.4	0.5735	0.85221	6.70E+08	0.7263	22089
13	28800	12.7	20.4	0.6225	0.97431	8.30E+08	0.9493	28060
14	31680	13.7	20.4	0.6716	1.11343	1.00E+09	1.2397	35273
15	33120	14.7	20.4	0.7206	1.27507	1.10E+09	1.6258	42230
16	36000	15.7	20.4	0.7696	1.46797	1.30E+09	2.1549	52847
17	36000	16.7	20.4	0.8186	1.7072	1.30E+09	2.9145	61459
18	44640	17.7	20.4	0.8676	2.02228	2.00E+09	4.0896	90275
19	66240	18.7	20.4	0.9167	2.48491	4.40E+09	6.1748	164600
20	87840	19.7	20.4	0.9657	3.37221	7.70E+09	11.372	296215
Total	515520				19.1399	2.20E+10	33.153	855460
^total	2.66E+11				366.336			

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

$$= \frac{20 \times (885.460) - (515520)(19,1399)}{\sqrt{[20 \times 2,2 \times 10^{11} - (2,657 \times 10^{11})][20 \times 33,153 - (366,336)]}}$$

$$= 0,9876$$

3. Identifikasi Interval Waktu Kerusakan Dengan Distribusi Normal

Tabel 4.12 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Normal

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
1	1440	0.7	20.4	0.0343	-1.82	2073600	3.3124	-2621
2	1440	1.7	20.4	0.0833	-1.38	2073600	1.9044	-1987
3	2880	2.7	20.4	0.1324	-1.12	8294400	1.2544	-3226
4	5760	3.7	20.4	0.1814	-0.91	3.30E+07	0.8281	-5242
5	10080	4.7	20.4	0.2304	-0.73	1.00E+08	0.5329	-7358
6	11520	5.7	20.4	0.2794	-0.59	1.30E+08	0.3481	-6797
7	12960	6.7	20.4	0.3284	-0.44	1.70E+08	0.1936	-5702
8	14400	7.7	20.4	0.3775	-0.31	2.10E+08	0.0961	-4464

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
9	20160	8.7	20.4	0.4265	-0.19	4.10E+08	0.0361	-3830
10	21600	9.7	20.4	0.4755	-0.06	4.70E+08	0.0036	-1296
11	23040	10.7	20.4	0.5245	0.06	5.30E+08	0.0036	1382.4
12	25920	11.7	20.4	0.5735	0.19	6.70E+08	0.0361	4924.8
13	28800	12.7	20.4	0.6225	0.31	8.30E+08	0.0961	8928
14	31680	13.7	20.4	0.6716	0.44	1.00E+09	0.1936	13939
15	33120	14.7	20.4	0.7206	0.59	1.10E+09	0.3481	19541
16	36000	15.7	20.4	0.7696	0.73	1.30E+09	0.5329	26280
17	36000	16.7	20.4	0.8186	0.91	1.30E+09	0.8281	32760
18	44640	17.7	20.4	0.8676	1.12	2.00E+09	1.2544	49997
19	66240	18.7	20.4	0.9167	1.38	4.40E+09	1.9044	91411
20	87840	19.7	20.4	0.9657	1.82	7.70E+09	3.3124	159869
Total	515520				0	2.20E+10	17.019	366509
^total	2.66E+11				0			

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \\
 &= \frac{20 \times (366509) - (515520)(0)}{\sqrt{[20 \times 2,2 \times 10^{11} - (2,657 \times 10^{11})][20 \times 17,019 - (0)]}} \\
 &= 0,9332
 \end{aligned}$$

4. Identifikasi Interval Waktu Kerusakan Dengan Distribusi Lognormal

Tabel 4.13 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Lognormal

No.	ti (menit)	xi = Ln(ti)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
1	1440	7.2724	0.7	20.4	0.03431	-1.82	52.888	3.3124	-13.24
2	1440	7.2724	1.7	20.4	0.08333	-1.38	52.888	1.9044	-10.04
3	2880	7.96555	2.7	20.4	0.13235	-1.12	63.45	1.2544	-8.921
4	5760	8.65869	3.7	20.4	0.18137	-0.91	74.973	0.8281	-7.879
5	10080	9.21831	4.7	20.4	0.23039	-0.73	84.977	0.5329	-6.729
6	11520	9.35184	5.7	20.4	0.27941	-0.59	87.457	0.3481	-5.518
7	12960	9.46962	6.7	20.4	0.32843	-0.44	89.674	0.1936	-4.167
8	14400	9.57498	7.7	20.4	0.37745	-0.31	91.68	0.0961	-2.968
9	20160	9.91146	8.7	20.4	0.42647	-0.19	98.237	0.0361	-1.883
10	21600	9.98045	9.7	20.4	0.47549	-0.06	99.609	0.0036	-0.599

No.	ti (menit)	xi = Ln(ti)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
11	23040	10.045	10.7	20.4	0.52451	0.06	100.9	0.0036	0.6027
12	25920	10.1628	11.7	20.4	0.57353	0.19	103.28	0.0361	1.9309
13	28800	10.2681	12.7	20.4	0.62255	0.31	105.43	0.0961	3.1831
14	31680	10.3634	13.7	20.4	0.67157	0.44	107.4	0.1936	4.5599
15	33120	10.4079	14.7	20.4	0.72059	0.59	108.32	0.3481	6.1407
16	36000	10.4913	15.7	20.4	0.76961	0.73	110.07	0.5329	7.6586
17	36000	10.4913	16.7	20.4	0.81863	0.91	110.07	0.8281	9.5471
18	44640	10.7064	17.7	20.4	0.86765	1.12	114.63	1.2544	11.991
19	66240	11.101	18.7	20.4	0.91667	1.38	123.23	1.9044	15.319
20	87840	11.3833	19.7	20.4	0.96569	1.82	129.58	3.3124	20.718
Total	515520	194.096				0	1908.7	17.019	19.715
^total		37673.3				0			

$$\begin{aligned}
r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
&= \frac{20 \times (19,715) - (194,096)(0)}{\sqrt{[20 \times 1908,7 - (37673,32)][20 \times 17,019 - (0)]}} \\
&= 0,9541
\end{aligned}$$

Tabel 4.14 Perbandingan Nilai *Index of Fit* Interval Waktu Antar Kerusakan Komponen

Sliwer

Distribusi	Nilai r
Weibull	0.9806
Ekspensial	0.9877
Normal	0.9332
Lognormal	0.9541

Dari perhitungan *index of fit*, pemilihan jenis distribusi dipilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar, karena nilai *index of fit* menunjukkan koefisien korelasi (r). Dimana yang menjadi nilai *index of fit* terbesar adalah nilai r yang mendekati 1. Pada data interval waktu antar kerusakan untuk komponen sliwer diperoleh nilai *index of fit* terbesar pada distribusi Ekspensial sebesar 0,9877.

4.2.6. Perhitungan *Index of Fit* Interval Waktu Perbaikan

Untuk mengetahui distribusi yang paling sesuai dengan data waktu antar perbaikan maka perlu dilakukan diidentifikasi jenis distribusi dengan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting* (LSCF). Dari perhitungan ini diperoleh *index of fit* untuk tiap distribusi tersebut. *index of fit* digunakan untuk pertimbangan penentuan uji distribusi selanjutnya.

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

4.2.6.1. Identifikasi Interval Waktu Perbaikan pada Komponen Kampas Rem

1. Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Dengan Distribusi Weibull

Tabel 4.15 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Weibull

No.	ti (menit)	xi = Ln(ti)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln Ln(i/1- F(ti))	xi ²	yi ²	xi.yi
1	60	4.0943446	0.7	16.4	0.042683	-3.1322252	16.76366	9.810835	-12.8244
2	60	4.0943446	1.7	16.4	0.103659	-2.2124351	16.76366	4.894869	-9.05847
3	60	4.0943446	2.7	16.4	0.164634	-1.7154347	16.76366	2.942716	-7.02358
4	60	4.0943446	3.7	16.4	0.22561	-1.3638312	16.76366	1.860036	-5.58399
5	75	4.3174881	4.7	16.4	0.286585	-1.0856196	18.6407	1.17857	-4.68715
6	75	4.3174881	5.7	16.4	0.347561	-0.8508832	18.6407	0.724002	-3.67368
7	90	4.4998097	6.7	16.4	0.408537	-0.644061	20.24829	0.414815	-2.89815
8	90	4.4998097	7.7	16.4	0.469512	-0.4557721	20.24829	0.207728	-2.05089
9	90	4.4998097	8.7	16.4	0.530488	-0.2796332	20.24829	0.078195	-1.2583
10	90	4.4998097	9.7	16.4	0.591463	-0.1107374	20.24829	0.012263	-0.4983
11	90	4.4998097	10.7	16.4	0.652439	0.05525982	20.24829	0.003054	0.248659
12	105	4.6539604	11.7	16.4	0.713415	0.22291859	21.65935	0.049693	1.037454
13	109.8	4.6986605	12.7	16.4	0.77439	0.39807018	22.07741	0.15846	1.870397
14	120	4.7874917	13.7	16.4	0.835366	0.59002281	22.92008	0.348127	2.824729
15	120	4.7874917	14.7	16.4	0.896341	0.81830433	22.92008	0.669622	3.917625
16	150	5.0106353	15.7	16.4	0.957317	1.14865763	25.10647	1.319414	5.755504
Total	1444.8	71.449642			8	-8.6173994	320.2609	24.6724	-33.9025
^total		5105.0514				74.2595721			

$$\begin{aligned}
r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
&= \frac{16 \times 33,9025 - (71,449642)(-8,6173)}{\sqrt{[16 \times 320,2609 - (5105,0514)][16 \times 24,6724 - (74,2595)]}} \\
&= 0,8474
\end{aligned}$$

2. Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Dengan Distribusi Eksponensial

Tabel 4.16 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Eksponensial

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln Ln(i/1- F(ti))	xi ²	yi ²	xi.yi
1	60	0.7	16.4	0.04268293	0.04362062	3600	0.00190276	2.617237
2	60	1.7	16.4	0.10365854	0.10943384	3600	0.01197577	6.56603
3	60	2.7	16.4	0.16463415	0.1798855	3600	0.03235879	10.79313
4	60	3.7	16.4	0.22560976	0.25567934	3600	0.06537193	15.34076
5	75	4.7	16.4	0.28658537	0.33769249	5625	0.11403622	25.32694
6	75	5.7	16.4	0.34756098	0.42703759	5625	0.18236111	32.02782
7	90	6.7	16.4	0.40853659	0.52515545	8100	0.27578825	47.26399
8	90	7.7	16.4	0.4695122	0.63395831	8100	0.40190314	57.05625
9	90	8.7	16.4	0.5304878	0.75606101	8100	0.57162824	68.04549
10	90	9.7	16.4	0.59146341	0.89517381	8100	0.80133615	80.56564
11	90	10.7	16.4	0.65243902	1.05681516	8100	1.11685828	95.11336
12	105	11.7	16.4	0.71341463	1.24971883	11025	1.56179714	131.2205
13	109.8	12.7	16.4	0.77439024	1.48894852	12056	2.21696768	163.4865
14	120	13.7	16.4	0.83536585	1.80402956	14400	3.25452266	216.4835
15	120	14.7	16.4	0.89634146	2.26665308	14400	5.1377162	271.9984
16	150	15.7	16.4	0.95731707	3.15395628	22500	9.94744021	473.0934
Total	1444.8			8	15.1838194	140531	25.6939645	1696.999
^total	2087447				230.548371			

$$\begin{aligned}
r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
&= \frac{16 \times 1696,99 - (1444,8)(15,1838)}{\sqrt{[16 \times 140.531 - (2.087.447)][16 \times 25,6939 - (230,5483)]}} \\
&= 0,9669
\end{aligned}$$

3. Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Dengan Distribusi Normal

Tabel 4.17 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Normal

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
1	60	0.7	16.4	0.0426829	-1.72	3600	2.9584	-103.2
2	60	1.7	16.4	0.1036585	-1.26	3600	1.5876	-75.6
3	60	2.7	16.4	0.1646341	-0.98	3600	0.9604	-58.8
4	60	3.7	16.4	0.2256098	-0.75	3600	0.5625	-45
5	75	4.7	16.4	0.2865854	-0.56	5625	0.3136	-42
6	75	5.7	16.4	0.347561	-0.39	5625	0.1521	-29.25
7	90	6.7	16.4	0.4085366	-0.23	8100	0.0529	-20.7
8	90	7.7	16.4	0.4695122	-0.08	8100	0.0064	-7.2
9	90	8.7	16.4	0.5304878	0.08	8100	0.0064	7.2
10	90	9.7	16.4	0.5914634	0.23	8100	0.0529	20.7
11	90	10.7	16.4	0.652439	0.39	8100	0.1521	35.1
12	105	11.7	16.4	0.7134146	0.56	11025	0.3136	58.8
13	109.8	12.7	16.4	0.7743902	0.75	12056	0.5625	82.35
14	120	13.7	16.4	0.8353659	0.98	14400	0.9604	117.6
15	120	14.7	16.4	0.8963415	1.26	14400	1.5876	151.2
16	150	15.7	16.4	0.9573171	1.72	22500	2.9584	258
Total	1444.8				0	140531	13.1878	349.2
^total	2087447				0			

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
 &= \frac{16 \times 349,2 - (1444,8)(0)}{\sqrt{[16 \times 140.531 - (2.087.447)][16 \times 13,1878 - (0)]}} \\
 &= 0,9584
 \end{aligned}$$

4. Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Dengan Distribusi Lognormal

Tabel 4.18 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Lognormal

No.	ti (menit)	xi	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
1	60	4.094	0.7	16.4	0.04268	-1.72	16.7637	2.9584	-7.0423
2	60	4.094	1.7	16.4	0.10366	-1.26	16.7637	1.5876	-5.1589
3	60	4.094	2.7	16.4	0.16463	-0.98	16.7637	0.9604	-4.0125

