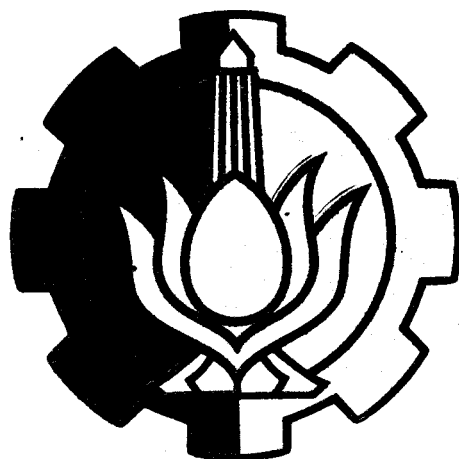


3100097008382

**PENENTUAN INTERVAL PERAWATAN PENCEGAHAN
PADA MESIN ELEKTROLISA II
DENGAN ANALISIS KEANDALAN
DI PT INDUSTRI SODA INDONESIA
SIDOARJO**

TUGAS AKHIR

*Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan
Studi Strata Satu dan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Industri*



RSI
620.00452
AZI
P-1
1996

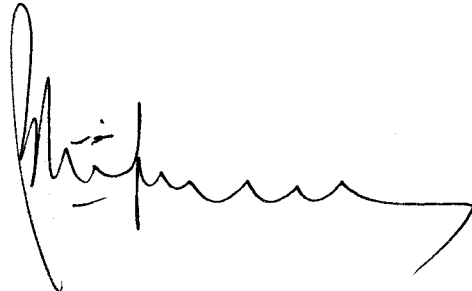
Oleh :

ABDUL AZIZ
NRP. 2590.100.007

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1996**

| | |
|---------------------|-------------|
| PERPUSTAKAAN ITS | |
| Tgl. Terima | 24 DEC 1996 |
| Terima Dari | H |
| No. Agenda Perp. | 6762 |

Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing



Ir. BUSTANUL ARIFIN N., MSc.

NIP. 131 841 427

Mengetahui

Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
S u r a b a y a

Ketua,
Dekan FTI - ITS



Ir. SRITOMO WIGNJOSOE BROTO, MSc.

NIP. 130 687 436

NILAI AKHIR SIDANG SARJANA TEKNIK INDUSTRI - ITS

Nama : Abdul Aziz

Nrp. : 2590.100.007

Komponen :

| Komponen / Aspek (1) | Bobot (persen) (2) | Nilai Perolehan (3) | Nilai Angka (2) x (3) |
|---|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Seminar (dari Seminar T.A) | 15 | 80.5 | 12 |
| 2. Sidang (dari Sidang Sarjana) | 45 | 84 | 37,8 |
| 3. Tugas Akhir (khusus diberikan oleh Dosen Pembimbing) | 40 | 80 | 32 |
| Jumlah | 100 | | 81,8 |

Nilai Huruf :

A B C D E

Skala Nilai :

A = 81 - 100 B = 66 - 80 C = 56 - 65 D = 41 - 55 E = 0 - 40

Surabaya, 10/10/.....1996

Abdul Aziz

Mahasiswa ybs.

Ir. Bustanul Arifin Noer, MSc.

Dosen Pembimbing

Moses L. Singgih
Dosen Penguji I

Sri Gumani Partow
Dosen Penguji II

Dosen Penguji III

Kupersembahkan pada Ibu, Nenek dan Erna

Bukan pohon yang bergerak

Bukan daun yang bergerak

Bukan angin yang bergerak

Tapi pikiranlah yang bergerak

The Man from North Beach

KATA PENGANTAR

Syukur kehadiran Allah SWT. dipanjatkan atas rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyusun Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademis dalam menyelesaikan studi strata satu dan memperoleh gelar sarjana Teknik Industri di Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini dapat diselesaikan atas dorongan, bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

- ✓ Bapak Ir. Bustanul Arifin N., MSc., selaku dosen pembimbing
- ✓ Bapak Ir. Patdono Soewignyo, M.Eng.Sc., selaku ketua jurusan Teknik Industri
- ✓ Bapak Ir. Sritomo Wignyosoebroto, MSc. selaku Dekan FTI
- ✓ Ibu Ir. Sri Gunani Partiw, MT, selaku koordinator Tugas Akhir
- ✓ Seluruh Dosen, staf dan karyawan jurusan Teknik Industri
- ✓ Zainal Fanani atas bantuan dan " Bimbingan Silumannya "
- ✓ Dadi Wijaya atas petunjuk " Apa yang Harus Ditulis "
- ✓ Rekan-rekan mahasiswa Teknik Industri, antara lain Mandom, Virgo, Bambang Yudi, Tutik, dst.
- ✓ Rekan-rekan satu kos-kosan antara lain Budi Prasetyo, Lurah Kuswono, Abdullah, dan Teguh, dst.

- ☑ Keluargaku tercinta, Kak Ping, Kak Dzali, Kak Dillah, Didik, Mutim, Ririn, Kembar, Cak Uk, Poh dan Diana yang selalu mendoakan saya
- ☑ Untuk Ibu dan Nenek yang sangat besar jasanya pada saya. Pengorbanan, doa, kasih sayang, dan kesabaran yang tulus yang telah diberikan pada saya
- ☑ Khusus untuk Erna, kekasihku tercinta. Terima kasih atas kesabaran dan pengertian yang selalu diberikan

Penulis menyadari keterbatasan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Untuk itu dengan senang hati penulis mengucapkan terima kasih atas kritik dan sarannya untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Harapan penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya. Terima kasih.

Surabaya, 10 Oktober 1996

Penulis

DAFTAR ISI

| | | |
|-----------------|--|----|
| KATA PENGANTAR | | |
| DAFTAR ISI | iii | |
| DAFTAR TABEL | vii | |
| DAFTAR GAMBAR | ix | |
| DAFTAR LAMPIRAN | x | |
| ABSTRAKSI | xi | |
| BAB I | PENDAHULUAN | 1 |
| | 1.1 Latar Belakang Masalah | 1 |
| | 1.2 Permasalahan | 2 |
| | 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| | 1.4 Asumsi dan Batasan Masalah | 3 |
| | 1.5 Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB II | TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| | 2.1 Keandalan | 6 |
| | 2.1.1 Deskripsi Kerusakan | 7 |
| | 2.1.2 Fungsi Keandalan | 8 |
| | 2.1.3 Mean Time To Failure | 9 |
| | 2.1.4 Laju Kerusakan | 10 |
| | 2.1.5 Klasifikasi Distribusi Kerusakan | 12 |

| | |
|--|----|
| 2.1.6 Keandalan Sistem | 13 |
| 2.2 Perawatan | 14 |
| 2.2.1 Jenis Perawatan | 19 |
| 2.2.2 Biaya Perawatan | 20 |
| 2.2.3 Model Jadwal Perawatan yang Ideal | 21 |
| 2.3 Pendugaan Distribusi dan Parameter keandalan | 23 |
| 2.3.1 Pendugaan Distribusi | 23 |
| 2.3.2 Pendugaan Parameter Distribusi | 25 |
| 2.3.3 Uji Hipotesa Distribusi | 25 |
| 2.3.4 Model Distribusi | 28 |
| 2.4 Availability | 31 |
| 2.5 Studi Kasus Analisis Keandalan | 34 |
| 2.5.1 Studi Kasus di PT IPTN Bandung | 35 |
| 2.5.2 Studi Kasus di PT Semen Gresik | 39 |
| 2.5.3 Studi Kasus di PT Patal Lawang | 41 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 43 |
| 3.1 Tujuan Penelitian | 45 |
| 3.2 Studi Pustaka | 45 |
| 3.3 Pengumpulan dan Pengolahan Data | 46 |
| 3.3.1 Data Kerusakan dan Perbaikan | 46 |
| 3.3.2 Analisis Statistik | 47 |
| 3.3.3 Penentuan Fungsi-fungsi Keandalan | 50 |

| | | |
|--------|---|----|
| | 3.4 Analisis dan Interpretasi | 51 |
| | 3.4.1 Perhitungan Fungsi-fungsi Keandalan | 51 |
| | 3.4.2 Statistik Keandalan | 52 |
| | 3.4.3 Program Perawatan | 53 |
| | 3.4.4 Analisis Ketersediaan | 54 |
| | 3.5 Kesimpulan dan Saran | 55 |
| BAB IV | PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA | 56 |
| | 4.1 Data Umum Perusahaan | 56 |
| | 4.1.1 Sejarah Singkat PT ISI Sidoarjo | 56 |
| | 4.1.2 Sistem Manajemen dan Struktur Organisasi | 57 |
| | 4.1.3 Produk | 59 |
| | 4.2 Macam Data dan Metode Pengumpulannya | 60 |
| | 4.2.1 Biaya-biaya | 61 |
| | 4.2.2 Data Waktu Antar Kerusakan dan Lama Perbaikan | 64 |
| | 4.3 Pengolahan Data | 64 |
| | 4.3.1 Penentuan Distribusi Data dan Parameter Keandalan | 64 |
| | 4.3.2 Penentuan Fungsi-fungsi Keandalan | 78 |
| BAB V | ANALISIS DAN INTERPRETASI | 80 |
| | 5.1 Perhitungan MTTF, MTTR dan CF | 80 |
| | 5.2 Perhitungan Waktu Interval Optimal | 83 |
| | 5.3 Analisis Availability | 86 |
| | 5.4 Perhitungan Nilai Keandalan dengan Interval Optimal | 89 |

| | |
|--|-----|
| 5.5 Perhitungan Total Biaya Minimum | 92 |
| 5.5.1 Perhitungan Total Biaya Sebelum Interval Optimal | 93 |
| 5.5.2 Perhitungan Total Biaya Setelah Interval Optimal | 95 |
| 5.6 Interpretasi | 97 |
| 5.6.1 Jadwal Perawatan dengan Interval Optimal | 97 |
| 5.6.2 Analisis Availability | 98 |
| 5.6.3 Analisis Keandalan Mesin | 99 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | 101 |
| 6.1 Kesimpulan | 101 |
| 6.2 Saran | 102 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 2.1 | Jumlah Kerusakan Komponen di PT IPTN | 35 |
| Tabel 2.2 | Data Waktu Antar Kerusakan Komponen di PT IPTN | 36 |
| Tabel 2.3 | Hasil Uji Distribusi dan Parameter Komponen di PT IPTN | 37 |
| Tabel 2.4 | Persediaan Komponen Optimal di PT IPTN Saat Ini | 38 |
| Tabel 2.5 | Persediaan Komponen Optimal di PT IPTN yang Diusulkan | 38 |
| Tabel 2.6 | Pendugaan Awal Distribusi dan Parameter di PT Semen Gresik | 40 |
| Tabel 2.7 | Significance Level Mesin di PT Patal Lawang | 42 |
| Tabel 4.1 | Pendugaan Awal Distribusi Waktu Antar Kerusakan | 66 |
| Tabel 4.2 | Pendugaan Awal Distribusi Waktu Perbaikan | 67 |
| Tabel 4.3 | Pengujian KS pada Waktu Antar Kerusakan | 69 |
| Tabel 4.4 | Pengujian KS pada Waktu Perbaikan | 70 |
| Tabel 4.5 | Significance Level Waktu Antar Kerusakan | 72 |
| Tabel 4.6 | Significance Level Waktu Perbaikan | 73 |
| Tabel 4.7 | Parameter Distribusi Waktu Antar Kerusakan | 76 |
| Tabel 4.8 | Parameter Distribusi Waktu Perbaikan | 77 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 5.1 | Perhitungan MTTF, MTTR dan CF | 82 |
| Tabel 5.2 | Perhitungan Interval Biaya, $C(s)$ dan Peningkatan MTTF | 85 |
| Tabel 5.3 | Peningkatan Availability | 87 |
| Tabel 5.4 | Nilai Keandalan Komponen untuk Interval Optimal | 91 |
| Tabel 5.5 | Perhitungan Total Biaya Sebelum Interval Optimal | 94 |
| Tabel 5.6 | Perhitungan Total Biaya Sesudah Interval Optimal | 96 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Kurva Distribusi Kerusakan dan Keandalan | 10 |
| Gambar 2.2 | Kurva Bathub | 12 |
| Gambar 2.3 | Kurva Bathub Komponen Mekanik dan Elektrik | 13 |
| Gambar 2.4 | Struktur Seri pada Keandalan Sistem | 13 |
| Gambar 2.5 | Struktur Paralel pada Keandalan Sistem | 14 |
| Gambar 2.6 | Kurva Keandalan pada Perawatan Periodik | 15 |
| Gambar 2.7 | Diagram Waktu Penggantian | 16 |
| Gambar 2.8 | Grafik Total Biaya Perawatan | 19 |
| Gambar 2.9 | Kurva Perawatan dengan Waktu Terjadwal | 22 |
| Gambar 2.10 | Grafik Availability Sistem | 32 |
| Gambar 2.11 | Struktur Seri Availability | 34 |
| Gambar 2.12 | Struktur Paralel Availability | 34 |
| Gambar 3.1 | Skema Metodologi Penelitian Analisis Keandalan | 44 |

LAMPIRAN

- Lampiran A Data Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan
- Lampiran B Pengolahan Data Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan
- Lampiran C Pengujian KS dan Significance Level Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan
- Lampiran D Pendugaan Parameter Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan
- Lampiran E Perhitungan Math CAD untuk Analisis Data
- Lampiran F Histogram Frekwensi Waktu Antar Kerusakan

Abstraksi

Kerusakan suatu mesin dalam suatu pabrik merupakan hal yang sering dijumpai dan mempengaruhi produktivitas suatu mesin. Jika mesin sering rusak maka proses produksi terhambat sehingga produktivitas mesin akan turun. Untuk mengatasi dan meningkatkan produktivitas mesin dapat dilakukan program perawatan yang terencana dengan baik.