No.	ti (menit)	xi	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
4	60	4.094	3.7	16.4	0.22561	-0.75	16.7637	0.5625	-3.0708
5	75	4.317	4.7	16.4	0.28659	-0.56	18.6407	0.3136	-2.4178
6	75	4.317	5.7	16.4	0.34756	-0.39	18.6407	0.1521	-1.6838
7	90	4.5	6.7	16.4	0.40854	-0.23	20.2483	0.0529	-1.035
8	90	4.5	7.7	16.4	0.46951	-0.08	20.2483	0.0064	-0.36
9	90	4.5	8.7	16.4	0.53049	0.08	20.2483	0.0064	0.35999
10	90	4.5	9.7	16.4	0.59146	0.23	20.2483	0.0529	1.03496
11	90	4.5	10.7	16.4	0.65244	0.39	20.2483	0.1521	1.75493
12	105	4.654	11.7	16.4	0.71342	0.56	21.6593	0.3136	2.60622
13	109.8	4.699	12.7	16.4	0.77439	0.75	22.0774	0.5625	3.524
14	120	4.787	13.7	16.4	0.83537	0.98	22.9201	0.9604	4.69174
15	120	4.787	14.7	16.4	0.89634	1.26	22.9201	1.5876	6.03224
16	150	5.011	15.7	16.4	0.95732	1.72	25.1065	2.9584	8.61829
Total	1444.8	71.45				0	320.261	13.1878	3.84144
^total		5105				0			

$$\begin{aligned}
r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
&= \frac{16 \times 3,841437 - (71,45)(0)}{\sqrt{[16 \times 320,261 - (5105)][16 \times 13,1878 - (0)]}} \\
&= 0,9676
\end{aligned}$$

Tabel 4.19 Perbandingan Nilai *Index of Fit* Interval Waktu Perbaikan Komponen

Kampas Rem	
Distribusi	Nilai r
Weibull	0.8474
Eksponensial	0.9669
Normal	0.9584
Lognormal	0.9676

Dari perhitungan *index of fit*, pemilihan jenis distribusi dipilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar, karena nilai *index of fit* menunjukkan koefisien korelasi (r). Dimana yang menjadi nilai *index of fit* terbesar adalah nilai r yang mendekati 1. Pada data interval waktu perbaikan untuk komponen kampas rem diperoleh nilai *index of fit* terbesar pada distribusi Lognormal sebesar 0,9676.

4.2.6.2. Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Tiap Distribusi pada Komponen Sliwer

1. Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Dengan Distribusi Weibull

Tabel 4.20 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Weibull

No.	ti (menit)	xi = Ln(ti)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln Ln(i/1- F(ti))	xi2	yi2	xi.yi
1	30	3.401	0.7	21.4	0.03271	-3.403	11.5681	11.5837	-11.5759
2	30	3.401	1.7	21.4	0.079439	-2.492	11.5681	6.20838	-8.47463
3	30	3.401	2.7	21.4	0.126168	-2.003	11.5681	4.01386	-6.81417
4	30	3.401	3.7	21.4	0.172897	-1.662	11.5681	2.76107	-5.65159
5	30	3.401	4.7	21.4	0.219626	-1.394	11.5681	1.94435	-4.74262
6	34.8	3.55	5.7	21.4	0.266355	-1.172	12.5998	1.37371	-4.16034
7	36	3.584	6.7	21.4	0.313084	-0.979	12.8416	0.95919	-3.50963
8	40.2	3.694	7.7	21.4	0.359813	-0.807	13.6447	0.65197	-2.9826
9	45	3.807	8.7	21.4	0.406542	-0.65	14.4907	0.42314	-2.4762
10	45	3.807	9.7	21.4	0.453271	-0.505	14.4907	0.25453	-1.92049
11	45	3.807	10.7	21.4	0.5	-0.367	14.4907	0.13433	-1.39519
12	45	3.807	11.7	21.4	0.546729	-0.234	14.4907	0.05481	-0.89122
13	45	3.807	12.7	21.4	0.593458	-0.105	14.4907	0.01108	-0.40078
14	60	4.094	13.7	21.4	0.640187	0.0219	16.7637	0.00048	0.089782
15	60	4.094	14.7	21.4	0.686916	0.1495	16.7637	0.02236	0.61221
16	60	4.094	15.7	21.4	0.733645	0.2798	16.7637	0.07831	1.145782
17	60	4.094	16.7	21.4	0.780374	0.416	16.7637	0.17302	1.703092
18	60	4.094	17.7	21.4	0.827103	0.5625	16.7637	0.31641	2.303077
19	60	4.094	18.7	21.4	0.873832	0.7276	16.7637	0.52942	2.97911
20	60	4.094	19.7	21.4	0.920561	0.9293	16.7637	0.86362	3.804918
21	90	4.5	20.7	21.4	0.96729	1.2297	20.2483	1.51206	5.533235
Total	996	80.03			10.5	-11.46	306.974	33.8698	-36.8242
^total		6404				131.29			

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \\
 &= \frac{21 \times (-36,8242) - (80,03)(-11,46)}{\sqrt{[21 \times 306,974 - (6404)][21 \times 33,8698 - (131,29)]}} \\
 &= 0,9180
 \end{aligned}$$

2. Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Dengan Distribusi Ekspensial

Tabel 4.22 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Ekspensial

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti) = i- 0.3/n+0.4	Yi = Ln Ln(i/1- F(ti))	xi ²	yi ²	xi.yi
1	30	0.7	21.4	0.0327	0.033257	900	0.00111	0.99772
2	30	1.7	21.4	0.0794	0.082772	900	0.00685	2.48317
3	30	2.7	21.4	0.1262	0.134867	900	0.01819	4.04602
4	30	3.7	21.4	0.1729	0.189826	900	0.03603	5.69479
5	30	4.7	21.4	0.2196	0.247982	900	0.0615	7.43947
6	34.8	5.7	21.4	0.2664	0.30973	1211	0.09593	10.7786
7	36	6.7	21.4	0.3131	0.375543	1296	0.14103	13.5196
8	40.2	7.7	21.4	0.3598	0.445995	1616	0.19891	17.929
9	45	8.7	21.4	0.4065	0.521789	2025	0.27226	23.4805
10	45	9.7	21.4	0.4533	0.603802	2025	0.36458	27.1711
11	45	10.7	21.4	0.5	0.693147	2025	0.48045	31.1916
12	45	11.7	21.4	0.5467	0.791265	2025	0.6261	35.6069
13	45	12.7	21.4	0.5935	0.900068	2025	0.81012	40.5031
14	60	13.7	21.4	0.6402	1.022171	3600	1.04483	61.3302
15	60	14.7	21.4	0.6869	1.161283	3600	1.34858	69.677
16	60	15.7	21.4	0.7336	1.322925	3600	1.75013	79.3755
17	60	16.7	21.4	0.7804	1.515828	3600	2.29774	90.9497
18	60	17.7	21.4	0.8271	1.755058	3600	3.08023	105.303
19	60	18.7	21.4	0.8738	2.070139	3600	4.28548	124.208
20	60	19.7	21.4	0.9206	2.532763	3600	6.41489	151.966
21	90	20.7	21.4	0.9673	3.420066	8100	11.6969	307.806
Total	996			10.5	20.13028	52048	35.0318	1211.46
^total	992016				405.2281			

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \\
 &= \frac{21 \times (1211,46) - (996)(20,1302)}{\sqrt{[21 \times 52.048 - (992.016)][21 \times 35,0318 - (405,2281)]}} \\
 &= 0,9331
 \end{aligned}$$

3. Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Dengan Distribusi Normal

Tabel 4.23 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Normal

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi ²	yi ²	xi.yi
1	30	0.7	21.4	0.0327	-1.83	900	3.3489	-54.9
2	30	1.7	21.4	0.0794	-1.41	900	1.9881	-42.3
3	30	2.7	21.4	0.1262	-1.51	900	2.2801	-45.3
4	30	3.7	21.4	0.1729	-0.94	900	0.8836	-28.2
5	30	4.7	21.4	0.2196	-0.77	900	0.5929	-23.1
6	34.8	5.7	21.4	0.2664	-0.62	1211	0.3844	-21.576
7	36	6.7	21.4	0.3131	-0.49	1296	0.2401	-17.64
8	40.2	7.7	21.4	0.3598	-0.36	1616	0.1296	-14.472
9	45	8.7	21.4	0.4065	-0.24	2025	0.0576	-10.8
10	45	9.7	21.4	0.4533	-0.12	2025	0.0144	-5.4
11	45	10.7	21.4	0.5	0	2025	0	0
12	45	11.7	21.4	0.5467	0.12	2025	0.0144	5.4
13	45	12.7	21.4	0.5935	0.24	2025	0.0576	10.8
14	60	13.7	21.4	0.6402	0.36	3600	0.1296	21.6
15	60	14.7	21.4	0.6869	0.49	3600	0.2401	29.4
16	60	15.7	21.4	0.7336	0.62	3600	0.3844	37.2
17	60	16.7	21.4	0.7804	0.77	3600	0.5929	46.2
18	60	17.7	21.4	0.8271	0.94	3600	0.8836	56.4
19	60	18.7	21.4	0.8738	1.51	3600	2.2801	90.6
20	60	19.7	21.4	0.9206	1.41	3600	1.9881	84.6
21	90	20.7	21.4	0.9673	1.83	8100	3.3489	164.7
Total	996				0	52048	19.8394	283.212
^total	992016				0			

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \\
 &= \frac{21 \times (283,212) - (996)(0)}{\sqrt{[21 \times 52048 - (992.016)][21 \times 19,83 - (0)]}} \\
 &= 0,9168
 \end{aligned}$$

4. Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Dengan Distribusi Lognormal

Tabel 4.24 Perhitungan *Index of Fit* dengan Distribusi Lognormal

No.	ti (menit)	xi	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi = Zi	xi2	yi2	xi.yi
1	30	3.401	0.7	21.4	0.03271	-1.83	11.5681	3.3489	-6.22419
2	30	3.401	1.7	21.4	0.079439	-1.41	11.5681	1.9881	-4.79569
3	30	3.401	2.7	21.4	0.126168	-1.51	11.5681	2.2801	-5.13581
4	30	3.401	3.7	21.4	0.172897	-0.94	11.5681	0.8836	-3.19713
5	30	3.401	4.7	21.4	0.219626	-0.77	11.5681	0.5929	-2.61892
6	34.8	3.55	5.7	21.4	0.266355	-0.62	12.5998	0.3844	-2.20076
7	36	3.584	6.7	21.4	0.313084	-0.49	12.8416	0.2401	-1.75592
8	40.2	3.694	7.7	21.4	0.359813	-0.36	13.6447	0.1296	-1.32979
9	45	3.807	8.7	21.4	0.406542	-0.24	14.4907	0.0576	-0.9136
10	45	3.807	9.7	21.4	0.453271	-0.12	14.4907	0.0144	-0.4568
11	45	3.807	10.7	21.4	0.5	0	14.4907	0	0
12	45	3.807	11.7	21.4	0.546729	0.12	14.4907	0.0144	0.456799
13	45	3.807	12.7	21.4	0.593458	0.24	14.4907	0.0576	0.913599
14	60	4.094	13.7	21.4	0.640187	0.36	16.7637	0.1296	1.473964
15	60	4.094	14.7	21.4	0.686916	0.49	16.7637	0.2401	2.006229
16	60	4.094	15.7	21.4	0.733645	0.62	16.7637	0.3844	2.538494
17	60	4.094	16.7	21.4	0.780374	0.77	16.7637	0.5929	3.152645
18	60	4.094	17.7	21.4	0.827103	0.94	16.7637	0.8836	3.848684
19	60	4.094	18.7	21.4	0.873832	1.51	16.7637	2.2801	6.18246
20	60	4.094	19.7	21.4	0.920561	1.41	16.7637	1.9881	5.773026
21	90	4.5	20.7	21.4	0.96729	1.83	20.2483	3.3489	8.234652
Total	996	80.03				0	306.974	19.8394	5.951939
^total		6404				0			

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}} \\
 &= \frac{21 \times (5,9519) - (80,03)(0)}{\sqrt{[21 \times 6404 - (306,974)][21 \times 19,8394 - (0)]}} \\
 &= 0,9426
 \end{aligned}$$

Tabel 4.24 Perbandingan Nilai *Index of Fit* Interval Waktu Perbaikan Komponen
Kampas Rem

Distribusi	Nilai r
Weibull	0.9180
Eksponensial	0.9331
Normal	0.9168
Lognormal	0.9426

Dari perhitungan *index of fit*, pemilihan jenis distribusi dipilih berdasarkan nilai *index of fit* terbesar, karena nilai *index of fit* menunjukkan koefisien korelasi (r). Dimana yang menjadi nilai *index of fit* terbesar adalah nilai r yang mendekati 1. Pada data interval waktu perbaikan untuk komponen sliwer diperoleh nilai *index of fit* terbesar pada distribusi Lognormal sebesar 0,9426.

4.2.7. Uji Kecocokan Distribusi (*Goodness of Fit*)

Berdasarkan hasil pemilihan nilai *Index of Fit* terbesar untuk data waktu antar kerusakan, maka dilakukan pengujian kesesuaian distribusi untuk menentukan apakah data waktu antar kerusakan pada komponen kritis benar – benar mendekati distribusi yang sesuai dengan *Index of Fit* terbesar.