Suatu perawatan yang sering dilakukan akan mengurangi frekwensi terjadinya kerusakan pada mesin, tetapi biaya perawatan akan tinggi. Sebaliknya jika perawatan jarang dilakukan maka biaya perawatan akan rendah, namun biaya untuk memperbaiki kerusakan akan tinggi. Untuk itu perlu penetapan waktu interval perawatan yang optimal untuk meminimumkan total biaya perawatan.

Penetapan interval waktu perawatan yang optimal dapat dilakukan dengan menggunakan analisis keandalan dengan metode turunan. Untuk mendapatkan persamaan distribusi dan parameter waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan digunakan analisis statistik. Dari distribusi dan parameter-parameter tersebut dapat dibuat persamaan fungsi-fungsi keandalan yang meliputi fungsi keandalan, laju kerusakan, dan MTTF. Dari fungsi-fungsi keandalan tersebut dapat ditentukan waktu interval optimal dengan metode turunan. Begitu pula total biaya perawatan akan minimum dengan interval perawatan optimal tersebut.

BAB I

PENDAHULUAN

Banyaknya kerusakan mesin dalam suatu pabrik merupakan persoalan perawatan yang perlu penanganan serius. Adanya kerusakan mesin berakibat proses produksi terhenti sehingga ada keuntungan yang hilang akibat mesin tidak berfungsi. Dalam penelitian ini dibahas masalah perawatan mesin dengan analisis keandalan. Dengan perawatan yang terencana dengan baik diharapkan mampu menciptakan efisiensi biaya perawatan.

1.1 Latar Belakang Masalah

Kerusakan dalam suatu mesin atau sistem merupakan hal yang sering dijumpai dan perlu ditangani secara serius. Kerusakan suatu mesin yang berkali-kali dapat membuat proses produksi terhambat, sehingga tingkat produksi menurun. Jadi adanya kerusakan mesin bisa menurunkan produktivitas.

Produktivitas suatu mesin dalam produksi sangat penting. Banyak faktor yang bisa mempengaruhi suatu produktivitas. Salah satu faktor yang cukup berpengaruh terhadap produktivitas mesin adalah keandalan.

Makin tinggi keandalan suatu mesin maka makin tinggi produktivitasnya. Keandalan bisa diartikan sebagai peluang suatu komponen, peralatan, mesin atau sistem produksi yang bisa melakukan tugas yang diharapkan dalam jangka waktu tertentu dan dalam kondisi tertentu.

Dalam kenyataannya suatu mesin atau sistem produksi akan mengalami kerusakan atau kegagalan pada waktu yang tidak tertentu. Hal ini akan menurunkan tingkat keandalan suatu mesin. Untuk meningkatkan keandalan suatu mesin bisa dilakukan perawatan dan perbaikan.

1.2 Permasalahan

Dalam penelitian ini dibahas masalah kerusakan mesin yang sering terjadi dan tindakan perawatan yang harus dilakukan agar mesin bekerja dengan pertimbangan ekonomis.

Dari beberapa mesin yang diamati di PT ISI Sidoarjo mesin Elektrolisa merupakan mesin yang cukup vital dan seringkali mengalami kerusakan sehingga perlu sistem perawatan yang baik.. Kerusakan yang terjadi pada mesin Elektrolisa pada umumnya disebabkan perkaratan, akibat perkaratan dan aliran larutan garam yang terus-menerus maka logam pada mesin akan menipis dan bocor.

Teknik yang digunakan untuk memecahkan masalah perawatan dalam penelitian di PT ISI adalah dengan menggunakan analisis keandalan.

Dari data kerusakan yang diperoleh dari pabrik untuk mesin Elektrolisa, maka dilakukan analisis statistik dan keandalan untuk mendapatkan parameter yang dibutuhkan dalam sistem perawatan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian analisis keandalan di PT ISI adalah untuk menentukan sistem perawatan yang optimal pada mesin ER, yaitu :

- a. Penentuan waktu interval perawatan yang optimal
- b. Total biaya perawatan minimum ✓
- b. Analisis ketersediaan

Jika perawatan seringkali dilakukan maka mesin akan jarang mengalami kerusakan sehingga tingkat kerusakan mesin sangat kecil, namun biaya perawatan akan besar. Sedangkan jika perawatan jarang dilakukan maka tingkat kerusakan akan meningkat sehingga biaya kerusakan akan tinggi. Untuk itu perlu suatu sistem perawatan di mana waktu interval yang bisa meminimalkan total biaya perawatan dan perbaikan.

1.4 Asumsi dan Batasan Masalah

Ada beberapa asumsi dan batasan yang digunakan untuk memecahkan masalah keandalan. Batasan sebagai ruang lingkup pembahasan dalam analisis keandalan meliputi :

1. Persoalan yang dibahas adalah dalam lingkup kemungkinan
2. Mesin yang dibahas adalah Elektrolisa II.
3. Mesin Elektrolisa II terdiri dari 1 stasiun, di mana 1 stasiun terdiri dari 3 mesin yang sama dan tersusun paralel. Tiap mesin terdiri dari 7 komponen yang tersusun seri
4. Aspek teknis dan pembagian tenaga kerja tidak dibahas

Sedangkan asumsi sebagai parameter-parameter yang berlaku dalam lingkup analisis keandalan adalah :

1. Setelah terjadi kerusakan komponen atau mesin langsung diperbaiki
2. Setelah dilakukan perawatan komponen mesin menjadi seperti baru kembali
3. Data yang diperoleh dianggap benar dan sesuai dengan keadaan

Dengan adanya asumsi di atas membantu pengolahan dan analisis data dari mesin. Di samping itu pula memudahkan kita dalam memodelkan permasalahan ke dalam analisis yang akan dibahas.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini meliputi latar belakang masalah, permasalahan, tujuan penelitian, asumsi yang digunakan dalam penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Meliputi teori keandalan, dan beberapa hasil penelitian analisis keandalan yang pernah dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang urutan dan teknik pengerjaan tugas akhir pada garis besarnya. Dengan metodologi penelitian diharapkan penelitian mudah untuk diikuti langkah demi langkah sehingga memudahkan analisis. Disamping berguna untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Data yang diperoleh dari suatu pabrik tentang keandalan suatu mesin diolah agar dapat dikembangkan suatu model pemecahan masalah keandalan. Teknik analisis di sini melibatkan disiplin ilmu statistik dan teknik keandalan. Untuk memudahkan dan mempercepat perhitungan maka digunakan software Statgraph dan Lotus 123

BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI

Dari analisis data maka dapat dihitung waktu interval perawatan optimal, total biaya minimum, MTTF mesin sebelum dan sesudah mendapat perawatan optimal, analisis ketersediaan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan kesimpulan dan saran yang bisa digunakan untuk perawatan mesin Elektrolisa II.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Untuk menganalisis keandalan suatu mesin atau sistem diperlukan dasar teori teknik keandalan. Pada bab ini diterangkan teori-teori yang berhubungan dengan analisis keandalan suatu mesin atau sistem.

2.1 Keandalan

Menurut Lewis (1987), keandalan didefinisikan sebagai peluang komponen, peralatan, mesin atau sistem akan memenuhi kinerja yang diinginkan selama periode waktu tertentu di bawah kondisi tertentu.

Keandalan dalam hal kinerja suatu sistem untuk memenuhi fungsi yang diharapkan, dan tak ada perbedaan yang dibuat lingkup kerusakan. Apabila terjadi berhentinya suatu sistem seperti mesin berhenti bekerja, peralatan komunikasi dalam sistem mati, maka sistem dikatakan rusak. Selain itu sangat penting untuk mendefinisikan bentuk lain dari kerusakan, seperti kemunduran kinerja atau fungsi yang tidak stabil. Misalnya suatu motor tak dapat mengerjakan tekanan spesifik, operasi tersendat-sendat atau arus berlebih pada peralatan elektronik, atau mesin produksi yang hasilnya di luar batas toleransi.

Akhirnya variabel yang sangat penting berpengaruh terhadap keandalan adalah waktu. Sehingga bisa dikatakan keandalan merupakan fungsi dari waktu.

2.1.1 Deskripsi Kerusakan

Menurut Alkaff (1992) dalam analisis keandalan, kondisi sistem atau peralatan yang beroperasi dalam melaksanakan tugasnya dibedakan menjadi dua (baik / rusak). Untuk menyatakan state dari sistem atau peralatan adalah sebagai berikut :

Misalkan :

X : state sistem atau peralatan yang merupakan variabel acak

$X = 1$: sistem atau peralatan baik

$X = 0$: sistem atau peralatan rusak.

X : merupakan fungsi dari waktu

: $X(t)$

: merupakan proses stokastik.

T : lamanya peralatan beroperasi sampai mengalami kerusakan

: masa pakai (life time)

: merupakan variabel acak.

Kerusakan dapat dinyatakan dengan variabel acak T atau dapat pula dinyatakan dengan proses stokastik $X(t)$, hubungan antara keduanya adalah :

$$T > t \leftrightarrow X(t) = 1$$

$$T \leq t \leftrightarrow X(t) = 0$$

Sehingga diperoleh :

$$P(X(t) = 1) = P(T > t) \quad (2.1)$$

$$P(X(t) = 0) = P(T \leq t) \quad (2.2)$$

$P(X(t)=1)$: Peluang peralatan masih beroperasi pada saat t

: Merupakan fungsi waktu

2.1.2 Fungsi keandalan

Merupakan peluang mesin dapat berfungsi dengan baik untuk melakukan tugas tertentu, dinotasikan dengan R.

Range nilai :

Jika $R = 1$: sistem pasti dapat bekerja dengan baik

$R = 0$: sistem tidak dapat melaksanakan tugas dengan baik

$R = 0.8$: peluang sistem dapat berfungsi dengan baik 0.8

peluang sistem tidak dapat berfungsi dengan baik 0.2

Keandalan suatu sistem merupakan ukuran peluang yang merupakan fungsi dari waktu, sehingga untuk mengetahui keandalan sistem tersebut diperlukan suatu fungsi yang disebut fungsi keandalan. Fungsi ini menyatakan hubungan antara keandalan dengan waktu. Dinotasikan dengan $R(t)$.

$R(t)$: peluang sistem dapat berfungsi dengan baik selama pemakaian $(0,t)$

$$R(t) = P(X(t)=1)$$

$$= P(T > t)$$

$$= 1 - P(T \leq t)$$

$$R(t) = 1 - F_T(t) \quad (2.3)$$

$F_T(t)$ merupakan fungsi distribusi kerusakan. Jadi fungsi keandalan merupakan komplemen dari fungsi distribusi kumulatif life time sistem tersebut.

Sedangkan fungsi kerapatan $f_T(t)$ adalah :

$$f_T(t) = \frac{dF_T(t)}{dt} = \frac{d(1 - R(t))}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.4)$$

$$1 - R(t) = \int_0^t f_T(t) dt$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f_T(t) dt \quad (2.5)$$

Sehingga,

$$R(t) = \int_t^{\infty} f_T(x) dx \quad (2.6)$$

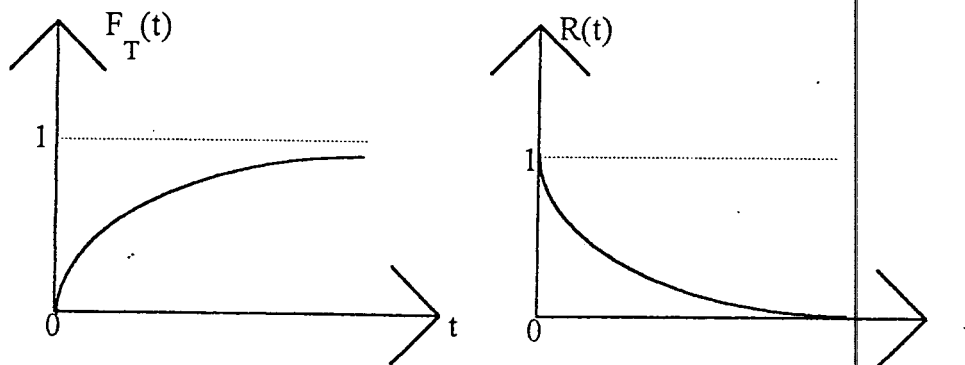
2.1.3 Mean Time To Failure (MTTF)

Keandalan dari suatu sistem seringkali diberikan dalam bentuk angka yang menyatakan ekspektasi masa pakai sistem tersebut, yang dinotasikan dengan $E(T)$ dan sering disebut dengan rata-rata waktu kerusakan atau MTTF. MTTF hanya dipergunakan pada komponen yang sekali mengalami kerusakan harus diganti dengan komponen yang baru dan baik. Rata-rata waktu kerusakan dirumuskan sebagai berikut :

$$E[T] = \int_0^{\infty} t f_T(t) dt \quad (2.7)$$

$$= \int_0^{\infty} t dF_T(t) dt \quad (2.8)$$

Grafik Fungsi distribusi kerusakan dan distribusi keandalan adalah sebagai berikut



Gambar 2.1 Kurva distribusi kerusakan dan keandalan

Untuk peralatan bila mengalami kerusakan dapat diperbaiki, sehingga menjadi baik seperti pada kondisi baru, maka rata-rata waktu kerusakan dinyatakan dengan Mean Time Between Failure (MTBF).