Pengujian yang dilakukan untuk masing – masing distribusi tersebut adalah sebagai berikut :

- Mann' test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Weibull
- Kolmogorov – Smirnov Test* dengan $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Normal dan Lognormal
- Bartlett Test* $\alpha = 0,05$ untuk menguji distribusi Eksponensial

4.2.7.1. Uji Kecocokan Distribusi (*Goodness of Fit*) Interval Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perawatan pada Komponen Kampas Rem

- Uji Kecocokan Distribusi (*Goodness of Fit*) Interval Waktu Antar Kerusakan
Distribusi yang akan diuji pada interval waktu antar kerusakan pada komponen kritis adalah distribusi Lognormal, maka pengujian yang akan dilakukan adalah *Kolmogorov – Smirnov Test*. Hipotesa yang digunakan adalah sebagai berikut :
 H_0 = Data interval waktu antar kerusakan berdistribusi lognormal
 H_1 = Data interval waktu antar kerusakan tidak berdistribusi lognormal

Tabel 4.25 Perhitungan *Goodness of Fit* untuk Distribusi Lognormal

No	ti (jam)	(ti-t)2	Zi = (ti-t)/s	$\Phi(Z_i)$	(i-1)/n	D ₁	D ₂
1	4320	535274496	-1.0387	0.1515	0	0.1515	-0.0848
2	5760	470716416	-0.97405	0.16602	0.06667	0.09935	-0.0327
3	7200	410305536	-0.9094	0.18406	0.13333	0.05073	0.01594
4	10080	301925376	-0.7801	0.2177	0.2	0.0177	0.04897
5	14400	170459136	-0.58615	0.28096	0.26667	0.01429	0.05237
6	15840	134931456	-0.5215	0.30153	0.33333	-0.0318	0.09847
7	18720	76317696	-0.3922	0.34827	0.4	-0.0517	0.1184
8	20160	53231616	-0.32756	0.37448	0.46667	-0.0922	0.15885
9	21600	34292736	-0.26291	0.39743	0.53333	-0.1359	0.20257
10	24480	8856576	-0.13361	0.44828	0.6	-0.1517	0.21839
11	27360	9216	-0.00431	0.5	0.66667	-0.1667	0.23333
12	41760	204604416	0.642182	0.73891	0.73333	0.00558	0.06109
13	50400	526427136	1.030077	0.8485	0.8	0.0485	0.01817
14	72000	1984167936	1.999814	0.9767	0.86667	0.11003	-0.0433
15	77760	2530492416	2.258411	0.98778	0.93333	0.05445	0.01222
Total	411840	7442012160					
Rata-rata	27456						
s2		496134143					
S		22274.0688					

$$\text{Max } D_1 = 0,1515$$

$$\text{Max } D_2 = 0,2333$$

$$D_n = \max\{D_1, D_2\}$$

$$D_{15} = \max\{0,1515, 0,2333\}$$

$$D_{15} = 0,2333$$

$$\text{Kolmogorov-Smirnov Test} = 0,22$$

$$\text{Sample size} = 15$$

Sehingga $D_n = 0,23333 > D_{crit,0.05}$; H_0 ditolak yang artinya interval waktu antar kerusakan komponen kampas rem tidak berdistribusi lognormal. Karena H_0 ditolak, maka dilakukan pengujian pada distribusi tertinggi kedua setelah distribusi lognormal, yaitu distribusi eksponensial.

Distribusi yang akan diuji pada interval waktu antar kerusakan pada komponen kritis adalah distribusi eksponensial, maka pengujian yang akan dilakukan adalah *Bartlett test*. Hipotesa yang digunakan adalah sebagai berikut

Ho = Data interval waktu antar kerusakan berdistribusi eksponensial

Hi = Data interval waktu antar kerusakan tidak berdistribusi eksponensial

Tabel 4.26 Perhitungan *Goodness of Fit* untuk Distribusi Eksponensial

No.	ti (menit)	ln ti
1	4320	8.37101068
2	5760	8.65869275
3	7200	8.88183631
4	10080	9.21830854
5	14400	9.57498349
6	15840	9.67029367
7	18720	9.83734775
8	20160	9.91145572
9	21600	9.98044859
10	24480	10.1056117
11	27360	10.2168374
12	41760	10.6396942
13	50400	10.8277465
14	72000	11.1844214
15	77760	11.2613824
Total	411840	148.340071
Rata-rata	27456	

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

$$= \frac{2(15)[\ln(\frac{411840}{15}) - \frac{148.340071}{15}]}{1+(15+1)/[6(15)]}$$

$$= 8.431181$$

$$B = 8.431181$$

$$Chi-square Test = 23,7$$

$$Sample Size = 15$$

Sehingga, $B = 8,431181 < X_{0.05,14} = 23,7$; H_0 diterima yang artinya interval waktu antar kerusakan komponen kampas rem berdistribusi eksponensial. Distribusi eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat.

2. Uji Kecocokan Distribusi (*Goodness of Fit*) Interval Waktu Perbaikan

Distribusi yang akan diuji pada interval waktu perbaikan pada komponen kritis adalah distribusi Lognormal, maka pengujian yang akan dilakukan adalah *Kolmogorov – Smirnov Test*. Hipotesa yang digunakan adalah sebagai berikut :

H_0 = Data interval waktu antar kerusakan berdistribusi lognormal

H_1 = Data interval waktu antar kerusakan tidak berdistribusi lognormal

Tabel 4.27 Perhitungan *Goodness of Fit* untuk Distribusi Lognormal

No	t_i (menit)	$(t_i - t)^2$	$Z_i =$ $(t_i - t)/s$	$\Phi(Z_i)$	$(i-1)/n$	D_1	D_2
1	60	918.09	-1.1696837	0.12302	0	0.12302	-0.05159
2	60	918.09	-1.1696837	0.12302	0.0625	0.06052	0.019837
3	60	918.09	-1.1696837	0.12302	0.125	-0.00198	0.091266
4	60	918.09	-1.1696837	0.12302	0.1875	-0.06448	0.162694
5	75	234.09	-0.5906323	0.2776	0.25	0.0276	0.079543
6	75	234.09	-0.5906323	0.2776	0.3125	-0.0349	0.150971
7	90	0.09	-0.011581	0.49601	0.375	0.12101	0.00399
8	90	0.09	-0.011581	0.49601	0.4375	0.05851	0.075419
9	90	0.09	-0.011581	0.49601	0.5	-0.00399	0.146847
10	90	0.09	-0.011581	0.49601	0.5625	-0.06649	0.218276
11	90	0.09	-0.011581	0.49601	0.625	-0.12899	0.289704
12	105	216.09	0.56747029	0.71226	0.6875	0.02476	0.144883
13	109.8	380.25	0.75276671	0.77337	0.75	0.02337	0.155201
14	120	882.09	1.14652161	0.87286	0.8125	0.06036	0.12714
15	120	882.09	1.14652161	0.87286	0.875	-0.00214	0.198569
16	150	3564.09	2.30462425	0.98928	0.9375	0.05178	0.153577
Jumlah	1444.8	10065.6					
Rata-rata	90.3						
s ²		671.04					
S		25.90443977					

$$\text{Max } D_1 = 0,12302$$

$$\text{Max } D_2 = 0,2897$$

$$D_n = \max\{D_1, D_2\}$$

$$D_{16} = \max\{0,12302, 0,2897\}$$

$$D_{16} = 0,2897$$

$$\text{Kolmogorov-Smirnov Test} = 0,213$$

$$\text{Sample size} = 16$$

Sehingga, $D_{16} = 0,2897 > D_{crit,0.05} = 0,213$; H_0 ditolak yang artinya interval waktu antar kerusakan komponen kampas rem tidak berdistribusi lognormal. Karena H_0 ditolak, maka dilakukan pengujian pada distribusi tertinggi kedua setelah distribusi lognormal, yaitu distribusi eksponensial.

Distribusi yang akan diuji pada interval waktu antar kerusakan pada komponen kritis adalah distribusi eksponensial, maka pengujian yang akan dilakukan adalah *Bartlett test*. Hipotesa yang digunakan adalah sebagai berikut :

H_0 = Data interval waktu antar kerusakan berdistribusi eksponensial

H_1 = Data interval waktu antar kerusakan tidak berdistribusi eksponensial

Tabel 4.28 Perhitungan *Goodness of Fit* untuk Distribusi Eksponensial

No	ti	ln ti
1	60	4.094344562
2	60	4.094344562
3	60	4.094344562
4	60	4.094344562
5	75	4.317488114
6	75	4.317488114
7	90	4.49980967
8	90	4.49980967
9	90	4.49980967
10	90	4.49980967
11	90	4.49980967
12	105	4.65396035
13	109.8	4.698660529
14	120	4.787491743
15	120	4.787491743
16	150	5.010635294
Jumlah	1444.8	71.44964249
Rata-rata	90.3	

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

$$= \frac{2(16)[\ln(\frac{90,3}{16}) - \frac{71,4496}{15}]}{1+(16+1)/[6(16)]}$$

$$= 1,02041$$

$$B = 1,02041$$

$$Chi-square Test = 25,0$$

$$Sample Size = 16$$

Sehingga, $B = 1,02041 < X_{0,05,16} = 25,0$; H_0 diterima yang artinya interval waktu antar kerusakan komponen kampas rem berdistribusi eksponensial. Distribusi eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat.

4.2.7.2. Uji Kecocokan Distribusi (*Goodness of Fit*) Interval Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perawatan pada Komponen Sliwer

1. Uji Kecocokan Distribusi (*Goodness of Fit*) Interval Waktu Antar Kerusakan
Distribusi yang akan diuji pada interval waktu antar kerusakan pada komponen kritis adalah distribusi Lognormal, maka pengujian yang akan dilakukan adalah *Kolmogorov – Smirnov Test*. Hipotesa yang digunakan adalah sebagai berikut :
 H_0 = Data interval waktu antar kerusakan berdistribusi lognormal
 H_1 = Data interval waktu antar kerusakan tidak berdistribusi lognormal

Tabel 4.29 Perhitungan *Goodness of Fit* untuk Distribusi Eksponensial

No.	ti (menit)	ln ti
1	1440	7.2724
2	1440	7.2724
3	2880	7.96555
4	5760	8.65869
5	10080	9.21831
6	11520	9.35184
7	12960	9.46962
8	14400	9.57498

No.	ti (menit)	ln ti
9	20160	9.91146
10	21600	9.98045
11	23040	10.045
12	25920	10.1628
13	28800	10.2681
14	31680	10.3634
15	33120	10.4079
16	36000	10.4913
17	36000	10.4913
18	44640	10.7064
19	66240	11.101
20	87840	11.3833
Jumlah	515520	194.096
Rata-rata	25776	

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

$$= \frac{2(20)[\ln(\frac{515520}{20}) - \frac{194,096162}{20}]}{1+(20+1)/[6(20)]}$$

$$= 15,3642$$

$$B = 15,3642$$

$$Chi-square Test = 30,1$$

$$Sample Size = 20$$

Sehingga, $B = 15,3642 < X_{0.05,20} = 30,1$; H_0 diterima yang artinya interval waktu antar kerusakan komponen sliwer berdistribusi eksponensial. Distribusi eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat.

2. Uji Kecocokan Distribusi (*Goodness of Fit*) Interval Waktu Perbaikan

Distribusi yang akan diuji pada interval waktu perbaikan pada komponen sliwer adalah distribusi Lognormal, maka pengujian yang akan dilakukan adalah *Kolmogorov – Smirnov Test*. Hipotesa yang digunakan adalah sebagai berikut :

H_0 = Data interval waktu antar kerusakan berdistribusi lognormal

H_1 = Data interval waktu antar kerusakan tidak berdistribusi lognormal

Tabel 4.30 Perhitungan *Goodness of Fit* untuk Distribusi Lognormal

No	t_i (Menit)	$(t_i - \bar{t})^2$	$(t_i - \bar{t})/s$	Tabel	$(i-1)/n$	D1	D2
1	30	303.755102	-0.9733521	0.16602	0	0.16602	-0.118401
2	30	303.755102	-0.9733521	0.16602	0.04762	0.118401	-0.070782
3	30	303.755102	-0.9733521	0.16602	0.09524	0.070782	-0.023163
4	30	303.755102	-0.9733521	0.16602	0.14286	0.023163	0.024456
5	30	303.755102	-0.9733521	0.16602	0.19048	-0.02446	0.072075
6	34.8	159.4808163	-0.7052814	0.24196	0.2381	0.003865	0.043754
7	36	130.6122449	-0.6382637	0.26435	0.28571	-0.02136	0.068983
8	40.2	52.2522449	-0.4037018	0.34458	0.33333	0.011247	0.036372
9	45	5.897959184	-0.135631	0.55172	0.38095	0.170768	-0.123149
10	45	5.897959184	-0.135631	0.55172	0.42857	0.123149	-0.07553
11	45	5.897959184	-0.135631	0.55172	0.47619	0.07553	-0.02791
12	45	5.897959184	-0.135631	0.55172	0.52381	0.02791	0.019709
13	45	5.897959184	-0.135631	0.55172	0.57143	-0.01971	0.067328
14	60	158.0408163	0.70209004	0.75804	0.61905	0.138992	-0.091373
15	60	158.0408163	0.70209004	0.75804	0.66667	0.091373	-0.043754
16	60	158.0408163	0.70209004	0.75804	0.71429	0.043754	0.003865
17	60	158.0408163	0.70209004	0.75804	0.7619	-0.00386	0.051484
18	60	158.0408163	0.70209004	0.75804	0.80952	-0.05148	0.099103
19	60	158.0408163	0.70209004	0.75804	0.85714	-0.0991	0.146722
20	60	158.0408163	0.70209004	0.75804	0.90476	-0.14672	0.194341
21	90	1812.326531	2.37753217	0.99111	0.95238	0.038729	0.00889
Jumlah	996	4809.222857					
Rata-rata	47.429						

$$\text{Max } D_1 = 0,1707676$$

$$\text{Max } D_2 = 0,194341$$

$$D_n = \max\{D_1, D_2\}$$

$$D_{16} = \max\{0,1707676, 0,194341\}$$

$$D_{16} = 0,194341$$

$$\text{Kolmogorov-Smirnov Test} = 0,1881$$

$$\text{Sample size} = 21$$

Sehingga, $D_{21} = 0,194341 > D_{crit,0,05} = 0,1881$; H_0 ditolak yang artinya interval waktu antar kerusakan komponen sliwer tidak berdistribusi lognormal. Karena H_0 ditolak, maka dilakukan pengujian pada distribusi tertinggi kedua setelah distribusi lognormal, yaitu distribusi eksponensial.