2.1.4 Laju Kerusakan

Laju kerusakan menyatakan banyaknya kerusakan yang terjadi tiap satuan waktu.

Laju kerusakan dinyatakan dalam $\lambda(t)$, hubungan $R(t)$ dengan λ adalah :

$$R(t) = \exp \left(- \int_0^t \lambda(x) dx \right) \quad (2.9)$$

Laju kerusakan di atas lebih dikenal sebagai fungsi kerusakan atau hazard function atau instantaneous Failure, $h(t)$ dan $\int_0^t h(t) = H(t)$ disebut Integrated Hazard Function, sehingga $R(t)$ bisa ditulis :

$$R(t) = \exp(-H(t)) \quad (2.10)$$

Failure rate juga dapat ditulis :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(T \leq t + \Delta t / T > t)}{\Delta t} \quad (2.11)$$

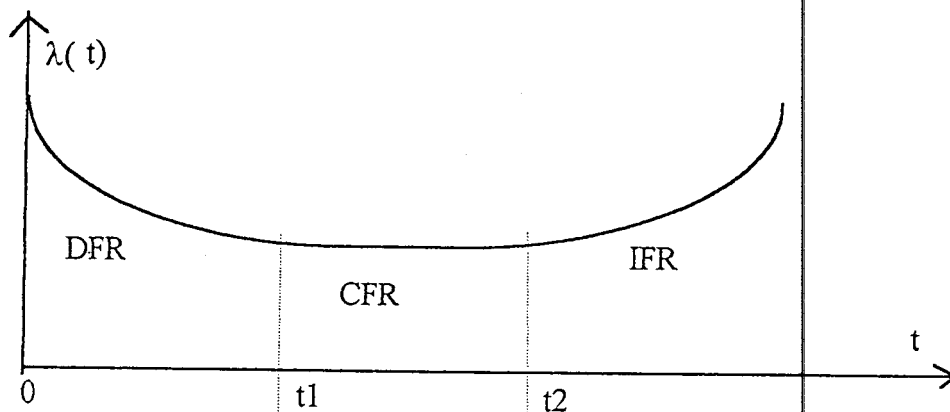
Dengan pendekatan dapat juga ditulis :

$$\lambda(t)\Delta t \approx P(T \leq t + \Delta t / T > t) \quad (2.12)$$

Menyatakan peluang komponen yang sampai saat t belum rusak dan rusak paling lambat Δt lagi.

2.1.5 Klasifikasi distribusi kerusakan

Kerusakan suatu mesin mempunyai pola tertentu sesuai dengan periode waktu beroperasi. Gambaran laju kerusakan suatu komponen atau mesin terhadap waktu adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2 Kurva Bathub

Menurut failure rate klasifikasi distribusi adalah sebagai berikut

1. Decreasing Failure Rate (DFR)

Berdistribusi weibull dengan $\lambda(t) = a t^b$, untuk $b < 0$, dengan sifat negatif memory. Sebagai permulaan bekerjanya peralatan. Laju kerusakan menurun seiring bertambahnya waktu. Kerusakan yang terjadi biasanya disebabkan oleh kesalahan desain produksi.

2. Constant Failure Rate (CFR)

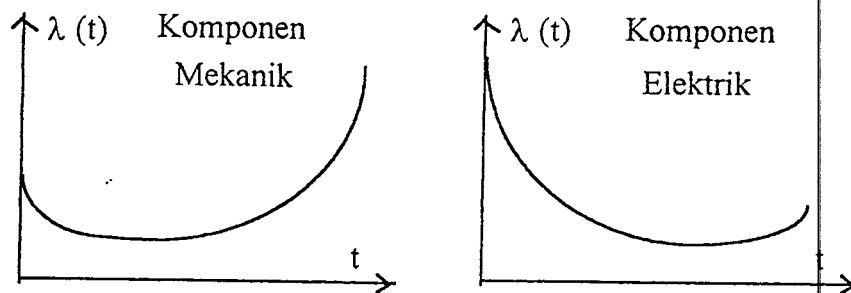
Berdistribusi Eksponensial dengan $\lambda(t) = \lambda$, sifat no memory. Pada saat ini laju kerusakannya tetap. Kerusakan yang terjadi bersifat random yang dipengaruhi lingkungan bekerjanya peralatan. Periode ini merupakan pemakaian dalam kondisi normal.

3. Increasing Failure Rate (IFR)

Berdistribusi Weibull dengan $\lambda(t) = at^b$ untuk $b > 0$, dengan sifat positif memory. Laju kerusakan kerusakan naik seiring dengan bertambahnya waktu.

Hal ini terjadi karena proses keausan peralatan.

Laju kerusakan komponen mekanik dan elektrik

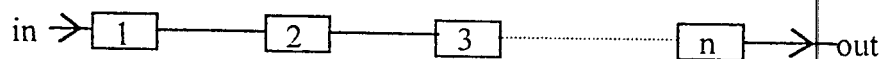


Gambar 2.3 Kurva bathub komponen mekanik dan elektrik

2.1.6 Keandalan Sistem

Keandalan sistem tergantung dari keandalan komponen dan struktur dari sistem. Keandalan sistem merupakan fungsi dari keandalan komponen. bentuk fungsinya ditentukan oleh struktur dari sistemnya.

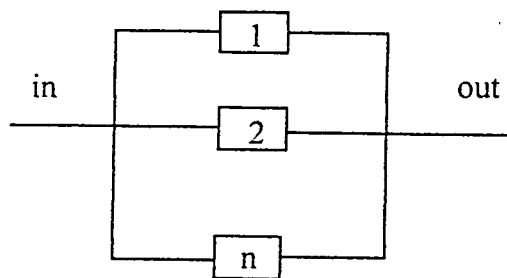
1. Struktur seri



Gambar 2.4 Struktur seri pada keandalan sistem

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n \quad (213)$$

2. Struktur paralel



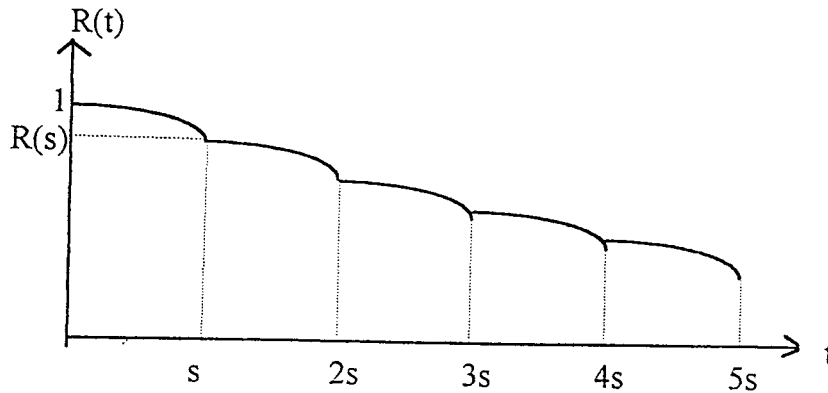
Gambar 2.5 Struktur paralel pada keandalan sistem

$$R_s = 1 - \{(1-R_1)(1-R_2) \dots (1-R_n)\} \quad (2.14)$$

2.2 Perawatan

Suatu mesin produksi jika terus menerus dioperasikan akan mengalami penurunan kinerja, keandalan dan ketersediannya. Perawatan dapat dikatakan sebagai kombinasi pekerjaan untuk mengganti, memperbaiki, memodifikasi komponen, dan lain-lain dari proses manufaktur. Sehingga peralatan produksi dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan untuk jangka waktu tertentu. Masalah yang ada dalam perawatan adalah menentukan ukuran dan macam beban kerja perawatan serta organisasi dan pengendalian tenaga kerja, suku cadang, dan peralatan untuk mencapai beban kerja tersebut.

Tujuan perawatan adalah untuk menaikkan keandalan. Biasanya untuk lifetime komponen yang bukan berdistribusi eksponensial, komponen dirawat secara periodik dengan periode perawatan = s .



Gambar 2.6 Kurva keandalan sistem dengan perawatan periodik

R_M : Keandalan sistem / komponen dengan perawatan secara periodik.

Secara umum untuk N kali perawatan adalah :

$$Ns \leq t \leq (N+1)s \rightarrow R_M = R(s)^N R(t - Ns) \quad (2.15)$$

Sehingga

$$MTTF_M = \int_0^{\infty} R_M(t) dt \quad (2.16)$$

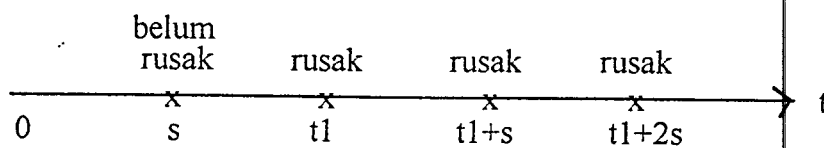
$$MTTF_M = \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)} \quad (2.17)$$

Program perawatan seringkali dikaitkan dengan biaya perawatan, karena perawatan yang terlalu sering, menyebabkan biaya perawatan yang cukup besar. Sedangkan bila perawatan jarang kerusakan sering terjadi sehingga menyebabkan

biaya kerusakan juga besar. Dengan demikian harus dicari titik optimumnya, untuk tiap berapa satuan waktu komponen dirawat supaya total biaya minimum. Dengan asumsi bahwa tiap perawatan komponen diganti yang baru.

Jika interval perawatan adalah s , maka komponen diganti setelah dipakai selama s (jika belum rusak) atau pada saat rusaknya.

Diagram waktu penggantian :



Gambar 2.7 Diagram waktu penggantian

Misalkan :

C_F = biaya penggantian karena rusaknya komponen

C_M = biaya penggantian karena program perawatan

C_F selalu lebih besar dari C_M , karena pada waktu komponen rusak sistem macet. Sehingga ada biaya kemacetan.

$$C_F = C_M + \text{biaya kemacetan} \quad (2.18)$$

N = berapa kali penggantian terprogram

N = berapa kali kerusakan yang terjadi dalam satu selang waktu.

Maka total biayanya adalah :

$$= N_M C_M + N_F C_F \quad (2.19)$$

Total penggantian :

$$N = N_F + N_M \quad (2.20)$$

Komponen diganti setelah s , maka umur komponen $T \leq s$, sehingga diperoleh Mean Time Between Replacement (MTBR)

$$MTBR = \int_0^s R(t)dt \quad (2.21)$$

Dengan total penggantian :

$$N = \frac{t}{MTBR} \quad (2.22)$$

Proporsi dari komponen yang tidak rusak setelah dipakai selama s adalah $R(s)$. Oleh karena itu :

$$N_M = R(s)N \quad (2.23)$$

$$= \frac{tR(s)}{\int_0^s R(t)dt} \quad (2.24)$$

$$N_F = \frac{(1 - R(s))t}{\int_0^s R(t)dt} \quad (2.25)$$

Total biaya :

$$C = N_M C_M + N_F C_F \quad (2.26)$$

$$C = \frac{tR(s)C_M}{\int_0^s R(t)dt} + \frac{(1 - R(s))tC_F}{\int_0^s R(t)dt} \quad (2.27)$$

Rumus di atas hanya mengandung satu variabel sehingga supaya total biaya minimum diambil turunannya sama dengan nol. Sehingga diperoleh persamaan :

$$\lambda(s) \int_0^s R(t) dt + R(s) = \frac{C_F}{C_F - C_M} \quad (2.28)$$

Misalkan,

$$R(t) = e^{-(t/e)^m} \quad (2.29)$$

$$\lambda(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} \quad (2.30)$$

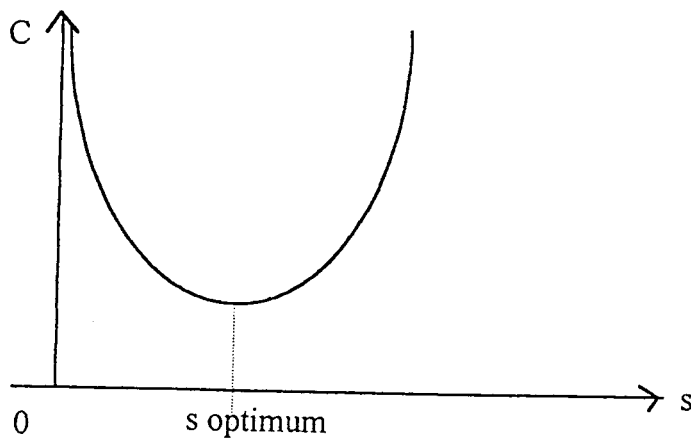
$$= \frac{m}{e} \left(\frac{t}{e}\right)^{m-1} \quad (2.31)$$

Dengan $R(t)$ dideretkan menurut deret Euler diperoleh persamaan :

$$s \approx e \left(\frac{C_M}{(C_F - C_M)(m-1)} \right)^{1/m} \quad (2.32)$$

e dan m diketahui dari $R(t)$.

Grafik biaya Totalnya



Gambar 2.8 Grafik total biaya perawatan

2.2.1 Jenis Perawatan

Ada dua macam perawatan, yaitu perawatan pencegahan dan perawatan perbaikan.

1. Perawatan Pencegahan

Perawatan pencegahan adalah perawatan yang dilakukan pada selang waktu tertentu yang telah ditentukan sebelumnya, tanpa melihat sistem mengalami kerusakan atau tidak. Dalam perawatan pencegahan suku cadang yang rusak diganti, diberi pelumas, atau diadakan setting peralatan sebelum terjadi kerusakan. Tujuannya adalah untuk meningkatkan keandalan sistem untuk jangka panjang dengan menghindari efek-efek keausan seperti karat, kelelahan dan fenomena lainnya. Perawatan akan meningkatkan life time, menurunkan tingkat kerusakan, dan meningkatkan MTTF sistem.

2. Perawatan Perbaikan

Perawatan perbaikan dilakukan setelah terjadi kerusakan mesin, dengan demikian mesin akan dapat beroperasi kembali. Perawatan perbaikan merupakan tindakan perawatan yang tidak direncanakan. Perbaikan mengikuti kerusakan yang terjadi, atau dengan kata lain tidak ada yang dikerjakan sampai terjadi kerusakan pada sistem.

Perawatan perbaikan meliputi penggantian suku cadang, penyesuaian, reparasi untuk jangka waktu pendek untuk mengembalikan sistem ke fungsi operasionalnya semula. Biaya perawatan perbaikan lebih besar daripada biaya perawatan pencegahan. Oleh sebab itu perawatan pencegahan juga bertujuan mengurangi perawatan perbaikan.

2.2.2 Biaya Perawatan

Struktur biaya perawatan meliputi :

1. Biaya suku cadang untuk komponen yang dipergunakan dan yang harus diganti atau diperbaiki
2. Biaya tenaga kerja
3. Biaya Down Time, yaitu kerugian yang ditimbulkan akibat sistem tak dapat berfungsi. Biaya ini disebut biaya kesempatan yang hilang akibat sistem tak dapat berfungsi (Opportunity Cost).

2.2.3 Model Jadwal Perawatan yang Ideal

Sebuah komponen dianggap tidak dapat diperbaiki, tetapi dapat menerima perawatan secara periodik. Perawatan dikatakan ideal jika tidak membutuhkan waktu sama sekali dalam pelaksanaannya dan jika komponen kembali menjadi seperti baru setelah perawatan selesai dilakukan. Walaupun komponen tidak dapat diperbaiki dan dibuang bila rusak, alasan penjadwalan perawatan tetap untuk meningkatkan lifetime komponen dan menunda kerusakan.

Jika komponen memiliki laju kerusakan yang konstan, waktu kerusakannya berdistribusi eksponensial. Dengan kata lain, peluang kerusakan selama pertambahan waktu berikutnya tetap tidak berubah sepanjang lifetime komponen tersebut, menunjukkan bahwa komponen itu sebaik yang baru tidak peduli berapa lama ia telah dioperasikan. Pada kasus ini, perawatan preventive tidak relevan.

Jika komponen memiliki laju kerusakan yang menurun, komponen tersebut bertambah baik seiring waktu, maka perawatan yang bertujuan untuk mengembalikan komponen ke kondisi seperti baru adalah jelas tidak menguntungkan dan tidak disarankan.

Perawatan terjadwal bermanfaat hanya jika komponen mempunyai laju kerusakan meningkat. Hampir semua sistem mekanik termasuk kategori ini.

f_T = fungsi kerapatan kerusakan

T_M = selang waktu baku antar kerusakan

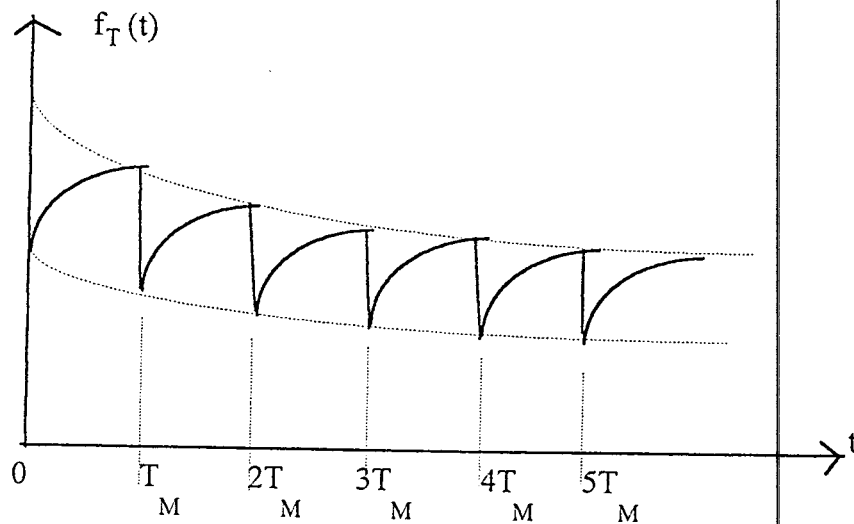
$f_1(t) = f_T(t)$, untuk $0 < t \leq T_M$

$f_1(t) = 0$, lainnya

Fungsi kerapatan setelah perawatan :

$$f_T^*(t) = \sum_{k=0}^{\infty} f_1(t - kT_M) R^k(T_M) \quad (2.33)$$

Pada gambar berikut skala waktu dibagi dengan selang waktu yang sama T_M . Fungsi $f_T^*(t)$ dalam setiap segmen didasarkan pada segmen yang sebelumnya dengan skala faktor yang sama dengan $R(T_M)$. Penyekalaan faktor juga sama dengan fraksi dari komponen yang memasuki sebuah segmen yang berlanjut sampai segmen berikutnya.



Gambar 2.9 Perawatan dengan waktu terjadwal

Dari gambar dapat dilihat bahwa fungsi kerapatan dari lifetime komponen dengan perawatan preventive menunjukkan kecenderungan eksponensial. Efek yang penting dari perawatan preventive periodik adalah untuk mengubah fungsi kerapatan kerusakan dari bentuk aslinya ke bentuk yang berkarakter eksponensial.

2.3 Pendugaan Distribusi dan Parameter Keandalan

Parameter-parameter keandalan dapat diperkirakan atau diketahui dengan beberapa cara. Di sini dipakai pengumpulan data kerusakan sistem, mesin atau suku cadang. Apabila data kerusakan telah didapat kemudian dicari parameter dengan metode parametrik dan nonparametrik.

Dalam metode nonparametrik data dari hasil suatu tes langsung diplot, tanpa mencoba dengan kecocokannya dengan distribusi statistik.

Metode parametrik lebih disukai karena metode ini mencocokkan data keandalan dengan beberapa distribusi statistik. Untuk menyatakan distribusi kerusakan, yang pertama dilakukan adalah menentukan distribusi yang digunakan kemudian menentukan parameternya.

2.3.1 Pendugaan Distribusi

Data waktu antar kerusakan dan lama perbaikan yang telah terkumpul, kemudian dicari distribusinya. Pola distribusi ini dibandingkan dengan pola distribusi yang ada, serta aplikasi dari penggunaan distribusi tersebut. Beberapa distribusi diteliti dan ditetapkan dalam aplikasi.

Adapun cara untuk memilih distribusi kontinyu adalah dengan metode Heuristik point statistik. Sebagai penduga awal metode ini mempergunakan koefisien varians.

Dikatakan $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ adalah data hasil pengamatan yang bersifat identik dan independen maka taksiran koefisien variansi adalah perbandingan deviasi standar dengan mean sampel.

$$\delta = \frac{S}{\bar{x}} \quad (2.34)$$

di mana,

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k} \quad (2.35)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{k-1}} \quad (2.36)$$

Kriteria-kriteria koefisien variansi sebagai berikut :

$\delta = 1$: data berdistribusi Eksponensial

$\delta < 1$: data berdistribusi Gamma atau Weibull dengan $\alpha > 1$

$\delta > 1$: data berdistribusi Gamma atau Weibull dengan $\alpha < 1$

Beberapa distribusi Normal, lognormal, Uniform mempunyai kesulitan jika menggunakan metode ini. Sebab jika mean = 0, data tidak tergambar dengan baik untuk nilai δ . Pada pembahasan nanti δ hanya digunakan sebagai penduga awal distribusi.

2.3.2 Pendugaan Parameter Distribusi

Langkah setelah distribusi diketahui adalah menduga parameternya. Beberapa parameter distribusi data adalah :

1. Parameter lokasi (γ) menyatakan titik lokasi pada sumbu absis (horisontal) dari harga interval distribusi, merupakan titik tengah dari interval. Bila γ berubah, maka harganya berubah.
2. Parameter skala (β) menyatakan skala pengukuran dari nilai-nilai dalam range distribusi. Perubahan β akan mengakibatkan perubahan bentuk dasar distribusi.
3. Parameter bentuk (α) menentukan perbedaan lokasi dan skala distribusi.

Pendugaan parameter distribusi dapat dilakukan dengan beberapa metode. Di sini digunakan perangkat lunak Statgraphics yang dapat dengan cepat menduga parameter-parameter distribusi suatu data.

2.3.3 Uji Hipotesa Distribusi

Urutan pembagian pengujian hipotesa distribusi adalah sebagai berikut :

1. Uji kecocokan Distribusi

Langkah selanjutnya adalah menguji kecocokan distribusi tersebut. Metode yang digunakan adalah Kolmogorof Smirnof.

Jika ditarik sampel acak suatu fungsi distribusi $F(x)$ yang belum diketahui.

Akan timbul permasalahan apakah $F(x) = F_0(x)$, maka akan terdapat

kecocokan yang erat (kecuali dalam hal variabilitas sampling) antara $F_0(x)$ dan $S(x)$, fungsi distribusi sampel atau fungsi distribusi empirik. Sasaran uji sampel tunggal Kolmogorof Smirnof adalah menegaskan apakah kurangnya kecocokan antara $F_0(x)$ dan $S(x)$ memadai untuk menyatakan keraguan terhadap hipotesis nol yang menyatakan bahwa $F(x) = F_0(x)$. Langkah-langkah uji ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Asumsi data terdiri dari hasil-hasil pengamatan bebas X_1, X_2, \dots, X_n yang merupakan sebuah sampel acak berukuran n dari suatu fungsi distribusi yang belum diketahui dan dinyatakan dengan $F(x)$.

Hipotesis :

Jika $F_0(x)$ sebagai fungsi distribusi yang dihipotesiskan (fungsi peluang kumulatif), maka kita dapat menyatakan hipotesa tandingannya sebagai berikut

1. Dua sisi
 - $H_0 : F(x) = F_0(x)$ untuk semua nilai x
 - $H_1 : F(x) \neq F_0(x)$ untuk sekurangnya sebuah nilai x
2. Satu sisi
 - $H_0 : F(x) \geq F_0(x)$ untuk semua nilai x
 - $H_1 : F(x) < F_0(x)$ untuk sekurangnya sebuah nilai x
3. Satu sisi
 - $H_0 : F(x) \leq F_0(x)$ untuk semua nilai x
 - $H_1 : F(x) > F_0(x)$ untuk sekurangnya sebuah nilai x

2. Statistik Uji

Jika $S(x)$ menyatakan fungsi distribusi sampel atau fungsi peluang kumulatif yang dihitung dari data sampel..

$S(x)$:

Proporsi nilai-nilai pengamatan dalam sampel yang kurang dari atau sama dengan x .

Statistik uji ini bergantung pada hipotesa yang diminati.

A. Untuk uji dua sisi statistik uji kita adalah

$$D = \max[S(x) - F_0(x)]$$

Apabila kedua fungsi tersebut disajikan secara grafik D adalah jarak vertikal terjauh antara $S(x)$ dan $F_0(x)$.

B. Untuk uji satu sisi dengan hipotesa tandingan yang menetapkan bahwa

$F(x) < F_0(x)$, statistik uji kita adalah

$$D^+ = \max[F_0(x) - S(x)]$$

Apabila disajikan dalam bentuk grafik statistik ini merupakan jarak vertikal terjauh antara $F_0(x)$ dan $S(x)$, di mana fungsi yang dihipotesiskan $F_0(x)$ terletak di atas fungsi sampel $S(x)$.

C. Untuk uji satu sisi dengan hipotesa tandingan yang menetapkan

$F(x) > F_0(x)$, statistik uji kita adalah

$$D^- = \max [S(x) - F_0(x)]$$

Bila disajikan dalam bentuk grafik, statistik uji ini merupakan jarak vertikal terjauh antara $S(x)$ dan $F_0(x)$, manakala $S(x)$ terletak di atas $F_0(x)$.