Distribusi yang akan diuji pada interval waktu antar kerusakan pada komponen sliwer adalah distribusi eksponensial, maka pengujian yang akan dilakukan adalah *Bartlett test*. Hipotesa yang digunakan adalah sebagai berikut :

H_0 = Data interval waktu antar kerusakan berdistribusi eksponensial

H_1 = Data interval waktu antar kerusakan tidak berdistribusi eksponensial

Tabel 4.31 Perhitungan *Goodness of Fit* untuk Distribusi Eksponensial

No.	Ti (menit)	ln ti
1	30	3.401197382
2	30	3.401197382
3	30	3.401197382
4	30	3.401197382
5	30	3.401197382
6	34.8	3.549617387
7	36	3.583518938
8	40.2	3.693866996
9	45	3.80666249
10	45	3.80666249
11	45	3.80666249
12	45	3.80666249
13	45	3.80666249
14	60	4.094344562
15	60	4.094344562
16	60	4.094344562
17	60	4.094344562
18	60	4.094344562
19	60	4.094344562
20	60	4.094344562
21	90	4.49980967
Jumlah	666	59.14933636
Rata-rata	41.625	

$$B = \frac{2r[\ln((\frac{1}{n}) \sum_{i=1}^r ti) - (\frac{1}{r}) \sum_{i=1}^r lnti]}{1+(r+1)/(6r)}$$

$$= \frac{2(21)[\ln(\frac{966}{21}) - \frac{59,1494}{21}]}{1+(21+1)/[6(21)]}$$

$$= 22,8408$$

$$B = 22,8408$$

$$Chi-square Test = 31,4$$

$$Sample Size = 21$$

Sehingga, $B = 22,8408 < X_{0.05,21} = 31,4$; H_0 diterima yang artinya interval waktu antar kerusakan komponen sliwer berdistribusi eksponensial. Distribusi eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat.

4.2.8. Perhitungan Nilai Rata - rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Nilai Rata – rata Waktu Perbaikan (MTTR)

4.2.8.1. Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) Data Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan Komponen Kampas Rem

1. Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) Data Waktu Antar Kerusakan

Tabel 4.32 Perhitungan MTTF untuk distribusi Eksponensial

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi	xi2	yi2	xi.yi
1	4320	0.7	15.4	0.04546	0.04652	18662400	0.00216	200.966
2	5760	1.7	15.4	0.11039	0.11697	33177600	0.01368	673.757
3	7200	2.7	15.4	0.17533	0.19277	51840000	0.03716	1387.91
4	10080	3.7	15.4	0.24026	0.27478	101606400	0.0755	2769.77
5	14400	4.7	15.4	0.3052	0.36412	207360000	0.13259	5243.38
6	15840	5.7	15.4	0.37013	0.46224	250905600	0.21367	7321.91
7	18720	6.7	15.4	0.43507	0.57104	350438400	0.32609	10690
8	20160	7.7	15.4	0.5	0.69315	406425600	0.48045	13973.8
9	21600	8.7	15.4	0.56494	0.83226	466560000	0.69266	17976.8
10	24480	9.7	15.4	0.62987	0.9939	599270400	0.98784	24330.7
11	27360	10.7	15.4	0.69481	1.18681	748569600	1.40851	32471
12	41760	11.7	15.4	0.75974	1.42603	1.744E+09	2.03358	59551.2

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi	xi ²	yi ²	xi.yi
13	50400	12.7	15.4	0.82468	1.74112	2.54E+09	3.03148	87752.2
14	72000	13.7	15.4	0.88961	2.20374	5.184E+09	4.85647	158669
15	77760	14.7	15.4	0.95455	3.09104	6.047E+09	9.55454	240359
Total	411840				14.1965	1.875E+10	23.8464	663372

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

$$= \frac{663.372,128}{18.749.491.200}$$

$$= 3,5380 \times 10^5$$

$$\text{Estimasi MTTF} = 1/b$$

$$= 1/3,5380 \times 10^5$$

$$= 28263,91162 \text{ menit}$$

$$= 471,0652 \text{ jam}$$

$$= 19,62772 \approx 20 \text{ hari}$$

2. Perhitungan *Mean Time To Repair* (MTTR) Data Waktu Perbaikan

Tabel 4.33 Perhitungan MTTR untuk distribusi Eksponensial

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi	xi ²	yi ²	xi.yi
1	60	0.7	16.4	0.04268	0.04362	3600	0.0019	2.61724
2	60	1.7	16.4	0.10366	0.10943	3600	0.01198	6.56603
3	60	2.7	16.4	0.16463	0.17989	3600	0.03236	10.7931
4	60	3.7	16.4	0.22561	0.25568	3600	0.06537	15.3408
5	75	4.7	16.4	0.28659	0.33769	5625	0.11404	25.3269
6	75	5.7	16.4	0.34756	0.42704	5625	0.18236	32.0278
7	90	6.7	16.4	0.40854	0.52516	8100	0.27579	47.264
8	90	7.7	16.4	0.46951	0.63396	8100	0.4019	57.0563
9	90	8.7	16.4	0.53049	0.75606	8100	0.57163	68.0455
10	90	9.7	16.4	0.59146	0.89517	8100	0.80134	80.5656
11	90	10.7	16.4	0.65244	1.05682	8100	1.11686	95.1134
12	105	11.7	16.4	0.71342	1.24972	11025	1.5618	131.221
13	109.8	12.7	16.4	0.77439	1.48895	12056.04	2.21697	163.487
14	120	13.7	16.4	0.83537	1.80403	14400	3.25452	216.484
15	120	14.7	16.4	0.89634	2.26665	14400	5.13772	271.998
16	150	15.7	16.4	0.95732	3.15396	22500	9.94744	473.093

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi	xi ²	yi ²	xi.yi
Jumlah	1444.8			8	15.1838	140531.04	25.694	1697

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

$$= \frac{1696,999}{140.531,04}$$

$$= 0.0120756$$

$$\text{Estimasi MTTR} = 1/b$$

$$= 1/0,0120756$$

$$= 82,811503 \approx 83 \text{ menit}$$

4.2.8.2. Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) Data Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan Komponen Sliwer

1. Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) Data Waktu Antar Kerusakan

Tabel 4.34 Perhitungan MTTF untuk distribusi Eksponensial

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi	xi ²	yi ²	xi.yi
1	1440	0,7	20,4	0,034314	0,0349163	2073600	0,001219	502,794,218
2	1440	1,7	20,4	0,083333	0,0870114	2073600	0,007571	125,296,383
3	2880	2,7	20,4	0,132353	0,1419703	8294400	0,020156	408,874,352
4	5760	3,7	20,4	0,181373	0,2001262	33177600	0,04005	115,272,681
5	10080	4,7	20,4	0,230392	0,2618742	101606400	0,068578	263,969,182
6	11520	5,7	20,4	0,279412	0,3276874	132710400	0,107379	377,495,893
7	12960	6,7	20,4	0,328431	0,3981391	167961600	0,158515	515,988,232
8	14400	7,7	20,4	0,377451	0,4739329	207360000	0,224612	682,463,387
9	20160	8,7	20,4	0,426471	0,5559461	406425600	0,309076	112,078,726
10	21600	9,7	20,4	0,47549	0,6452912	466560000	0,416401	13,938,289
11	23040	10,7	20,4	0,52451	0,743409	530841600	0,552657	171,281,437
12	25920	11,7	20,4	0,573529	0,8522119	671846400	0,726265	220,893,318
13	28800	12,7	20,4	0,622549	0,9743146	829440000	0,949289	280,602,597
14	31680	13,7	20,4	0,671569	11,134,274	1003622400	1,239,721	352,733,792
15	33120	14,7	20,4	0,720588	12,750,687	1096934400	16,258	422,302,762
16	36000	15,7	20,4	0,769608	14,679,724	1296000000	2,154,943	528,470,061
17	36000	16,7	20,4	0,818627	17,072,021	1296000000	2,914,539	614,592,749
18	44640	17,7	20,4	0,867647	20,222,831	1992729600	4,089,629	902,747,188

No.	ti = xi (menit)	i- 0.3	n+0.4	F(ti)	Yi	xi ²	yi ²	xi.yi
19	66240	18,7	20,4	0,916667	24,849,066	4387737600	6,174,761	164,600,216
20	87840	19,7	20,4	0,965686	33,722,098	7715865600	113,718	296,214,913
Total	515520				19,139,901	22349260800	3,315,296	855,460,025

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

$$= \frac{663.372,128}{18.749.491.200}$$

$$= 3,827 \times 10^5$$

$$\begin{aligned} \text{Estimasi MTTF} &= 1/b \\ &= 1/3,827 \times 10^5 \\ &= 26125,4297 \text{ menit} \\ &= 435,423 \text{ jam} \\ &= 18,1426 \approx 18 \text{ hari} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Mean Time To Failure (MTTF) Data Waktu Antar Kerusakan

Tabel 4.35 Perhitungan MTTF untuk distribusi Eksponensial

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi	xi ²	yi ²	xi.yi
1	30	0,7	21,4	0,03271	0,033257	900	0,00111	0,997717
2	30	1,7	21,4	0,079439	0,082772	900	0,00685	2,483,169
3	30	2,7	21,4	0,126168	0,134867	900	0,01819	4,046,022
4	30	3,7	21,4	0,172897	0,189826	900	0,03603	5,694,788
5	30	4,7	21,4	0,219626	0,247982	900	0,0615	7,439,466
6	34,8	5,7	21,4	0,266355	0,30973	1211,04	0,09593	1,077,861
7	36	6,7	21,4	0,313084	0,375543	1296	0,14103	1,351,956
8	40,2	7,7	21,4	0,359813	0,445995	1616,04	0,19891	17,929
9	45	8,7	21,4	0,406542	0,521789	2025	0,27226	234,805
10	45	9,7	21,4	0,453271	0,603802	2025	0,36458	2,717,109
11	45	10,7	21,4	0,5	0,693147	2025	0,48045	3,119,162
12	45	11,7	21,4	0,546729	0,791265	2025	0,6261	3,560,693
13	45	12,7	21,4	0,593458	0,900068	2025	0,81012	4,050,306
14	60	13,7	21,4	0,640187	1,022,171	3600	104,483	6,133,024
15	60	14,7	21,4	0,686916	1,161,283	3600	134,858	69,677
16	60	15,7	21,4	0,733645	1,322,925	3600	175,013	7,937,548
17	60	16,7	21,4	0,780374	1,515,828	3600	229,774	909,497

No.	ti = xi (menit)	i-0.3	n+0.4	F(ti)	Yi	xi ²	yi ²	xi.yi
18	60	17,7	21,4	0,827103	1,755,058	3600	308,023	1,053,035
19	60	18,7	21,4	0,873832	2,070,139	3600	428,548	1,242,083
20	60	19,7	21,4	0,920561	2,532,763	3600	641,489	1,519,658
21	90	20,7	21,4	0,96729	3,420,066	8100	116,969	3,078,059
Jumlah	996			10,5	2,013,028	52048,08	350,318	1,211,457

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

$$= \frac{1696,999}{140.531,04}$$

$$= 0.0120756$$

$$\begin{aligned}\text{Estimasi MTTR} &= 1/b \\ &= 1/0,0232757 \\ &= 42,963919 \approx 43 \text{ menit}\end{aligned}$$

4.2.9. Interval Waktu Pemeriksaan

1. Interval Waktu Pemeriksaan Komponen Kampas Rem

Waktu kerja produktif selama periode dari Januari – Desember 2015

= 12 bulan = 365 hari

Total jam kerja produktif selama Januari – Desember 2015 adalah

= waktu operasi bus dalam sehari = 9 jam = 540 menit

= 540 x 365 = 197.100 menit

Rata – rata jam kerja produktif 1 bulan = $\frac{197.100}{12} = 16.425$ menit

a. Rata – rata kerusakan (k) tiap bulan:

Jumlah kerusakan periode Januari – Desember 2015 = 16 kerusakan

Rata – rata jumlah kerusakan tiap bulannya = $\frac{16}{12} = 1,3 \approx 1$ kerusakan

b. Rasio jam kerja sebulan terhadap rata – rata waktu perbaikan (μ) adalah

MTTR = 82,811503

Rata – rata jam kerja perbulan = 16.200 menit

$$\mu = \frac{\text{jam kerja perbulan}}{\text{MTTR}} = \frac{16.200}{82,811503} = 195,625$$

c. Jam kerja sebulan terhadap waktu pemeriksaan (1/i)

waktu rata – rata untuk melakukan pemeriksaan komponen berdasarkan wawancara dengan pihak perusahaan = 60 menit

$$\text{rata – rata waktu pemeriksaan} = \frac{60}{16.200} = 0,003703$$

$$i = \frac{1}{0,003703} = 270 \text{ menit}$$

Frekuensi pemeriksaan optimal tiap bulan

$$n = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} = \sqrt{\frac{1 \times 270}{195,625}} = 1,175 \approx 1 \text{ kali perbulan}$$

$$\begin{aligned} \text{Interval waktu antar pemeriksaan} &= \frac{1}{n} \times \text{jam kerja produktif perbulan} \\ &= \frac{1}{1} \times 16.200 = 16.200 \text{ menit} \end{aligned}$$

Maka pemeriksaan dilakukan setiap 1 kali perbulan setiap 16.200 menit setelah pemeriksaan terakhir