3. Pengambilan keputusan

Tolak H_0 pada taraf nyata α jika statistik uji yang diminati D , D^+ , D^- lebih besar dari kuantil $1-\alpha$ yang terdapat pada lampiran. Jika data sampel telah ditarik distribusi yang dihipotesiskan, kecocokan antara $S(x)$ dan $F_0(x)$ untuk semua nilai x yang diamati harus cukup dekat bila H_0 benar.

2.3.4 Model Distribusi

Peluang kerusakan suatu peralatan atau sistem dapat dicocokkan dengan distribusi statistik. Distribusi statistik yang sering digunakan dalam analisa keandalan adalah distribusi Eksponensial, Weibull dan Normal. Jika laju kerusakan dari sistem independen terhadap umurnya dan karakteristik-karakteristik lain dari sejarah pengoperasiannya, maka yang lebih tepat digunakan adalah distribusi eksponensial. Karena distribusi eksponensial berhubungan dengan laju kerusakan yang konstan. Jika laju kerusakan dari sistem bergantung waktu, atau laju kerusakan meningkat seiring bertambahnya umur sistem, maka yang digunakan adalah distribusi Normal, Lognormal dan Weibull.

1. Distribusi Eksponensial

Fungsi kepadatannya, dimana λ = parameter

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.37)$$

sedangkan fungsi kumulatifnya

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.38)$$

Fungsi keandalannya :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.39)$$

λ = parameter

$$\lambda(t) = \lambda$$

$$MTTF = 1/\lambda \quad (2.40)$$

2. Ditrubusi Normal

Fungsi kepadatannya :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.41)$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \right] dt \quad (2.42)$$

atau dengan bantuan tabel Normal dinyatakan :

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.43)$$

Sedangkan keandalannya :

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.44)$$

Laju kerusakannya adalah :

$$\lambda(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \left(1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right)^{-1} \quad (2.45)$$

$$\text{MTTF} = \mu \quad (2.46)$$

3. Distribusi Weibull

Seringkali digunakan dalam perhitungan keandalan, dengan adanya parameter-parameter dalam distribusi weibull, bentuk-bentuk perilaku kerusakan dapat lebih mudah dimodelkan.

Fungsi padat distribusi Weibull :

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (2.47)$$

laju kerusakannya :

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \quad (2.48)$$

untuk $\alpha = \text{shape parameter}, \alpha > 0$

$\beta = \text{scale parameter}, \beta > 0$

Hazard function :

$$H(t) = \int \lambda(t) dt \quad (2.49)$$

$$= \left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha \quad (2.50)$$

Fungsi kumulatif kerusakannya :

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (2.51)$$

Harga keandalannya :

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (2.52)$$

Dengan mengintegrasikan keandalan antara 0 sampai tak hingga didapatkan

$$MTTF = \beta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (2.53)$$

di mana,

$$\Gamma(n) = \int_0^\infty x^{n-1} e^{-x} dx \quad (2.54)$$

2.4 Availability

Availability dinyatakan sebagai :

A : peluang sistem dalam kondisi baik

\bar{A} : peluang sistem dalam kondisi rusak

$$A + \bar{A} = 1 \quad (2.55)$$

Nilai dari availability dari sistem tergantung pada keandalan komponen-komponen sistem dan lama perbaikan dari komponen yang rusak sehingga sistem dapat berfungsi kembali. Untuk mencari nilai A dapat dipergunakan model Markov, dengan asumsi :

1. Waktu antar kerusakan berdistribusi Ekponensial dengan rata-rata (mean)
= $1/\lambda$
2. Lama perbaikan berdistribusi Eksponensial dengan rata-rata (mean) = $1/\mu$,

di mana,

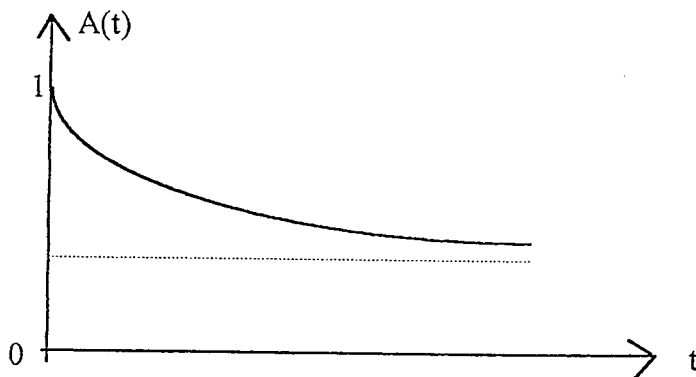
λ : laju kerusakan

μ : laju perbaikan

$A(t)$ = peluang sistem dalam kondisi baik pada saat t

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (2.56)$$

Dalam grafiknya $A(t)$ dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 2.10 Grafik availability sistem

Untuk $t \rightarrow \infty$, maka,

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (2.57)$$

$$\bar{A} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (2.58)$$

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.59)$$

Sebuah komponen dengan laju kerusakan λ dan laju perbaikan μ , maka

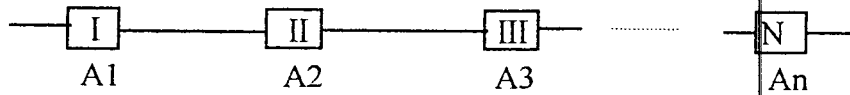
$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.60)$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (2.61)$$

Dalam model Markov kondisi dari sistem dinyatakan dalam state. Sistem akan berada pada salah satu state pada suatu saat yang nantinya akan pindah ke state yang lain dengan rate perpindahan yang diberikan oleh λ dan μ , di mana λ adalah laju kerusakan dan μ adalah laju perbaikan

Availability untuk sistem yang mempunyai struktur seri dan paralel dapat dicari sebagai berikut :

1. Struktur seri

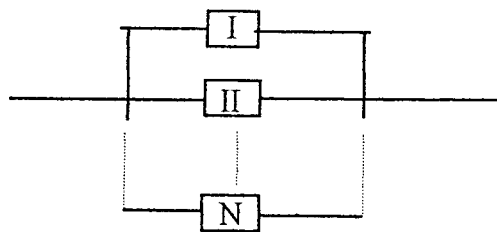


Gambar 2.13 Struktur seri availability

A_s = Probabilitas sistem tersedia

$$= A_1.A_2.A_3. \dots .A_n \quad (2.62)$$

2. Struktur Paralel



Gambar 2.14 Struktur paralel availability

$$A_s = 1 - \{(1-A_1).(1-A_2). \dots .(1-A_n)\} \quad (2.63)$$

2.5 Studi Kasus Analisis Keandalan

Berikut ini disajikan hasil penelitian yang dilakukan oleh beberapa mahasiswa TI ITS. Dari studi kasus ini digunakan sebagai bahan kajian dan perbandingan untuk penelitian yang akan dibahas.

2.5.1 Studi Kasus Analisis Keandalan di PT IPTN Bandung

Studi kasus ini dilakukan Erwinsyah (1993) di PT Industri Pesawat Terbang Nusantara (IPTN) Bandung.

Direktorat Universal Maintenance Center (UMC) merupakan salah satu direktorat yang ada di PT IPTN yang berdiri pada tahun 1984, dengan tujuan sebagai tempat merawat dan memperbaiki mesin pesawat terbang, mesin kapal laut serta mesin-mesin industri.

Urutan penelitian di PT IPTN adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data

Tiga sampel yang dianalisis keandalannya dalam penelitian seperti dalam tabel berikut.

Tabel 2.1 Jumlah kerusakan komponen di PT IPTN

| Part number | Nama komp. | Terjadinya kerusakan | | | | | Total |
|-------------|---------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-------|
| | | '88 | '89 | '90 | '91 | '92 | |
| 868272_1 | Turbine wheel | 3 | 2 | _ | 1 | 2 | 8 |
| 868630_8 | Turbine wheel | _ | 3 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| 868379_5 | Stator Assy | 1 | _ | _ | 2 | 3 | 6 |

Tabel 2.2 Data waktu antar kerusakan komponen di PT IPTN

| 2nd Stage | 3rd Stage | 3rd Stage |
|---------------|-------------|---------------|
| Turbine Wheel | Stator Assy | Turbine Wheel |
| 4.550 | 3.521 | 3.986 |
| 3.975 | 5.284 | 4.127 |
| 5.025 | 4.550 | 3.554 |
| 4.963 | 2.485 | 2.550 |
| 2.485 | 5.325 | 4.235 |
| 5.106 | 1.960 | 3.798 |
| 5.312 | | |
| 5.284 | | |

2. Pengolahan Data

Hasil uji kecocokan distribusi dan parameter keandalan masing-masing komponen

Tabel 2.3 Hasil uji distribusi dan parameter komponen di PT IPTN

| Part number | Nama Komp | Uji Kecocokan | | Par. Keandalan | |
|-------------|-------------|---------------|----------|----------------|---------|
| | | Nilai S | S. Tabel | α | β |
| 868272_1 | Turbine W. | 0,15 | 0,65 | 4.988,43 | 4.727 |
| 868630_8 | Turbine W. | 0,2 | 0,66 | 3.973,6 | 6.059 |
| 868379_5 | Stator Assy | 0,21 | 0,66 | 4.365,73 | 2.615 |

Dari Tabel dengan tingkat kepercayaan sebesar 90 % bisa dilihat bahwa nilai S uji statistik lebih kecil dari nilai S Tabel, sehingga dapat dikatakan bahwa waktu antar kerusakan berdistribusi Weibull.

Dengan memasukkan α dan β pada fungsi distribusi Weibull, maka fungsi laju kerusakan dan keandalan bisa diketahui.

3. Analisis Perhitungan Model Persediaan

Saat ini proses penentuan optimal untuk setiap komponen dari semua tipe pesawat menggunakan periode perencanaan sebesar satu tahun. Sedangkan penelitian akan mengusulkan model persediaan dengan model persediaan untuk periode 1, 2, 3 tahun.

Sebagai perbandingan perhitungan persediaan optimal di gunakan komponen 3rd Stator Assy sebagai sampel.

Hasil perhitungan persediaan optimal komponen 3rd Stage Stator Assy dengan menggunakan model sistem persediaan saat ini.

Tabel 2.4 Persediaan komponen optimal di PT IPTN saat ini

| Periode Perencanaan | Dmd T | Dmd L | r | Q | ss | OT |
|---------------------|-------|-------|---|---|----|--------|
| 1 tahun | 3 | 2 | 5 | 1 | 3 | 11.543 |
| 2 tahun | 5 | 3 | 7 | 1 | 4 | 29.501 |
| 3 tahun | 5 | 3 | 7 | 1 | 4 | 44.084 |

Hasil perhitungan persediaan optimal komponen 3rd Stator Assy dengan model sistem yang diusulkan.

Tabel 2.5 Persediaan komponen optimal di PT IPTN yang diusulkan

| Periode | Dmd T | Dmd L | r | Q | ss | OT |
|---------|-------|-------|---|---|----|--------|
| 1 tahun | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 6.477 |
| 2 tahun | 8 | 3 | 5 | 2 | 2 | 23.562 |
| 3 tahun | 23 | 5 | 8 | 2 | 3 | 49.698 |

Dari kedua tabel dapat dilihat bahwa

$$6477 + 23562 + 49698 = 79737 \quad (\text{model yang diusulkan})$$

$$11543 + 29501 + 44084 = 85128 \quad (\text{model yang ada saat ini})$$

$$\text{selisih} = 85128 - 79737 = 5391 \quad (\text{biaya yang bisa dihemat dengan menggunakan model yang diusulkan}).$$

2.5.2 Penentuan Interval Perawatan Pencegahan Mesin Roller Mill di PT Semen Gresik (PERSERO) - Gresik

Penelitian dilakukan oleh Chico Choiruddin (1993) di PT Semen Gresik (PERSERO) Gresik.

Perawatan merupakan hal yang harus dilakukan pada setiap mesin produksi agar mesin-mesin itu beroperasi dengan baik. Perawatan dan penggantian dilakukan untuk meningkatkan keandalan dan mengurangi ongkos dari kerusakan mesin.

Pengendalian persediaan komponen adalah untuk mendukung program penggantian komponen

Urutan penelitian di PT Semen Gresik adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan adalah

- * Waktu antar kerusakan
- * Waktu perbaikan
- * Tenaga kerja perbaikan

2. Pendugaan Awal Distribusi dan Parameter Keandalan

Tabel 2.6. Pendugaan awal distribusi dan parameter keandalan

| Pendugaan awal | Distribusi | Parameter Distribusi | | | | |
|----------------|------------|----------------------|---------------|----------|----------|------|
| Mesin A | MTR | δ | Distr. kerus. | α | β | Dn |
| Roler Mill | 11,2 | 0,55 | Weibull | 2,02 | 541,39 | 0,07 |
| Triple gate | 7,4 | 0,48 | Weibull | 2,34 | 713,02 | 0,08 |
| Classifier | 6,8 | 0,5 | Weibull | 1,99 | 1.225,28 | 0,1 |
| Loading C. | 5,2 | 0,45 | Weibull | 2,49 | 1.487,22 | 0,15 |
| HSS | 4,6 | 0,48 | Weibull | 1,99 | 1.336,38 | 0,11 |
| Roler C. Sys | 4 | 0,64 | Weibull | 1,75 | 1.265,26 | 0,11 |
| Reducer BS | 5 | 0,52 | Weibull | 2,15 | 1.439,68 | 0,11 |

Dengan tingkat kepercayaan 95 % pada tabel diperoleh kesimpulan H_0 diterima sehingga disimpulkan distribusi fungsi padat kerusakan mesin Roller Mill adalah distribusi Weibull.

3. Interval Waktu Perawatan

Untuk mendapatkan interval waktu perawatan yang optimal dilakukan perhitungan dua kali

1. Perhitungan awal

merupakan perhitungan yang sudah mencapai titik optimal

2 Perhitungan akhir

merupakan perhitungan yang paling tepat untuk kondisi suatu pabrik yang berdasarkan kelipatan.

Dari perhitungan diperoleh bahwa interval perawatan yang optimal adalah 13 hari dengan biaya 296907 rupiah tiap jam..

2.5.3 Analisis Keandalan Mesin Carding untuk Menentukan Periode

Perawatan dan Persediaan Suku Cadang di PT Patal Lawang

Penelitian dilakukan oleh Bayu Suryawan (1993) pada mesin Carding di PT Patal Lawang.

Mesin Carding adalah suatu mesin atau peralatan untuk memisahkan serat menjadi elemen tunggal, mengeluarkan kotoran-kotoran, serat pendek dan mensejajarkan satu dengan lainnya pada pabrik pemintalan benang.

Di PT Patal Lawang mesin-mesin memproduksi selama 24 jam sehari. Salah satu urutan proses produksinya adalah proses mesin Carding.

Beberapa komponen yang menjadi penelitian analisis keandalan pada mesin Carding adalah

1. V Belt B71
2. V Belt B101
3. V Belt A54

Penentuan distribusi mesin Carding didasarkan pada significance level paling tinggi.

Tabel 2.7 Significance Level Komponen Mesin Carding di PT PATAL

| Distribusi | Parameter | Dn | Sign. L. |
|-------------|------------------------------------|------|----------|
| Weibull | $\alpha = 2,02$ $\beta = 50,33$ | 0,1 | 0,96 |
| Normal | $\mu = 44,38$ $\sigma = 23,93$ | 0,14 | 0,7 |
| Ekponensial | $\lambda = 44,38$ | 0,26 | 0,07 |

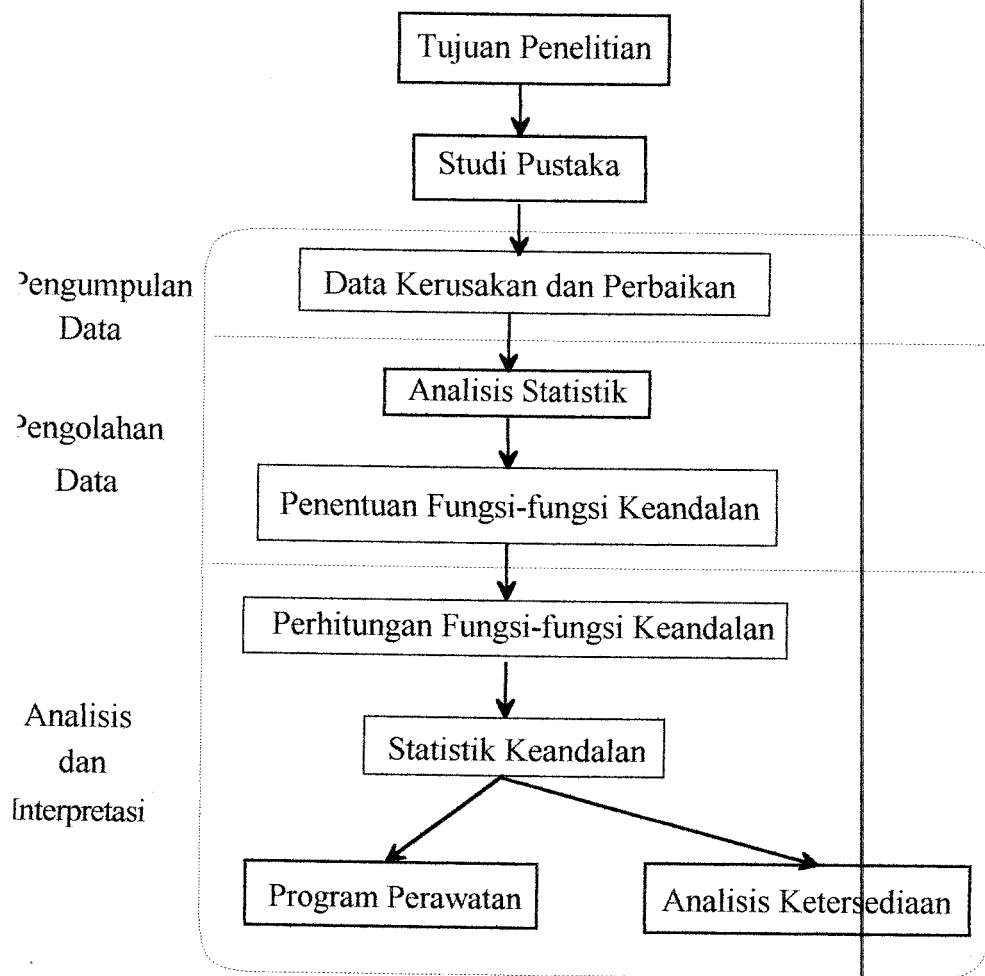
Dari tabel di atas disimpulkan bahwa distribusi kerusakan mesin Carding adalah cukup kuat untuk dikatakan berdistribusi Weibull jika dibandingkan dengan distribusi Normal atau Ekspensial.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Urutan langkah-langkah penelitian yang jelas berguna untuk mendapatkan hasil yang baik dalam penelitian. Hal ini juga memberikan kemudahan dalam membuktikan kebenaran, melakukan analisis, memperbaiki kesalahan, dan bermanfaat bagi pengembangan penelitian selanjutnya.

Berdasarkan penelitian dan tujuan yang ingin dicapai dibahas langkah-langkah yang dilakukan dalam penyelesaian masalah. Adapun langkah-langkah tersebut secara skematis dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Skema metodologi penelitian analisis keandalan

Berdasarkan metodologi penelitian analisis keandalan yang sudah dibuat, penjelasan urutan langkah demi langkah penelitian adalah sebagai berikut.

3.1 Tujuan Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah menetapkan tujuan. Sedangkan tujuan yang ingin dicapai didasarkan pada permasalahan yang ada, yaitu keandalan suatu mesin.

Tujuan penelitian adalah untuk menentukan waktu perawatan yang optimal. Dalam penelitian ini digunakan teknik keandalan untuk membuat sistem perencanaan perawatan.

Perawatan dalam suatu pabrik adalah hal yang sangat penting, sebab adanya kerusakan mesin membuat proses produksi terhambat sehingga produktivitas mesin menurun. Perusahaan yang profesional akan mengatasi hambatan tersebut dengan seksama. Untuk itu pihak manajemen tentu melakukan sistem perencanaan yang baik dengan mempertimbangkan faktor ekonomis biaya.

Tujuan penelitian diuraikan lebih lengkap pada bab I.

3.2 Studi Pustaka

Literatur yang digunakan dalam penelitian ini terlampir dalam daftar pustaka. Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan teori yang berkaitan dengan masalah keandalan. Di samping itu ditambahkan pula mengenai studi kasus penelitian analisis

keandalan sebagai bahan kajian dan perbandingan dengan penelitian di PT ISI. Untuk untuk lebih lengkapnya diterangkan dalam bab II.

3.3 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Dalam bab ini diuraikan secara singkat gambaran sejarah dan perkembangan PT ISI dan mengenai produk yang dihasilkan, pengumpulan data kerusakan dan teknik pengolahannya.

Pengumpulan dan pengolahan data dibahas lebih rinci dalam bab IV. Seperti dalam gambar skema, pengumpulan dan pengolahan data meliputi urutan pengerjaan beberapa tahap.

3.3.1 Data Kerusakan dan Perbaikan

Data kerusakan meliputi :

1. Waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan
2. Biaya perawatan dan perbaikan

Biaya perawatan terbagi dalam :

1. Biaya tenaga kerja perawatan
2. Biaya suku cadang perawatan
3. Keuntungan yang hilang akibat perawatan

Biaya perbaikan terbagi dalam :

1. Biaya tenaga kerja perbaikan
2. Biaya suku cadang perbaikan
3. Biaya menganggur mesin akibat kerusakan

Kerusakan dalam hal ini terjadi pada mesin Elektrolisa II (ERII). Kerusakan terjadi karena mesin atau komponen tidak berfungsi sesuai dengan target. Dalam hal ini kerusakan yang umum terjadi pada mesin ERII disebabkan kebocoran mesin akibat perkaratan. Namun kerusakan bisa juga terjadi karena mesin mati mendadak karena arus berlebih atau sebab lain.

Data kerusakan diperoleh dari arsip perusahaan atau pencatatan dokumen perusahaan. Data kerusakan yang dimaksud adalah data waktu kerusakan dan lama perbaikan mesin ERII. Disamping data waktu kerusakan juga diperlukan data lain yaitu jumlah tenaga kerja serta biaya-biaya untuk analisis lebih lanjut.

3.3.2 Analisis Statistik

Dari data kerusakan yang masih belum diolah dilakukan analisis statistik. Dengan analisis statistik memudahkan dalam proses pengolahan data untuk analisis keandalan mesin. Proses pengolahan data secara statistik adalah sebagai berikut :

1. Pendugaan Awal Distribusi

Dari data waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan akan dilakukan pendugaan awal kemungkinan distribusi dengan mencari nilai rata-rata (\bar{x}),

standar deviasi (S) dan rasio antara standar deviasi dengan nilai rata-rata, dengan persamaan :

$$\delta = \frac{S}{\bar{x}}$$

Kriteria-kriteria koefisien variansi adalah sebagai berikut :

$\delta = 1$: data berdistribusi Eksponensial

$\delta < 1$: data berdistribusi Weibull dengan $\alpha > 1$

$\delta > 1$: data berdistribusi Weibull dengan $\alpha < 1$

Dengan menggunakan Statgraph dapat diketahui nilai rata-rata dari data dan standar deviasinya.

2. Pengujian Kolmogorof Smirnof

Setelah pendugaan awal distribusi dilakukan, pengujian berikutnya adalah Uji Kolmogorof Smirnof, untuk mengetahui apakah distribusi waktu antar kerusakan dan perbaikan tersebut berdistribusi Weibull dengan tingkat kepercayaan 99 %, atau dapat dituliskan :

H_0 : Weibull

dengan $\alpha = 0.01, n = 70$

$$DN, 99 \% = \frac{1.63}{\sqrt{70}} = 0.1948223$$

Dari hasil perhitungan DN untuk waktu antar kerusakan dan perbaikan bisa diambil suatu kesimpulan. Jika DN perhitungan lebih kecil dari DN tabel maka H_0 di terima dan disimpulkan bahwa pendugaan awal distribusi Weibull adalah benar. Sebaliknya Jika DN perhitungan lebih besar dari DN tabel maka H_0 ditolak disimpulkan bahwa pendugaan awal distribusi Weibull adalah tidak sesuai.

3. Pengujian Significance Level

Untuk memilih distribusi yang sesuai dari data waktu antar kerusakan dan perbaikan dicari Significance level tertinggi dengan menggunakan software Statgraph. Pemilihan distribusi didasarkan pada harga Significance Level tertinggi dari pilihan yang ada. Sedangkan pilihan distribusinya adalah Weibull, Eksponensial dan Normal.

4. Penentuan parameter distribusi

Dengan pengujian Significance Level dapat ditentukan distribusi yang paling cocok untuk waktu antar kerusakan dan perbaikan. Pada distribusi tertentu mempunyai parameter-parameter yang spesifik. Penentuan parameter ini dilakukan dengan cepat menggunakan software Statgraph.

Parameter-parameter yang dipakai dalam analisis keandalan dalam penelitian di mesin ERII, yaitu :

1. Eksponensial dengan parameter λ
2. Normal dengan parameter mean (μ) dan standar deviasi (σ)
3. Weibull dengan parameter α dan β

3.3.3 Penentuan Fungsi-fungsi Keandalan

Keandalan adalah probabilitas suatu sistem berfungsi dengan baik untuk melakukan tugas tertentu. Dalam tahap ini meliputi penentuan fungsi padat keandalan, laju kerusakan, MTTF, MTTR dan keandalan sistem.

1. Fungsi padat probabilitas

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

2. Keandalan

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

3. Laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1}$$

4. Hazard function

$$H(t) = \int \lambda(t) dt = \left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha$$

5. MTTF

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

6. MTTR

$$MTTR = \mu$$

7. Keandalan sistem

Keandalan untuk mesin ERII dengan struktur seri yang terdiri dari 7 komponen sebesar R_x , dengan $x = 1$ sampai 3

$$R_x = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot R_5 \cdot R_6 \cdot R_7$$

Keandalan mesin ERII dengan struktur paralel sebesar R_s .

$$R_s = 1 - (1-R_1) \cdot (1-R_2) \cdot (1-R_3)$$

3.4 Analisis dan Interpretasi

Dari hasil pengolahan data waktu antar kerusakan dan perbaikan dapat digunakan untuk analisis dan interpretasi. Analisis data merupakan kelanjutan dari pengolahan data yang terdiri angka-angka yang berguna dalam membuat program perawatan mesin ERII. Sedangkan Interpretasi merupakan bentuk penyajian yang kualitatif.