2. Interval Waktu Pemeriksaan Komponen Kampas Rem

Waktu kerja produktif selama periode dari Januari – Desember 2015

= 12 bulan = 365 hari

Total jam kerja produktif selama Januari – Desember 2015 adalah

= waktu operasi bus dalam sehari = 9 jam = 540 menit

= 540 x 365 = 197.100 menit

$$\text{Rata – rata jam kerja produktif 1 bulan} = \frac{197.100}{12} = 16.425 \text{ menit}$$

a. Rata – rata kerusakan (k) tiap bulan:

Jumlah kerusakan periode Januari – Desember 2015 = 21 kerusakan

$$\text{Rata – rata jumlah kerusakan tiap bulannya} = \frac{21}{12} = 1,75 \approx 2 \text{ kerusakan}$$

b. Rasio jam kerja sebulan terhadap rata – rata waktu perbaikan (μ) adalah

MTTR = 42,9631 menit

Rata – rata jam kerja perbulan = 16.200 menit

$$\mu = \frac{\text{jam kerja perbulan}}{\text{MTTR}} = \frac{16.200}{42,9631} = 377,067$$

c. Jam kerja sebulan terhadap waktu pemeriksaan ($1/i$)

Waktu rata – rata untuk melakukan pemeriksaan komponen berdasarkan wawancara dengan pihak perusahaan = 30 menit

$$\text{Rata – rata waktu pemeriksaan} = \frac{30}{16.200} = 0,001851$$

$$i = \frac{1}{0,001852} = 540 \text{ menit}$$

Frekuensi pemeriksaan optimal tiap bulan

$$n = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} = \sqrt{\frac{2 \times 540}{377,067}} = 1,175 \approx 1 \text{ kali perbulan}$$

$$\text{Interval waktu antar pemeriksaan} = \frac{1}{n} \times \text{jam kerja produktif perbulan}$$

$$= \frac{1}{2} \times 16.200 = 8.100 \text{ menit}$$

Maka pemeriksaan dilakukan setiap 1 kali perbulan setiap 8.100 menit setelah pemeriksaan terakhir

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Analisis Hasil

Dalam bab ini, dilakukan analisa terhadap hasil perhitungan *preventive maintenance* yang telah melalui tahap – tahap perhitungan pada bab sebelumnya. Penentuan mesin kritis dipilih dengan menghitung total *downtime* dan frekuensi kerusakan dari masing – masing mesin (dalam hal ini bus) dan menjadi kriteria untuk penentuan mesin kritis adalah bus yang memiliki total *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan terbanyak. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan data *downtime*. Berdasarkan data dari armada bus JOGLOSEMAR yang diambil pada Bulan Januari hingga Desember 2015, bus dengan total *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan paling tinggi adalah bus dengan nomer polisi AB 7778 JN. Bus dengan nopol AB 7778 JN ini memiliki total *downtime* sebesar 180,807 jam dengan frekuensi kerusakan 184 kali.

5.2. Analisis Penentuan Komponen Kritis

Setelah dipilih satu bus dengan nomor polisi AB 7778 JN yang dianggap sebagai bus dengan mesin paling kritis, maka tahap selanjutnya adalah menentukan komponen kritis. Cara menentukan komponen kritis sama dengan cara menentukan mesin kritis yaitu dilihat berdasarkan total *downtime* terbesar dan frekuensi kerusakan paling banyak. Penentuan komponen kritis didasarkan pada banyaknya jumlah kerusakan dan besar waktu *downtime* bus dengan nopol AB 7778 JN yang diakibatkan oleh komponen tersebut. Seluruh total *downtime* setiap komponen dari bus AB 7778 JN sebagai mesin kritis di hitung persentase *downtime*-nya. Komponen kritis yang terpilih adalah yang memiliki total *downtime* terbesar yaitu komponen kampas rem dan sliwer. Berdasarkan data – data yang telah diolah, yang dianggap sebagai mesin kritis pada bus dengan nopol AB 7778 JN adalah kampas rem dengan *downtime* sebesar 24,08 jam atau

14,55% dan frekuensi kerusakannya adalah 16 kali dan komponen sliwer dengan downtime sebesar 17,6% dan frekuensi kerusakan 21 selama periode penelitian yaitu 12 bulan.

5.3. Analisis Distribusi Kerusakan

Setelah komponen kritis ditentukan, langkah selanjutnya adalah mencari distribusi yang sesuai. Sebelum menentukan distribusi yang sesuai, tentukan dahulu interval waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan. Perhitungan interval waktu antar kerusakan untuk kampas rem, dilakukan dengan menghitung selang waktu antar kerusakan dari saat kerusakan itu selesai diperbaiki hingga terjadi kerusakan berikutnya (ti). Sedangkan untuk perhitungan waktu perbaikan diperoleh dari menghitung lamanya waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan komponen yang rusak, dimulai dari berhentinya bus karena kerusakan yang terjadi hingga kerusakan tersebut selesai diperbaiki.

Untuk mengetahui distribusi yang paling sesuai dengan data interval waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan perlu dilakukan identifikasi jenis distribusi. Dalam penelitian ini, digunakan empat macam distribusi yaitu distribusi weibull, eksponensial, normal dan lognormal. Dari perhitungan ini diperoleh nilai *index of fit* (r) untuk setiap distribusi tersebut. Dimana *index of fit* merupakan gambaran untuk menunjukkan hubungan antara penyebaran data dan distribusinya.

Hasil dari perhitungan *index of fit* dari setiap distribusi untuk data interval waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan adalah sebagai berikut:

Tabel 5.1 Nilai *index of fit* (r) Masing – masing Distribusi untuj Data Interval Waktu Antar Kerusakan

Distribusi	Nilai r (Kampas Rem)	Terpilih	Distribusi	Nilai r (Sliwer)	Terpilih
Weibull	0.9794	Lognormal	Weibull	0,9806	Ekponensial
Eksponensial	0.9829		Eksponensial	0,9876	
Normal	0.9204		Normal	0,9332	
Lognormal	0.9910		Lognormal	0,9541	

Tabel 5.2 Nilai *index of fit* (r) Masing – masing Distribusi untuk Data Waktu Perbaikan

Distribusi	Nilai r (Kampas Rem)	Terpilih	Distribusi	Nilai r (Sliwer)	Terpilih
Weibull	0.9794	Lognormal	Weibull	0,9180	Lognormal
Eksponensial	0.9829		Eksponensial	0,9331	
Normal	0.9204		Normal	0,9168	
Lognormal	0.9910		Lognormal	0,9425	

5.4. Analisis Uji Kecocokan Distribusi

Setelah mendapatkan distribusi yang mewakili data komponen untuk interval waktu antar kerusakan maupun perbaikan dengan melihat nilai *index of fit* terbesar dari masing – masing distribusi untuk data interval waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian kecocokan distribusi atau *Goodness of Fit* untuk mengetahui dan memastikan apakah distribusi yang telah didapatkan untuk mengetahui penyebaran data telah benar.

Uji – uji yang dilakukan adalah uji – uji khusus sesuai distribusi yang diduga. Untuk data interval waktu antar kerusakan berdasarkan nilai *index of fit* terbesar adalah berdistribusi lognormal, maka uji yang dilakukan adalah Uji Kolmogorov-Smirnov (*Kolmogorov – Smirnov Test*). Pada waktu interval antar kerusakan didapatkan nilai $D_{15} = 0,2333$ dan $D_{crit,0.05} = 0.22$ Sehingga, $D_{15} > D_{crit,0.05}$ yang berarti H_0 ditolak atau yang artinya waktu antar kerusakan tidak berdistribusi secara lognormal. Maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji distribusi untuk waktu antar kerusakan berdasarkan nilai *index of fit* terbesar kedua setelah distribusi lognormal, yaitu distribusi ekponensial. Uji yang dilakukan adalah uji Bartlett (*Bartlett Test*). Pada waktu interval antar kerusakan didapatkan nilai $B = 8,431181$ dan nilai tabel $X_{0.05,14} = 23,7$ Sehingga, $B < X_{0.05,14}$ yang berarti H_0 diterima yang berarti waktu antar kerusakan berdistribusi secara eksponensial.

Untuk komponen sliwer, berdasarkan nilai *index of fit* terbesar yaitu distribusi ekponensial, uji yang dilakukan adalah uji Bartlett (*Bartlett Test*). Pada waktu interval antar kerusakan didapatkan nilai $B = 15,36422$ dan nilai tabel $X_{0.05,20} = 30,1$ Sehingga,

$B < X_{0.05,14}$ yang berarti H_0 diterima yang berarti waktu antar kerusakan berdistribusi secara eksponensial.

Hal yang sama juga dilakukan pada waktu perbaikan, berdasarkan nilai *index of fit* terbesar adalah distribusi lognormal. Maka uji yang dilakukan adalah Uji Kolmogorov-Smirnov (*Kolmogorov – Smirnov Test*), dimana nilai $D_{16} = 0,2897$ dan $D_{crit,0.05} = 0.213$ Sehingga, $D_{16} > D_{crit,0.05}$ yang berarti H_0 ditolak yang artinya waktu antar kerusakan tidak berdistribusi secara lognormal. Kemudian pengujian diteruskan untuk nilai *index of fit* terbesar kedua, yaitu distribusi eksponensial. Uji yang dilakukan adalah uji Bartlett (*Bartlett Test*). Pada waktu interval antar kerusakan didapatkan nilai $B = 1,02041$ dan nilai tabel $X_{0.05,15} = 25,0$ Sehingga, $B < X_{0.05,15}$ yang berarti H_0 diterima yang berarti waktu antar kerusakan berdistribusi secara eksponensial.

Pada komponen sliwer, nilai *index of fit* terbesar adalah distribusi lognormal, dimana nilai $D_{21} = 0,19434$ dan $D_{crit,0.05} = 0,1881$ Sehingga, $D_{21} > D_{crit,0.05}$ yang berarti H_0 ditolak yang artinya waktu antar kerusakan tidak berdistribusi secara lognormal. Kemudian pengujian diteruskan untuk nilai *index of fit* terbesar kedua, yaitu distribusi eksponensial, didapatkan nilai $B = 22,8408$ dan nilai tabel $X_{0.05,21} = 31,4$ Sehingga, $B < X_{0.05,21}$ yang berarti H_0 diterima yang berarti waktu antar kerusakan berdistribusi secara eksponensial.

5.5. Analisis Perhitungan Nilai Rata – rata Interval Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Rata – rata Waktu Perbaikan

Setelah didapatkan distribusi terpilih dari hasil pengujian kecocokan distribusi, maka perhitungan selanjutnya adalah dengan menentukan nilai rata – rata interval waktu antar kerusakan (MTTF) dan nilai rata – rata waktu perbaikan (MTTR).

Perhitungan MTTF dan MTTR didapatkan melalui perhitungan parameter – parameter dari data waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan distribusi terpilih, dan hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Kampas Rem

Untuk interval waktu kerusakan

- a. Distribusi yang terpilih = Distribusi Eksponensial
- b. $MTTF = 28263,91162$ menit

$$= 471,0652 \text{ jam}$$

$$= 19,62772 \approx 20 \text{ hari}$$

Untuk waktu perbaikan

- a. Distribusi yang terpilih = Distribusi Eksponensial
- b. MTTR = 82,811503 menit

2. Sliwer

Untuk interval waktu kerusakan

- a. Distribusi yang terpilih = Distribusi Eksponensial
- b. MTTF = 26125,4297 menit
= 435,423 jam
= 18,1426 $\approx$ 18 hari

Untuk waktu perbaikan

- a. Distribusi yang terpilih = Distribusi Eksponensial
- b. MTTR = 42,693191 menit

5.6. Analisa Interval Waktu Perawatan Pencegahan

Setelah mengetahui distribusi yang sesuai untuk data waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan serta nilai MTTF dan MTTR, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan *downtime*, dan hasil yang didapat adalah sebagai berikut:

- a. *Mean Time To Failure* (MTTF) untuk kampas rem sebesar 28263,91162 menit
= 471,0652 jam = 19,62772 $\approx$ 20 hari. Artinya komponen kampas rem sudah harus dilakukan penggantian setelah maksimal 20 hari bus beroperasi. Dan untuk sliwer adalah 26125,4297 menit 435,423 jam = 18,1426 $\approx$ 18 hari. Jadi penggantian komponen kampas rem dan sliwer masing- masing dilakukan kira – kira setiap 20 hari dan 18 hari dihitung dari waktu komponen pertama diganti.

- a. *Mean Time To Repair* (MTTR) kampas rem sebesar 82,811503 menit atau 1,3802 jam yang artinya perbaikan yang optimal dilakukan maksimal selama 82,811503 menit atau 1,3802 jam setiap kali komponen diganti. Dan untuk sliwer 42,693191 menit. MTTR menunjukkan waktu rata – rata untuk melakukan perbaikan komponen kampas rem dan sliwer.