3.4.1 Perhitungan Fungsi-fungsi Keandalan

Untuk menghitung fungsi-fungsi keandalan dalam analisis mesin ERII diperlukan beberapa software yang sesuai dengan kebutuhan analisis. Dalam perhitungan statistik dan keandalan, peranan software sangat penting. Keuntungan menggunakan software-software tersebut adalah untuk mempermudah, mempercepat dan ketelitian dalam melakukan perhitungan. Dengan tersedianya fasilitas dalam software maka memudahkan kita untuk menganalisis, di samping itu untuk data yang banyak mempersingkat pekerjaan penghitungan. Software yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Statgraph

Software ini digunakan pada pengolahan data secara statistik yang terdapat pada bab IV. Digunakan untuk menghitung pendugaan awal, uji Kolmogorof Smirnof, Significance Level dan pendugaan parameter distribusi.

2. Math CAD

Software ini digunakan pada bab V, yaitu analisis data. Berguna untuk perhitungan fungsi-fungsi matematis dan integral. Perhitungan dalam keandalan ini adalah untuk menentukan MTTF, waktu interval perawatan optimal (s), total biaya perawatan dan fungsi ketersediaan.

3. Lotus 123

Untuk menghitung perhitungan rumus dalam bentuk tabel. Keuntungan yang diperoleh adalah mempercepat perhitungan karena mempunyai fasilitas blok dan bentuk tampilan tabel yang ringkas. Salah satu perhitungan yang digunakan dalam penelitian keandalan di sini adalah penentuan δ sebagai rasio dari standar deviasi dengan rata-rata waktu antar kerusakan dan perbaikan.

3.4.2 Statistik Keandalan

Statistik keandalan merupakan bentuk tampilan hasil perhitungan analisis keandalan secara keseluruhan. Statistik keandalan merupakan bentuk hasil yang perlu di klasifikasikan lagi berdasarkan manfaat yang ingin diperoleh untuk tujuan penelitian. Statistik keandalan dalam penelitian ini mempunyai dua sasaran, yaitu untuk mendapatkan program perawatan dan analisis ketersediaan.

3.4.3 Program Perawatan

Dari Pengolahan data yang sudah dilakukan maka dapat ditentukan jadwal perawatan optimal untuk suatu mesin dengan biaya perawatan per satuan waktu yang minimal. Program perawatan yang baik bisa menghemat biaya, keuntungan yang lain adalah meningkatkan rata-rata waktu antar kerusakan (MTTF) mesin. Sehingga pada akhirnya dengan peningkatan MTTF maka life time mesin pun bertambah.

Program perawatan untuk mesin ER11 meliputi :

1. MTTF

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

2. MTTR

$$MTTR = \mu$$

3. Biaya Perbaikan (CF)

$$CF = 56.887,95MTTR$$

4. Waktu interval optimal (s)

$$s \approx \beta \left[\frac{C_M}{C_F - C_M} \cdot \frac{1}{\alpha - 1} \right]^{\frac{1}{\alpha}}$$

5. Total biaya optimal perawatan

$$C(s) = \frac{R(s) \cdot C_M + (1 - R(s)) \cdot C_F}{\int_0^s R(t) dt}$$

3.4.4 Analisis Ketersediaan

Analisis ketersediaan digunakan untuk mengevaluasi apakah solusi yang telah dicari memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Dalam hal ini mengevaluasi MTTF dan MTTR dari mesin. Dengan peningkatan MTTF sesudah mendapat waktu interval perawatan optimal maka total biaya perawatan bisa berkurang. Diterangkan dalam bab II dan IV.

Perhitungan yang dipakai dalam analisis ketersediaan adalah :

1. Analisis ketersediaan

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

2. Analisis ketersediaan sistem

Untuk mesin ERII dengan 3 mesin, yang masing mesin terdiri dari 7 komponen. Di mana $x = 1$ sampai 3.

Availability untuk komponen seri.

$$A_x = A_{x1} \cdot A_{x2} \cdot A_{x3} \cdot A_{x4} \cdot A_{x5} \cdot A_{x6} \cdot A_{x7}$$

Availability mesin ERII keseluruhan

$$A_s = 1 - (1-A_1) \cdot (1-A_2) \cdot (1-A_3)$$

3.5 Kesimpulan dan Saran

Dari Analisis yang dilakukan dapat diambil kesimpulan yang berguna bagi program perawatan, yaitu penentuan interval perawatan mesin yang optimal. Sedangkan saran yang membangun dibutuhkan untuk pengembangan program perawatan selanjutnya, misalnya dengan interval waktu perawatan optimal akan meningkatkan MTTF mesin, sehingga tingkat produktivitas mesin tersebut juga bertambah. Diterangkan dalam Bab VI.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Sebelum mendapatkan hasil analisis keandalan, data waktu antar kerusakan dan perbaikan dikumpulkan dan diolah. Pada bab ini diuraikan juga secara singkat gambaran singkat perusahaan.

4.1 Data Umum Perusahaan

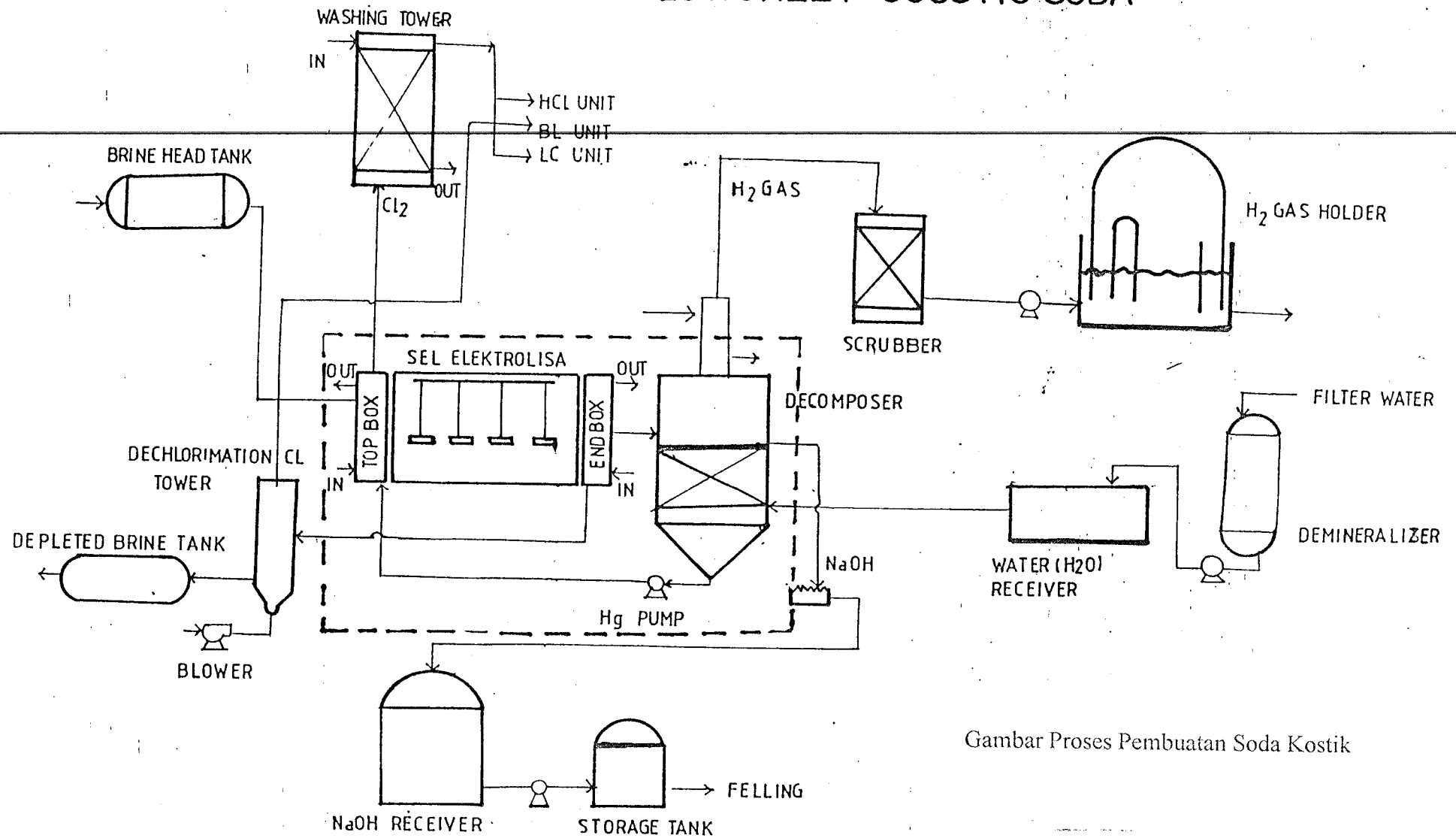
Data umum perusahaan meliputi sejarah singkat perusahaan, sistem manajemen dan struktur organisasi dan produk yang dihasilkan.

4.1.1 Sejarah Singkat PT Industri Soda Indonesia

Pada tahun 1951 produksi garam dari perusahaan garam Kalianget melimpah melampaui kebutuhan nasional. Hal ini yang mendorong timbulnya gagasan untuk mendirikan pabrik Kostik Soda yang diharapkan bisa menyerap kelebihan produksi garam sebagai bahan bakunya.

Pemikiran ini kemudian diajukan kepada Kementerian Perekonomian Direktorat Perdagangan dan Industri di Jakarta. Ide ini disetujui oleh menteri dan pada tahun 1953 pembangunan pabrik dimulai dan dengan kapasitas 10 ton per hari dengan menggunakan proses Elektrolisa.

FLWSHEET COUSTIC SODA



Gambar Proses Pembuatan Soda Kostik

Pada mulanya pemilihan lokasi ada dua alternatif, yaitu di Kalianget atau di Waru Sidoarjo. Setelah dilakukan survei maka diputuskan lokasi pabrik ditempatkan di Waru Sidoarjo.

Pabrik Soda ini dibangun dengan modal pemerintah sebesar 79 juta rupiah. Penyediaan dan pengadaan perlengkapan pabrik ditangani oleh Asahi Glass Co. Ltd. Jepang. Pembangun pabrik ini dilakukan oleh tenaga kerja Indonesia dengan bantuan tenaga ahli dari Jepang.

Pada tanggal 17 Juli 1965 pabrik ini selesai dibangun dengan luas 7 Ha. dan diresmikan oleh wakil Presiden RI, yaitu Drs. Moh. Hatta. Lokasi pabrik berada 13 km arah Selatan kota Surabaya.

Pada awalnya perusahaan ini merupakan cabang dari Perusahaan Garam dan Soda Negara (PGSN) yang berkantor di Surabaya. Pada tahun 1961 sesuai dengan PP no. 139 tahun 1961 status perusahaan berubah menjadi Perusahaan Negara (PN) yang berdiri sendiri dan terpisah dari PGSN. Kemudian Perusahaan Negara ini dilebur menjadi Perusahaan Negara yang bernaung dalam Departemen Perindustrian Direktorat Jenderal Industri Kimia Dasar. Dan akhirnya pada tanggal 1 November 1979 status perusahaan berubah menjadi Persero dengan akte notaris Hadi Moentoro Sarjana Hukum no. 1 tanggal 1 November 1979. Hal ini sesuai dengan Peraturan Pemerintah no. 32 tahun 1978 tanggal 9 November 1978.

4.1.2 Sistem Manajemen dan Struktur Organisasi

Organisasi merupakan hal yang sangat penting dalam suatu badan perusahaan karena menyangkut pada ketangguhan manajemen perusahaan itu. Di mana dengan

ketanggungan manajemen perusahaan dapat bertahan dari gangguan dan terus berkembang.

Struktur organisasi pada PT ISI , pembagian wewenang dan tanggung jawabnya termasuk struktur organisasi garis dan staff. Para pembantu pimpinan bertindak sebagai garis dan staff direksi yang berhak mengajukan usulan, sedangkan terhadap bawahan bertindak sebagai garis fungsional yang mempunyai hak untuk mengambil keputusan. Pimpinan tertinggi dipegang oleh direktur utama yang membawahi direktur teknik produksi dan direktur komersial.

Dalam organisasi teknis sehari-hari intern perusahaan masing-masing anggota direksi membawahi beberapa bidang, yaitu :

Direktur Utama :

- Satuan Pengawas Intern
- Satuan Tenaga Kerja
- Satuan Penelitian dan Pengembangan
- Bagian Keamanan dan Ketertiban

Direktur Komersial

- Divisi Administrasi dan Keuangan
- Divisi Pemasaran
- Biro Umum

Direktur Teknik Produksi

- Pengawas Umum
- Divisi Produksi
- Divisi Teknik

- Divisi Pengadaan

- Divisi FMKP

4.1.3 Produk

Produk utama yang dihasilkan PT ISI saat ini adalah Kostik Soda (NaOH), sedangkan produk sampingan adalah Asam Klorida (HCl), Klor Cair (Cl_2), dan Sodium Hypochlorite (NaOCl).