5.7. Analisis Penentuan Frekuensi dan Interval Waktu Pemeriksaan

Dari pengolahan data yang telah dilakukan, diperoleh frekuensi dan interval waktu pemeriksaan berdasarkan waktu beroperasinya bus. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Kampas Rem

Frekuensi Pemeriksaan = 1 kali pemeriksaan perbulan

Interval pemeriksaan = 16.200 menit = 270 jam

2. Sliwer

Frekuensi Pemeriksaan = 2 kali pemeriksaan perbulan

Interval pemeriksaan = 8.100 menit = 135 jam

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari beberapa armada bus di JOGLOSARMAR, bus dengan nopol AB 7778 JN memiliki total *downtime* tertinggi yaitu 180,807 jam dengan persentase *downtime* 53% dan frekuensi kerusakan paling tinggi yaitu sebanyak 184 kali. Sehingga bus dengan nopol AB 7778 JN dikatakan sebagai mesin yang kritis atau sering mengalami kerusakan. Dan komponen kampas rem dikatakan sebagai komponen paling kritis atau yang paling sering mengalami kerusakan. Memiliki total *downtime* sebesar 24,08 jam dan frekuensi kerusakan sebanyak 16 kali pada periode penelitian yaitu pada Bulan Januari hingga Desember 2015.
2. Jadwal waktu penggantian perawatan pencegahan atau perawatan preventif yang optimal pada komponen kampas rem adalah 20 hari sejak bus beroperasi setelah komponen diganti. Dan untuk perawatan preventif untuk komponen sliwer adalah 18 hari sejak bus beroperasi setelah komponen diganti. Jadi, dalam satu bulan masing-masing dilakukan pergantian komponen adalah 1 kali. Dan waktu perbaikan yang optimal pada komponen kampas rem dan sliwer adalah masing-masing perbaikan dilakukan selama 82,811 menit dan 42,693 menit.
3. Interval dan frekuensi pemeriksaan tiap bulan pada komponen yaitu kampas rem yaitu dilakukan pemeriksaan 1 kali dalam sebulan dengan interval waktu pergantian adalah 30 hari (dihitung berdasarkan jam kerja bus dalam sehari)

dan untuk komponen sliwer dilakukan pemeriksaan setiap 2 kali dalam sebulan dengan interval waktu pergantian adalah 15 hari (dihitung berdasarkan jam kerja bus dalam sehari)

6.2. Saran

Saran – saran yang dapat diberikan kepada pihak perusahaan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan sebaiknya lebih memperhatikan keadaan mesin maupun komponen – komponen bus, salah satunya dengan pembuatan jadwal perawatan yang lebih terstruktur sehingga bisa meminimalisir kerusakan mesin bus atau komponen bus.
2. Sebaiknya kegiatan perawatan komponen dan penggantian komponen bus dilakukan sesuai dengan jadwal waktu perawatan dan penggantian yang telah diusulkan. Hal ini dimaksudkan meminimalkan kerusakan yang terjadi sehingga bus dapat beroperasi dengan lebih baik dan produktifitasya meningkat tanpa mengalami kerusakan secara tiba – tiba akibat tidak adanya penjadwalan perawatan dan penggantian komponen.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
LEMBAR KETERANGAN SELESAI PENELITIAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Pendahuluan.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II KAJIAN LITERATUR	6
2.1. Penelitian Terdahulu	6
2.2. Definisi Perawatan	7
2.2.1. Perawatan (<i>Maintenance</i>)	7
2.2.2. Tujuan Perawatan.....	10
2.2.3. Tugas dan Kegiatan Perawatan	10
2.3. Prosedur Pemeliharaan.....	12
2.4. Komponen Kritis.....	12
2.5. Kerusakan	13
2.6. Fungsi Laju Kerusakan	13
2.7. Konsep <i>Reliability</i> (Keandalan).....	14
2.8. Diagram Pareto	17
2.9. Distribusi Kegagalan.....	17
2.10. Identifikasi Distribusi Data	23

2.11. Uji Kecocokan Distribusi.....	24
2.12. <i>Mean Time To Failure</i>	26
2.13. <i>Mean Time To Repair</i>	27
2.14. Penentuan Frekuensi Pemeriksaan Optimal.....	28
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1. Objek Penelitian.....	29
3.2. Sumber Data.....	29
3.3. Pengumpulan Data	29
3.4. Pengolahan Data	30
3.5. <i>Flow Chart</i>	35
3.6. Deskripsi <i>Flow Chart</i>	36
3.6.1 Latar Belakang	36
3.6.2 Studi Pustaka.....	36
3.6.3 Identifikasi dan Perumusan Masalah	36
3.6.4 Pengumpulan Data	36
3.6.5 Penentuan Mesin Kritis dan Komponen Kritis	36
3.6.6 Menentukan Jenis Distribusi.....	36
3.6.7 Uji Kecocokan Distribusi.....	37
3.6.8 Perhitungan MTTF dan MTTR.....	37
3.6.9 Penentuan Interval Waktu Pemeriksaan	37
3.6.10 Pembahasan dan Analisis Data	37
3.6.11 Kesimpulan dan Saran	37
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	38
4.1. Pengumpulan Data	38
4.1.1. Data Umum Perusahaan.....	38
4.1.2. Sistem Perawatan Armada atau Mesin.....	42
4.1.3. Data pada Mesin atau Sistem	42
4.2. Pengolahan Data	42
4.2.1. Pengumpulan Data <i>Downtime</i> Armada Bus JOGLOSEMAR	42
4.2.2. Penentuan Mesin Kritis.....	43
4.2.3. Penentuan Komponen Kritis	44
4.2.4. Pengolahan Data Waktu Kerusakan Komponen Kritis.....	46
4.2.5. Perhitungan <i>Index of Fit</i> Interval Waktu Kerusakan	46
4.2.5.1 Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Distribusi Pada Komponen Kampas Rem.....	47
4.2.5.2 Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Tiap Distribusi Pada Sliwer 51	
4.2.6. Perhitungan <i>Index of Fit</i> Interval Waktu Perbaikan.....	55

4.2.6.1	Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Tiap Distribusi Pada Kampas Rem.....	56
4.2.6.2	Identifikasi Interval Waktu Perbaikan Tiap Distribusi Pada Sliwer 60	
4.2.7.	Uji Kecocokan Distribusi (<i>Goodness of Fit</i>)	64
4.2.7.1	Uji Kecocokan Distribusi (<i>Goodness of Fit</i>) Interval Waktu Antar Kerusakan Tiap Distribusi Pada Kampas Rem.....	64
4.2.7.2	Uji Kecocokan Distribusi (<i>Goodness of Fit</i>) Interval Waktu Antar Kerusakan Tiap Distribusi Pada Sliwer	69
4.2.8.	Perhitungan Nilai Rata - rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Nilai Rata – rata Waktu Perbaikan (MTTR)	73
4.2.8.1	Perhitungan Nilai rata – Rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Nilai Rata – Rata Waktu Perbaikan pada Kampas Rem.....	73
4.2.8.2	Perhitungan Nilai rata – Rata Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Nilai Rata – Rata Waktu Perbaikan pada Sliwer	75
4.2.9.	Interval Waktu Pemeriksaan	77
BAB V PEMBAHASAN		80
5.1.	Analisis Hasil	80
5.2.	Analisis Penentuan Komponen Kritis	80
5.3.	Analisis Distribusi Kerusakan.....	81
5.4.	Analisis Uji Kecocokan Distribusi.....	82
5.5.	Analisis Perhitunngan Nilai Rata – rata Interval Waktu Antar Kerusakan (MTTF) dan Rata – rata Waktu Perbaikan.....	83
5.6.	Analisa Interval Waktu Perawatan Pencegahan.....	84
5.7.	Analisis Penentuan Frekuensi dan Interval Waktu Pemeriksaan.....	85
BAB VI.....		86
KESIMPULAN DAN SARAN		86
6.1.	Kesimpulan	86
6.2.	Saran	87
DAFTAR PUSTAKA.....		88
LAMPIRAN.....		88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai – nilai Parameter β	18
Tabel 4.1 Data Downtime pada Armada Bus	42
Tabel 4.2 Perbandingan dan Persentase <i>Downtime</i> Armada Bus di JOGLOSEMAR.	43
Tabel 4.3 Perbandingan dan Persentase <i>Downtime</i> Bus Dengan Nopol AB7778JN... ..	44
Tabel 4.4 Komponen Kampas Rem dan Sliwerpada Januari sampai Desember 2015	46
Tabel 4.5 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Weibull	47
Tabel 4.6 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Eksponensial	48
Tabel 4.7 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Normal	49
Tabel 4.8 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Lognormal	50
Tabel 4.9 Perbandingan Nilai <i>Index of Fit</i> Interval Waktu Antar Kerusakan Komponen Kampas Rem	51
Tabel 4.10 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Weibull	56
Tabel 4.11 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Eksponensial	57
Tabel 4.12 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Normal	58
Tabel 4.13 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Lognormal	58
Tabel 4.14 Perbandingan Nilai <i>Index of Fit</i> Interval Waktu Antar Kerusakan Komponen Sliwer	59
Tabel 4.15 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Weibull	47
Tabel 4.16 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Eksponensial	48
Tabel 4.17 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Normal	49
Tabel 4.18 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Lognormal	50
Tabel 4.19 Perbandingan Nilai <i>Index of Fit</i> Interval Waktu Perbaikan Komponen Kampas Rem	51
Tabel 4.20 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Weibull	56
Tabel 4.21 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Eksponensial	57
Tabel 4.22 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Normal	58
Tabel 4.23 Perhitungan <i>Index of Fit</i> dengan Distribusi Lognormal	58
Tabel 4.24 Perbandingan Nilai <i>Index of Fit</i> Interval Waktu Perbaikan Komponen Sliwer	59
Tabel 4.25 Perhitungan <i>Goodness of Fit</i> untuk Distribusi Lognormal	65
Tabel 4.26 Perhitungan <i>Goodness of Fit</i> untuk Distribusi Eksponensial	69
Tabel 4.27 Perhitungan <i>Goodness of Fit</i> untuk Distribusi Lognormal	71
Tabel 4.28 Perhitungan <i>Goodness of Fit</i> untuk Distribusi Eksponensial	72

Tabel 4.29 Perhitungan <i>Goodness of Fit</i> untuk Distribusi Eksponensial	69
Tabel 4.30 Perhitungan <i>Goodness of Fit</i> untuk Distribusi Lognormal	71
Tabel 4.31 Perhitungan <i>Goodness of Fit</i> untuk Distribusi Eksponensial	72
Tabel 4.32 Perhitungan MTTF untuk distribusi Eksponensial	73
Tabel 4.33 Perhitungan MTTR untuk distribusi Eksponensial.....	73
Tabel 4.34 Perhitungan MTTF untuk distribusi Eksponensial	73
Tabel 4.35 Perhitungan MTTR untuk distribusi Eksponensial.....	74
Tabel 5.1 Nilai <i>index of fit</i> (r) Masing – masing Distribusi untuk Data Interval Waktu Antar Kerusakan	81
Tabel 5.2 Nilai <i>index of fit</i> (r) Masing – masing Distribusi untuk Data Waktu Perbaikan.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembagian Perawatan secara Skematik	9
Gambar 2.2 Kurva Laju Kerusakan (<i>Bathup Curve</i>)	15
Gambar 2.3 Distribusi Weibull	15
Gambar 2.4 Distribusi Normal.....	20
Gambar 2.5 Distribusi Lognormal	21
Gambar 2.6 Distribusi Eksponensial	22
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Model Penelitian.....	35
Gambar 4.1 Diagram Pareto <i>Downtime</i> Armada Bus JOGLOSEMAR	37
Gambar 4.2 Diagram Pareto <i>Downtime</i> Bus Dengan Nopol AB7778JN	45

Data *Downtime* Tiap Bus Pada Periode Januari 2015 hingga Desember 2015

Bulan	AB7801JN	AB7840JN	AB7778JN	AB7794JN	AB7826JN	Total	Persentase
Januari	0,501	1,1	15,083	0,333	1,5	18,517	5%
Februari	0,25	7,09	15,41	0,416	-	23,166	7%
Maret	3	5,337	4,68	2,166	1	16,183	5%
April	2,58	8,5	7,913	1	2,5	22,493	7%
Mei	0,75	3,668	16,413	0,5	2	23,331	7%
Juni	2,917	5,843	9,5	4	6,167	28,427	8%
Juli	-	8,25	30,417	0,5	-	39,167	11%
Agustus	-	2,83	12,49	2,75	4	22,07	6%
September	1,25	9,503	30,076	3,083	3	46,912	14%
Oktober	-	9,917	9,076	7,583	2,25	28,826	8%
Nopember	2,92	8,247	11,333	3,5	0,333	26,333	8%
Desember	4,25	8,92	18,416	8,25	6	45,836	13%
					Total	341,261	

TABLE A.1

Standardized normal probabilities: $\Phi(z) = \int_{-\infty}^z (1/\sqrt{2\pi})e^{-y^2/2} dy$

z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$
-4.00000	0.00003	0.99997	-3.51000	0.00022	0.99978	-3.02000	0.00126	0.99874
-3.99000	0.00003	0.99997	-3.50000	0.00023	0.99977	-3.01000	0.00131	0.99869
-3.98000	0.00003	0.99997	-3.49000	0.00024	0.99976	-3.00000	0.00135	0.99865
-3.97000	0.00004	0.99996	-3.48000	0.00025	0.99975	-2.99000	0.00139	0.99861
-3.96000	0.00004	0.99996	-3.47000	0.00026	0.99974	-2.98000	0.00144	0.99856
-3.95000	0.00004	0.99996	-3.46000	0.00027	0.99973	-2.97000	0.00149	0.99851
-3.94000	0.00004	0.99996	-3.45000	0.00028	0.99972	-2.96000	0.00154	0.99846
-3.93000	0.00004	0.99996	-3.44000	0.00029	0.99971	-2.95000	0.00159	0.99841
-3.92000	0.00004	0.99996	-3.43000	0.00030	0.99970	-2.94000	0.00164	0.99836
-3.91000	0.00005	0.99995	-3.42000	0.00031	0.99969	-2.93000	0.00169	0.99831
-3.90000	0.00005	0.99995	-3.41000	0.00032	0.99968	-2.92000	0.00175	0.99825
-3.89000	0.00005	0.99995	-3.40000	0.00034	0.99966	-2.91000	0.00181	0.99819
-3.88000	0.00005	0.99995	-3.39000	0.00035	0.99965	-2.90000	0.00187	0.99813
-3.87000	0.00005	0.99995	-3.38000	0.00036	0.99964	-2.89000	0.00193	0.99807
-3.86000	0.00006	0.99994	-3.37000	0.00038	0.99962	-2.88000	0.00199	0.99801
-3.85000	0.00006	0.99994	-3.36000	0.00039	0.99961	-2.87000	0.00205	0.99795
-3.84000	0.00006	0.99994	-3.35000	0.00040	0.99960	-2.86000	0.00212	0.99788
-3.83000	0.00006	0.99994	-3.34000	0.00042	0.99958	-2.85000	0.00219	0.99781
-3.82000	0.00007	0.99993	-3.33000	0.00043	0.99957	-2.84000	0.00226	0.99774
-3.81000	0.00007	0.99993	-3.32000	0.00045	0.99955	-2.83000	0.00233	0.99767
-3.80000	0.00007	0.99993	-3.31000	0.00047	0.99953	-2.82000	0.00240	0.99760
-3.79000	0.00008	0.99992	-3.30000	0.00048	0.99952	-2.81000	0.00248	0.99752
-3.78000	0.00008	0.99992	-3.29000	0.00050	0.99950	-2.80000	0.00255	0.99745
-3.77000	0.00008	0.99992	-3.28000	0.00052	0.99948	-2.79000	0.00264	0.99736
-3.76000	0.00008	0.99992	-3.27000	0.00054	0.99946	-2.78000	0.00272	0.99728
-3.75000	0.00009	0.99991	-3.26000	0.00056	0.99944	-2.77000	0.00280	0.99720
-3.74000	0.00009	0.99991	-3.25000	0.00058	0.99942	-2.76000	0.00289	0.99711
-3.73000	0.00009	0.99991	-3.24000	0.00060	0.99940	-2.75000	0.00298	0.99702
-3.72000	0.00010	0.99990	-3.23000	0.00062	0.99938	-2.74000	0.00307	0.99693
-3.71000	0.00010	0.99990	-3.22000	0.00064	0.99936	-2.73000	0.00317	0.99683
-3.70000	0.00011	0.99989	-3.21000	0.00066	0.99934	-2.72000	0.00326	0.99674
-3.69000	0.00011	0.99989	-3.20000	0.00069	0.99931	-2.71000	0.00336	0.99664
-3.68000	0.00012	0.99988	-3.19000	0.00071	0.99929	-2.70000	0.00347	0.99653
-3.67000	0.00012	0.99988	-3.18000	0.00074	0.99926	-2.69000	0.00357	0.99643
-3.66000	0.00013	0.99987	-3.17000	0.00076	0.99924	-2.68000	0.00368	0.99632
-3.65000	0.00013	0.99987	-3.16000	0.00079	0.99921	-2.67000	0.00379	0.99621
-3.64000	0.00014	0.99986	-3.15000	0.00082	0.99918	-2.66000	0.00391	0.99609
-3.63000	0.00014	0.99986	-3.14000	0.00084	0.99916	-2.65000	0.00402	0.99598
-3.62000	0.00015	0.99985	-3.13000	0.00087	0.99913	-2.64000	0.00415	0.99585
-3.61000	0.00015	0.99985	-3.12000	0.00090	0.99910	-2.63000	0.00427	0.99573
-3.60000	0.00016	0.99984	-3.11000	0.00094	0.99906	-2.62000	0.00440	0.99560
-3.59000	0.00016	0.99984	-3.10000	0.00097	0.99903	-2.61000	0.00453	0.99547
-3.58000	0.00017	0.99983	-3.09000	0.00100	0.99900	-2.60000	0.00466	0.99534
-3.57000	0.00018	0.99982	-3.08000	0.00103	0.99897	-2.59000	0.00480	0.99520
-3.56000	0.00019	0.99981	-3.07000	0.00107	0.99893	-2.58000	0.00494	0.99506
-3.55000	0.00019	0.99981	-3.06000	0.00111	0.99889	-2.57000	0.00508	0.99492
-3.54000	0.00020	0.99980	-3.05000	0.00114	0.99886	-2.56000	0.00523	0.99477
-3.53000	0.00021	0.99979	-3.04000	0.00118	0.99882	-2.55000	0.00539	0.99461
-3.52000	0.00022	0.99978	-3.03000	0.00122	0.99878	-2.54000	0.00554	0.99446

(continued)

TABLE A.1 (CONTINUED)

z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$
-2.53000	0.00570	0.99430	-2.03000	0.02118	0.97882	-1.53000	0.06301	0.93699
-2.52000	0.00587	0.99413	-2.02000	0.02169	0.97831	-1.52000	0.06426	0.93574
-2.51000	0.00604	0.99396	-2.01000	0.02222	0.97778	-1.51000	0.06552	0.93448
-2.50000	0.00621	0.99379	-2.00000	0.02275	0.97725	-1.50000	0.06681	0.93319
-2.49000	0.00639	0.99361	-1.99000	0.02330	0.97670	-1.49000	0.06811	0.93189
-2.48000	0.00657	0.99343	-1.98000	0.02385	0.97615	-1.48000	0.06944	0.93056
-2.47000	0.00676	0.99324	-1.97000	0.02442	0.97558	-1.47000	0.07078	0.92922
-2.46000	0.00695	0.99305	-1.96000	0.02500	0.97500	-1.46000	0.07214	0.92786
-2.45000	0.00714	0.99286	-1.95000	0.02559	0.97441	-1.45000	0.07353	0.92647
-2.44000	0.00734	0.99266	-1.94000	0.02619	0.97381	-1.44000	0.07493	0.92507
-2.43000	0.00755	0.99245	-1.93000	0.02680	0.97320	-1.43000	0.07636	0.92364
-2.42000	0.00776	0.99224	-1.92000	0.02743	0.97257	-1.42000	0.07780	0.92220
-2.41000	0.00798	0.99202	-1.91000	0.02807	0.97193	-1.41000	0.07927	0.92073
-2.40000	0.00820	0.99180	-1.90000	0.02872	0.97128	-1.40000	0.08076	0.91924
-2.39000	0.00842	0.99158	-1.89000	0.02938	0.97062	-1.39000	0.08226	0.91774
-2.38000	0.00866	0.99134	-1.88000	0.03005	0.96995	-1.38000	0.08379	0.91621
-2.37000	0.00889	0.99111	-1.87000	0.03074	0.96926	-1.37000	0.08534	0.91466
-2.36000	0.00914	0.99086	-1.86000	0.03144	0.96856	-1.36000	0.08691	0.91309
-2.35000	0.00939	0.99061	-1.85000	0.03216	0.96784	-1.35000	0.08851	0.91149
-2.34000	0.00964	0.99036	-1.84000	0.03288	0.96712	-1.34000	0.09012	0.90988
-2.33000	0.00990	0.99010	-1.83000	0.03362	0.96638	-1.33000	0.09176	0.90824
-2.32000	0.01017	0.98983	-1.82000	0.03438	0.96562	-1.32000	0.09342	0.90658
-2.31000	0.01044	0.98956	-1.81000	0.03515	0.96485	-1.31000	0.09510	0.90490
-2.30000	0.01072	0.98928	-1.80000	0.03593	0.96407	-1.30000	0.09680	0.90320
-2.29000	0.01101	0.98899	-1.79000	0.03673	0.96327	-1.29000	0.09853	0.90147
-2.28000	0.01130	0.98870	-1.78000	0.03754	0.96246	-1.28000	0.10027	0.89973
-2.27000	0.01160	0.98840	-1.77000	0.03836	0.96164	-1.27000	0.10204	0.89796
-2.26000	0.01191	0.98809	-1.76000	0.03920	0.96080	-1.26000	0.10383	0.89617
-2.25000	0.01222	0.98778	-1.75000	0.04006	0.95994	-1.25000	0.10565	0.89435
-2.24000	0.01255	0.98745	-1.74000	0.04093	0.95907	-1.24000	0.10749	0.89251
-2.23000	0.01287	0.98713	-1.73000	0.04182	0.95818	-1.23000	0.10935	0.89065
-2.22000	0.01321	0.98679	-1.72000	0.04272	0.95728	-1.22000	0.11123	0.88877
-2.21000	0.01355	0.98645	-1.71000	0.04363	0.95637	-1.21000	0.11314	0.88686
-2.20000	0.01390	0.98610	-1.70000	0.04457	0.95543	-1.20000	0.11507	0.88493
-2.19000	0.01426	0.98574	-1.69000	0.04551	0.95449	-1.19000	0.11702	0.88298
-2.18000	0.01463	0.98537	-1.68000	0.04648	0.95352	-1.18000	0.11900	0.88100
-2.17000	0.01500	0.98500	-1.67000	0.04746	0.95254	-1.17000	0.12100	0.87900
-2.16000	0.01539	0.98461	-1.66000	0.04846	0.95154	-1.16000	0.12302	0.87698
-2.15000	0.01578	0.98422	-1.65000	0.04947	0.95053	-1.15000	0.12507	0.87493
-2.14000	0.01618	0.98382	-1.64000	0.05050	0.94950	-1.14000	0.12714	0.87286
-2.13000	0.01659	0.98341	-1.63000	0.05155	0.94845	-1.13000	0.12924	0.87076
-2.12000	0.01700	0.98300	-1.62000	0.05262	0.94738	-1.12000	0.13136	0.86864
-2.11000	0.01743	0.98257	-1.61000	0.05370	0.94630	-1.11000	0.13350	0.86650
-2.10000	0.01786	0.98214	-1.60000	0.05480	0.94520	-1.10000	0.13567	0.86433
-2.09000	0.01831	0.98169	-1.59000	0.05592	0.94408	-1.09000	0.13786	0.86214
-2.08000	0.01876	0.98124	-1.58000	0.05705	0.94295	-1.08000	0.14007	0.85993
-2.07000	0.01923	0.98077	-1.57000	0.05821	0.94179	-1.07000	0.14231	0.85769
-2.06000	0.01970	0.98030	-1.56000	0.05938	0.94062	-1.06000	0.14457	0.85543
-2.05000	0.02018	0.97982	-1.55000	0.06057	0.93943	-1.05000	0.14686	0.85314
-2.04000	0.02067	0.97933	-1.54000	0.06178	0.93822	-1.04000	0.14917	0.85083

(continued)

TABLE A.1 (CONTINUED)

z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$
-1.03000	0.15150	0.84850	-0.53000	0.29806	0.70194	-0.03000	0.48803	0.51197
-1.02000	0.15386	0.84614	-0.52000	0.30153	0.69847	-0.02000	0.49202	0.50798
-1.01000	0.15625	0.84375	-0.51000	0.30503	0.69497	-0.01000	0.49601	0.50399
-1.00000	0.15866	0.84134	-0.50000	0.30854	0.69146	0.00000	0.50000	0.50000
-0.99000	0.16109	0.83891	-0.49000	0.31207	0.68793	0.01000	0.50399	0.49601
-0.98000	0.16354	0.83646	-0.48000	0.31561	0.68439	0.02000	0.50798	0.49202
-0.97000	0.16602	0.83398	-0.47000	0.31918	0.68082	0.03000	0.51197	0.48803
-0.96000	0.16853	0.83147	-0.46000	0.32276	0.67724	0.04000	0.51595	0.48405
-0.95000	0.17106	0.82894	-0.45000	0.32636	0.67364	0.05000	0.51994	0.48006
-0.94000	0.17361	0.82639	-0.44000	0.32997	0.67003	0.06000	0.52392	0.47608
-0.93000	0.17619	0.82381	-0.43000	0.33360	0.66640	0.07000	0.52790	0.47210
-0.92000	0.17879	0.82121	-0.42000	0.33724	0.66276	0.08000	0.53188	0.46812
-0.91000	0.18141	0.81859	-0.41000	0.34090	0.65910	0.09000	0.53586	0.46414
-0.90000	0.18406	0.81594	-0.40000	0.34458	0.65542	0.10000	0.53983	0.46017
-0.89000	0.18673	0.81327	-0.39000	0.34827	0.65173	0.11000	0.54380	0.45620
-0.88000	0.18943	0.81057	-0.38000	0.35197	0.64803	0.12000	0.54776	0.45224
-0.87000	0.19215	0.80785	-0.37000	0.35569	0.64431	0.13000	0.55172	0.44828
-0.86000	0.19489	0.80511	-0.36000	0.35942	0.64058	0.14000	0.55567	0.44433
-0.85000	0.19766	0.80234	-0.35000	0.36317	0.63683	0.15000	0.55962	0.44038
-0.84000	0.20045	0.79955	-0.34000	0.36693	0.63307	0.16000	0.56356	0.43644
-0.83000	0.20327	0.79673	-0.33000	0.37070	0.62930	0.17000	0.56749	0.43251
-0.82000	0.20611	0.79389	-0.32000	0.37448	0.62552	0.18000	0.57142	0.42858
-0.81000	0.20897	0.79103	-0.31000	0.37828	0.62172	0.19000	0.57535	0.42465
-0.80000	0.21186	0.78814	-0.30000	0.38209	0.61791	0.20000	0.57926	0.42074
-0.79000	0.21476	0.78524	-0.29000	0.38591	0.61409	0.21000	0.58317	0.41683
-0.78000	0.21770	0.78230	-0.28000	0.38974	0.61026	0.22000	0.58706	0.41294
-0.77000	0.22065	0.77935	-0.27000	0.39358	0.60642	0.23000	0.59095	0.40905
-0.76000	0.22363	0.77637	-0.26000	0.39743	0.60257	0.24000	0.59483	0.40517
-0.75000	0.22663	0.77337	-0.25000	0.40129	0.59871	0.25000	0.59871	0.40129
-0.74000	0.22965	0.77035	-0.24000	0.40517	0.59483	0.26000	0.60257	0.39743
-0.73000	0.23269	0.76731	-0.23000	0.40905	0.59095	0.27000	0.60642	0.39358
-0.72000	0.23576	0.76424	-0.22000	0.41294	0.58706	0.28000	0.61026	0.38974
-0.71000	0.23885	0.76115	-0.21000	0.41683	0.58317	0.29000	0.61409	0.38591
-0.70000	0.24196	0.75804	-0.20000	0.42074	0.57926	0.30000	0.61791	0.38209
-0.69000	0.24510	0.75490	-0.19000	0.42465	0.57535	0.31000	0.62172	0.37828
-0.68000	0.24825	0.75175	-0.18000	0.42858	0.57142	0.32000	0.62552	0.37448
-0.67000	0.25143	0.74857	-0.17000	0.43251	0.56750	0.33000	0.62930	0.37070
-0.66000	0.25463	0.74537	-0.16000	0.43644	0.56356	0.34000	0.63307	0.36693
-0.65000	0.25785	0.74215	-0.15000	0.44038	0.55962	0.35000	0.63683	0.36317
-0.64000	0.26109	0.73891	-0.14000	0.44433	0.55567	0.36000	0.64058	0.35942
-0.63000	0.26435	0.73565	-0.13000	0.44828	0.55172	0.37000	0.64431	0.35569
-0.62000	0.26763	0.73237	-0.12000	0.45224	0.54776	0.38000	0.64803	0.35197
-0.61000	0.27093	0.72907	-0.11000	0.45620	0.54380	0.39000	0.65173	0.34827
-0.60000	0.27425	0.72575	-0.10000	0.46017	0.53983	0.40000	0.65542	0.34458
-0.59000	0.27760	0.72240	-0.09000	0.46414	0.53586	0.41000	0.65910	0.34090
-0.58000	0.28096	0.71904	-0.08000	0.46812	0.53188	0.42000	0.66276	0.33724
-0.57000	0.28434	0.71566	-0.07000	0.47210	0.52790	0.43000	0.66640	0.33360
-0.56000	0.28774	0.71226	-0.06000	0.47608	0.52392	0.44000	0.67003	0.32997
-0.55000	0.29116	0.70884	-0.05000	0.48006	0.51994	0.45000	0.67364	0.32636
-0.54000	0.29460	0.70540	-0.04000	0.48405	0.51595	0.46000	0.67724	0.32276

(continued)

TABLE A.1 (CONTINUED)

z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$
1.97000	0.97558	0.02442	2.47000	0.99324	0.00676	2.97000	0.99851	0.00149
1.98000	0.97615	0.02385	2.48000	0.99343	0.00657	2.98000	0.99856	0.00144
1.99000	0.97670	0.02330	2.49000	0.99361	0.00639	2.99000	0.99861	0.00139
2.00000	0.97725	0.02275	2.50000	0.99379	0.00621	3.00000	0.99865	0.00135
2.01000	0.97778	0.02222	2.51000	0.99396	0.00604	3.01000	0.99869	0.00131
2.02000	0.97831	0.02169	2.52000	0.99413	0.00587	3.02000	0.99874	0.00126
2.03000	0.97882	0.02118	2.53000	0.99430	0.00570	3.03000	0.99878	0.00122
2.04000	0.97933	0.02067	2.54000	0.99446	0.00554	3.04000	0.99882	0.00118
2.05000	0.97982	0.02018	2.55000	0.99461	0.00539	3.05000	0.99886	0.00114
2.06000	0.98030	0.01970	2.56000	0.99477	0.00523	3.06000	0.99889	0.00111
2.07000	0.98077	0.01923	2.57000	0.99492	0.00508	3.07000	0.99893	0.00107
2.08000	0.98124	0.01876	2.58000	0.99506	0.00494	3.08000	0.99897	0.00103
2.09000	0.98169	0.01831	2.59000	0.99520	0.00480	3.09000	0.99900	0.00100
2.10000	0.98214	0.01786	2.60000	0.99534	0.00466	3.10000	0.99903	0.00097
2.11000	0.98257	0.01743	2.61000	0.99547	0.00453	3.11000	0.99906	0.00094
2.12000	0.98300	0.01700	2.62000	0.99560	0.00440	3.12000	0.99910	0.00090
2.13000	0.98341	0.01659	2.63000	0.99573	0.00427	3.13000	0.99913	0.00087
2.14000	0.98382	0.01618	2.64000	0.99585	0.00415	3.14000	0.99916	0.00084
2.15000	0.98422	0.01578	2.65000	0.99598	0.00402	3.15000	0.99918	0.00082
2.16000	0.98461	0.01539	2.66000	0.99609	0.00391	3.16000	0.99921	0.00079
2.17000	0.98500	0.01500	2.67000	0.99621	0.00379	3.17000	0.99924	0.00076
2.18000	0.98537	0.01463	2.68000	0.99632	0.00368	3.18000	0.99926	0.00074
2.19000	0.98574	0.01426	2.69000	0.99643	0.00357	3.19000	0.99929	0.00071
2.20000	0.98610	0.01390	2.70000	0.99653	0.00347	3.20000	0.99931	0.00069
2.21000	0.98645	0.01355	2.71000	0.99664	0.00336	3.21000	0.99934	0.00066
2.22000	0.98679	0.01321	2.72000	0.99674	0.00326	3.22000	0.99936	0.00064
2.23000	0.98713	0.01287	2.73000	0.99683	0.00317	3.23000	0.99938	0.00062
2.24000	0.98745	0.01255	2.74000	0.99693	0.00307	3.24000	0.99940	0.00060
2.25000	0.98778	0.01222	2.75000	0.99702	0.00298	3.25000	0.99942	0.00058
2.26000	0.98809	0.01191	2.76000	0.99711	0.00289	3.26000	0.99944	0.00056
2.27000	0.98840	0.01160	2.77000	0.99720	0.00280	3.27000	0.99946	0.00054
2.28000	0.98870	0.01130	2.78000	0.99728	0.00272	3.28000	0.99948	0.00052
2.29000	0.98899	0.01101	2.79000	0.99736	0.00264	3.29000	0.99950	0.00050
2.30000	0.98928	0.01072	2.80000	0.99745	0.00255	3.30000	0.99952	0.00048
2.31000	0.98956	0.01044	2.81000	0.99752	0.00248	3.31000	0.99953	0.00047
2.32000	0.98983	0.01017	2.82000	0.99760	0.00240	3.32000	0.99955	0.00045
2.33000	0.99010	0.00990	2.83000	0.99767	0.00233	3.33000	0.99957	0.00043
2.34000	0.99036	0.00964	2.84000	0.99774	0.00226	3.34000	0.99958	0.00042
2.35000	0.99061	0.00939	2.85000	0.99781	0.00219	3.35000	0.99960	0.00040
2.36000	0.99086	0.00914	2.86000	0.99788	0.00212	3.36000	0.99961	0.00039
2.37000	0.99111	0.00889	2.87000	0.99795	0.00205	3.37000	0.99962	0.00038
2.38000	0.99134	0.00866	2.88000	0.99801	0.00199	3.38000	0.99964	0.00036
2.39000	0.99158	0.00842	2.89000	0.99807	0.00193	3.39000	0.99965	0.00035
2.40000	0.99180	0.00820	2.90000	0.99813	0.00187	3.40000	0.99966	0.00034
2.41000	0.99202	0.00798	2.91000	0.99819	0.00181	3.41000	0.99968	0.00032
2.42000	0.99224	0.00776	2.92000	0.99825	0.00175	3.42000	0.99969	0.00031
2.43000	0.99245	0.00755	2.93000	0.99831	0.00169	3.43000	0.99970	0.00030
2.44000	0.99266	0.00734	2.94000	0.99836	0.00164	3.44000	0.99971	0.00029
2.45000	0.99286	0.00714	2.95000	0.99841	0.00159	3.45000	0.99972	0.00028
2.46000	0.99305	0.00695	2.96000	0.99846	0.00154	3.46000	0.99973	0.00027

(continued)

TABLE A.1 (CONTINUED)

z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	$1 - \Phi(z)$
3.47000	0.99974	0.00026	3.65000	0.99987	0.00013	3.83000	0.99994	0.00006
3.48000	0.99975	0.00025	3.66000	0.99987	0.00013	3.84000	0.99994	0.00006
3.49000	0.99976	0.00024	3.67000	0.99988	0.00012	3.85000	0.99994	0.00006
3.50000	0.99977	0.00023	3.68000	0.99988	0.00012	3.86000	0.99994	0.00006
3.51000	0.99978	0.00022	3.69000	0.99989	0.00011	3.87000	0.99995	0.00005
3.52000	0.99978	0.00022	3.70000	0.99989	0.00011	3.88000	0.99995	0.00005
3.53000	0.99979	0.00021	3.71000	0.99990	0.00010	3.89000	0.99995	0.00005
3.54000	0.99980	0.00020	3.72000	0.99990	0.00010	3.90000	0.99995	0.00005
3.55000	0.99981	0.00019	3.73000	0.99990	0.00010	3.91000	0.99995	0.00005
3.56000	0.99981	0.00019	3.74000	0.99991	0.00009	3.92000	0.99995	0.00005
3.57000	0.99982	0.00018	3.75000	0.99991	0.00009	3.93000	0.99996	0.00004
3.58000	0.99983	0.00017	3.76000	0.99992	0.00008	3.94000	0.99996	0.00004
3.59000	0.99983	0.00017	3.77000	0.99992	0.00008	3.95000	0.99996	0.00004
3.60000	0.99984	0.00016	3.78000	0.99992	0.00008	3.96000	0.99996	0.00004
3.61000	0.99985	0.00015	3.79000	0.99993	0.00007	3.97000	0.99996	0.00004
3.62000	0.99985	0.00015	3.80000	0.99993	0.00007	3.98000	0.99996	0.00004
3.63000	0.99986	0.00014	3.81000	0.99993	0.00007	3.99000	0.99997	0.00003
3.64000	0.99986	0.00014	3.82000	0.99993	0.00007	4.00000	0.99997	0.00003

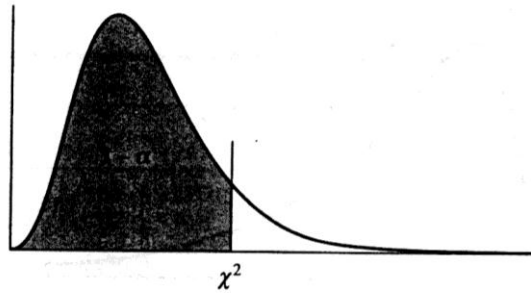


TABLE A.3
Chi-square distribution with ν degrees of freedom

ν	$1 - \alpha$									
	0.005	0.01	0.025	0.05	0.10	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	0.0000	0.0002	0.0010	0.0039	0.0158	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.103	0.211	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6
3	0.0717	0.115	0.216	0.352	0.584	6.25	7.81	9.35	11.3	12.8
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.06	7.78	9.49	11.1	13.3	14.9
5	0.412	0.554	0.831	1.15	1.61	9.24	11.1	12.8	15.1	16.7
6	0.676	0.872	1.24	1.64	2.20	10.6	12.6	14.4	16.8	18.5
7	0.989	1.24	1.69	2.17	2.83	12.0	14.1	16.0	18.5	20.3
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	13.4	15.5	17.5	20.1	22.0
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	14.7	16.9	19.0	21.7	23.6
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	16.0	18.3	20.5	23.2	25.2
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	17.3	19.7	21.9	24.7	26.8
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	18.5	21.0	23.3	26.2	28.3
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	19.8	22.4	24.7	27.7	29.8
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	21.1	23.7	26.1	29.1	31.3
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	22.3	25.0	27.5	30.6	32.8
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	23.5	26.3	28.8	32.0	34.3
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.1	24.8	27.6	30.2	33.4	35.7
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.9	26.0	28.9	31.5	34.8	37.2
19	6.84	7.63	8.91	10.1	11.7	27.2	30.1	32.9	36.2	38.6
20	7.43	8.26	9.59	10.9	12.4	28.4	31.4	34.2	37.6	40.0
21	8.03	8.90	10.3	11.6	13.2	29.6	32.7	35.5	38.9	41.4
22	8.64	9.54	11.0	12.3	14.0	30.8	33.9	36.8	40.3	42.8
23	9.26	10.2	11.7	13.1	14.8	32.0	35.2	38.1	41.6	44.2
24	9.89	10.9	12.4	13.8	15.7	33.2	36.4	39.4	43.0	45.6
25	10.5	11.5	13.1	14.6	16.5	34.4	37.7	40.6	44.3	46.9
26	11.2	12.2	13.8	15.4	17.3	35.6	38.9	41.9	45.6	48.3
27	11.8	12.9	14.6	16.2	18.1	36.7	40.1	43.2	47.0	49.6
28	12.5	13.6	15.3	16.9	18.9	37.9	41.3	44.5	48.3	51.0
29	13.1	14.3	16.0	17.7	19.8	39.1	42.6	45.7	49.6	52.3
30	13.8	15.0	16.8	18.5	20.6	40.3	43.8	47.0	50.9	53.7

Table courtesy of Dr. Ronald Deep.

TABLE A.7

**Critical values for the Kolmogorov-Smirnov test
for normality (Lilliefors test)**

Sample size, n	α				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
4	0.300	0.319	0.352	0.381	0.417
5	0.285	0.299	0.315	0.337	0.405
6	0.265	0.277	0.294	0.319	0.364
7	0.247	0.258	0.276	0.300	0.348
8	0.233	0.244	0.261	0.285	0.331
9	0.223	0.233	0.249	0.271	0.311
10	0.215	0.224	0.239	0.258	0.294
11	0.206	0.217	0.230	0.249	0.284
12	0.199	0.212	0.223	0.242	0.275
13	0.190	0.202	0.214	0.234	0.268
14	0.183	0.194	0.207	0.227	0.261
15	0.177	0.187	0.201	0.220	0.257
16	0.173	0.182	0.195	0.213	0.250
17	0.169	0.177	0.189	0.206	0.245
18	0.166	0.173	0.184	0.200	0.239
19	0.163	0.169	0.179	0.195	0.235
20	0.160	0.166	0.174	0.190	0.231
25	0.149	0.153	0.165	0.180	0.203
30	0.131	0.136	0.144	0.161	0.187
$n > 30$	$\frac{0.736}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.768}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.805}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.031}{\sqrt{n}}$