Proses pembuatan Soda Kostik adalah pemurnian larutan garam, selanjutnya diproses dalam Elektrolisa dengan bantuan arus searah. Kostik Soda dapat digunakan untuk industri petroleum, pemurnian minyak goreng, industri pulp, tekstil, dan rayon. Sifat Soda Kostik adalah beracun dan dapat merusak jaringan tubuh.

Asam Klorida dibuat dengan mereaksikan gas Klor dengan gas Hidrogen sehingga menghasilkan gas Asam Klorida, yang selanjutnya dilarutkan dalam air. Penggunaannya adalah untuk industri kecap, MSG, tekstil, dan lain-lain. Sifat Asam Klorida adalah jernih, sangat korosif dan beracun.

Pembuatan Klor cair adalah dengan mengeringkan gas Klor, kemudian ditekan dan didinginkan sampai mencair. Produk ini digunakan untuk desinfectan air minum dan kolam renang, bahan pemutih kertas, dan industri kimia lain.

Sodium Hypochlorite dibuat dengan mereaksikan Klorin dengan Soda Kostik. Produk ini digunakan untuk pemutih bahan-bahan benang, tekstil dan kertas, desinfectan air minum dan pembersih lantai.

4.2 Macam Data dan Metode Pengumpulannya

Dalam Analisis keandalan diperlukan data-data untuk mendapatkan parameter-parameter keandalan dari mesin. Data yang dibutuhkan adalah data waktu antar kerusakan, data lama perbaikan, biaya kerusakan dan biaya perawatan.

Data waktu kerusakan diperoleh dari pencatatan dokumen perusahaan mulai dari tahun 1992 sampai 1995. Sedangkan data biaya perawatan dan perbaikan diperoleh dari wawancara dengan pihak terkait di PT ISI.

Obyek yang dijadikan penelitian adalah mesin Cell Elektrolisa II (ER). Kerusakan komponen yang terjadi disebabkan oleh perkaratan sehingga lempengan logam menipis dan menimbulkan kebocoran. Mesin ER II terdiri 3 (x) mesin yang terpasang paralel dengan masing-masing mesin terdiri dari tujuh komponen pokok, yaitu :

1. Top Box (ERx1)
2. Bottom Plate (ERx2)
3. Side Plate (ERx3)
4. Metal Anoda (ERx4)
5. Decomposer (ERx5)
6. Hg Pump (ERx6)
7. End Box (ERx7)

4.2.1 Biaya-biaya

Biaya-biaya yang diperlukan meliputi biaya perawatan dan perbaikan. Biaya perawatan terdiri dari :

1. Biaya tenaga kerja
2. Biaya suku cadang
3. Keuntungan yang hilang akibat perawatan

Sedangkan biaya perbaikan terdiri dari :

1. Biaya tenaga kerja
2. Biaya suku cadang
3. Biaya akibat mesin menganggur

Jumlah biaya-biaya didapatkan berdasarkan informasi dari wawancara dengan pihak yang bersangkutan di PT ISI.

1. Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja untuk perawatan dan perbaikan dianggap sama karena baik tenaga kerja perawatan maupun tenaga kerja perbaikan dilakukan oleh orang atau regu yang sama. Satu regu terdiri dari 5 orang, 1 teknisi dan 4 orang operator. Gaji teknisi per bulan adalah Rp. 175.000. Gaji operator per bulan adalah Rp. 125.000. Sebuah regu bekerja selama 26 hari dalam sebulan dan 8 jam dalam sehari. Perhitungan biaya tenaga kerja diasumsikan per satuan waktu. Jadi biaya tenaga kerja dapat dicari sebagai berikut :

$$\text{Biaya tenaga kerja tiap jam} = \frac{4 \times 125.000 + 175.000}{26 \times 8}$$

$$= \text{Rp. 3.245,19}$$

2. Biaya Suku Cadang

Biaya suku cadang perawatan pencegahan meliputi kegiatan pelumasan, pengecatan dan kegiatan-kegiatan preventif lainnya. Dari hasil wawancara dengan teknisi diperkirakan biaya suku cadang rata-rata sebesar Rp. 10.000 tiap 2 jam tiap komponen.

Biaya suku cadang perawatan tiap jam = $10.000/2$

$$= \text{Rp. } 5.000$$

Biaya suku cadang perawatan kerusakan meliputi kegiatan pengelasan dan penggantian komponen mesin. Biaya perawatan suku cadang diperkirakan rata-rata sebesar Rp. 72.000 tiap shift tiap komponen.

Biaya suku cadang perbaikan tiap jam = $72.000/8$

$$= \text{Rp. } 9.000$$

3. Keuntungan yang Hilang Akibat Perawatan

Dari hasil wawancara diperoleh bahwa mesin ERII menghasilkan output NaOH 30 ton per shift dengan total mesin 3 buah dan tiap mesin terdiri dari 7 komponen. Harga produksi tiap Kg NaOH adalah Rp. 300 dan harga penjualan Rp. 450. Jumlah jam pershift = 8 jam.

Keuntungan yang hilang akibat mesin mengalami perawatan

= Harga jual NaOH tiap jam - biaya produksi NaOH tiap jam

$$= 30.000/(8 \times 3 \times 7) \times 450 - 30.000/(8 \times 3 \times 7) \times 300$$

$$= \text{Rp. } 26.785,71$$

4. Biaya Akibat Mesin Menganggur pada Perbaikan

Untuk perawatan perbaikan ada biaya produksi tanpa biaya bahan baku sebesar biaya produksi NaOH dikurangi biaya pembelian bahan baku NaCl sebesar Rp. 200 tiap kg.

$$\begin{aligned} & \text{Biaya akibat mesin menganggur} \\ & = 30.000 \times (300 - 200) / (8 \times 3 \times 7) + 26.785,71 \\ & = \text{Rp. } 44.642,85 \end{aligned}$$

Dari perhitungan biaya di atas diperoleh biaya perawatan pencegahan dan biaya perawatan akibat kerusakan tiap jam. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk sekali perawatan pencegahan adalah rata-rata 2 jam.

Biaya perawatan pencegahan adalah :

$$\begin{aligned} C_M &= (\text{biaya tenaga kerja} + \text{biaya suku cadang} + \text{keuntungan yang hilang}) \times 2 \\ &= (3.245,19 + 5.000 + 26.785,71) \times 2 \end{aligned}$$

$$C_M = \text{Rp. } 70.061,80$$

Biaya perawatan akibat kerusakan adalah :

$$\begin{aligned} C_F &= (\text{biaya tenaga kerja} + \text{biaya suku cadang} + \text{biaya menganggur}) \times \text{MTTR} \\ &= (3.245,19 + 9.000 + 44.642,85) \times \text{MTTR} \end{aligned}$$

$$C_F = 56.887,95 \times \text{MTTR}$$

4.2.2 Data Waktu Antar Kerusakan dan Lama Perbaikan

Data waktu antar kerusakan dan lama perbaikan didapatkan dari data waktu kerusakan dan perbaikan mesin ERH pada masa lalu. Data ini didapatkan dari laporan kerusakan dan perbaikan mesin tahun 1992-1995. Data waktu antar kerusakan dan lama perbaikan ditetapkan dalam satuan jam (pada lampiran).

4.3 Pengolahan Data

Setelah data dikumpulkan, maka data tersebut diolah untuk menentukan parameter keandalan dari suatu mesin. Proses pengolahan data tersebut adalah sebagai berikut :

1. Uji kecocokan Distribusi dan Parameter Keandalan

Pengujian distribusi menggunakan uji Kolmogorof Smirnof. Alasan menggunakan uji ini karena data bersifat kontinyu dan dapat digunakan untuk jumlah data sembarang

2. Penentuan Fungsi Padat Probabilitas, Keandalan, Laju Kerusakan, Hazard Function, MTTF, MTTR dan Keandalan Sistem

4.3.1 Penentuan Distribusi Data dan Parameter Keandalan

Untuk menentukan distribusi data waktu antar kerusakan dan perbaikan dilakukan pendugaan awal distribusi terlebih dulu. Dari pendugaan awal distribusi dilakukan Uji Kolmogorof Smirnof. Untuk memilih distribusi digunakan pengujian Significance Level tertinggi. Dari Significance Level tertinggi ini ditentukan

distribusi data tersebut. Penentuan parameter distribusi data waktu antar kerusakan dan perbaikan akan dilakukan dengan cepat menggunakan Statgraph.

1. Pendugaan Awal Distribusi

Data waktu antar kerusakan dan lama perbaikan dimasukkan ke dalam Statgraph. Perhitungan rata-rata dan standar deviasi data waktu antar kerusakan dan perbaikan dapat dilakukan dengan cepat dengan Statgraph. Hasil perhitungan rata-rata dan standar deviasi terdapat pada lampiran. Data tersebut akan dilakukan pendugaan awal kemungkinan distribusi waktu antar kerusakan dan lama perbaikan dengan mencari nilai perbandingan (δ) antara standar deviasi (S) dengan nilai rata-rata (\bar{x}). Seperti dalam rumus berikut ini :

$$\delta = \frac{S}{\bar{x}}$$

Dengan menggunakan software Lotus maka dapat diketahui perbandingan nilai antara standar deviasi dengan nilai rata-rata data dalam jam. Dengan diketahuinya nilai δ maka pendugaan awal distribusi waktu antar perbaikan dan waktu perbaikan sudah dapat dilakukan.

Hasil perhitungan dan tabel δ dengan menggunakan Lotus 123 dapat dilihat halaman berikut.

Tabel 4.1 Pendugaan awal distribusi waktu antar kerusakan

ada 3 mesin
ada 7 komponen yg rusak

| ER1 | x(jam) | S(jam) | δ | Distribusi |
|-----|---------|---------|----------|------------|
| 1 | 255,543 | 150,135 | 0,588 | Weibull |
| 2 | 294,300 | 208,570 | 0,709 | Weibull |
| 3 | 296,414 | 167,889 | 0,566 | Weibull |
| 4 | 225,186 | 158,025 | 0,702 | Weibull |
| 5 | 248,457 | 110,255 | 0,444 | Weibull |
| 6 | 326,729 | 202,311 | 0,619 | Weibull |
| 7 | 244,675 | 164,900 | 0,674 | Weibull |
| ER2 | | | | |
| 1 | 238,614 | 155,135 | 0,650 | Weibull |
| 2 | 328,371 | 236,532 | 0,720 | Weibull |
| 3 | 308,486 | 157,702 | 0,511 | Weibull |
| 4 | 227,286 | 147,493 | 0,649 | Weibull |
| 5 | 255,371 | 121,920 | 0,477 | Weibull |
| 6 | 304,771 | 192,784 | 0,633 | Weibull |
| 7 | 246,871 | 169,880 | 0,688 | Weibull |
| ER3 | | | | |
| 1 | 306,186 | 164,350 | 0,537 | Weibull |
| 2 | 310,343 | 195,157 | 0,629 | Weibull |
| 3 | 266,357 | 166,114 | 0,624 | Weibull |
| 4 | 257,243 | 135,619 | 0,527 | Weibull |
| 5 | 265,443 | 140,805 | 0,530 | Weibull |
| 6 | 330,443 | 175,357 | 0,531 | Weibull |
| 7 | 270,600 | 175,344 | 0,648 | Weibull |

Tabel 4.2 Pendugaan awal distribusi waktu perbaikan

| MTTR1 | x(jam) | S(jam) | δ | Distribusi |
|-------|--------|--------|----------|------------|
| 1 | 10,914 | 1,520 | 0,139 | Weibull |
| 2 | 12,771 | 0,966 | 0,076 | Weibull |
| 3 | 14,243 | 2,916 | 0,205 | Weibull |
| 4 | 11,443 | 1,099 | 0,096 | Weibull |
| 5 | 11,814 | 0,872 | 0,074 | Weibull |
| 6 | 11,500 | 1,294 | 0,113 | Weibull |
| 7 | 12,886 | 2,429 | 0,188 | Weibull |
| MTTR2 | | | | |
| 1 | 12,743 | 0,973 | 0,076 | Weibull |
| 2 | 13,257 | 2,034 | 0,153 | Weibull |
| 3 | 11,057 | 0,976 | 0,088 | Weibull |
| 4 | 11,329 | 0,863 | 0,076 | Weibull |
| 5 | 11,971 | 0,992 | 0,083 | Weibull |
| 6 | 14,071 | 1,944 | 0,138 | Weibull |
| 7 | 12,129 | 0,962 | 0,079 | Weibull |
| MTTR4 | | | | |
| 1 | 12,314 | 1,149 | 0,093 | Weibull |
| 2 | 13,157 | 2,103 | 0,160 | Weibull |
| 3 | 11,057 | 0,976 | 0,088 | Weibull |
| 4 | 13,886 | 2,054 | 0,148 | Weibull |
| 5 | 12,014 | 0,985 | 0,082 | Weibull |
| 6 | 11,629 | 1,106 | 0,095 | Weibull |
| 7 | 13,257 | 1,939 | 0,146 | Weibull |

Dari hasil pendugaan awal yang sudah ditabelkan ternyata δ untuk data waktu antar kerusakan dan perbaikan kurang dari 1 sehingga secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa waktu antar kerusakan dan perbaikan berdistribusi Weibull. Namun dari hasil pendugaan awal distribusi masih perlu analisis statistik lebih lanjut.

2. Uji Kolmogorof Smirnof

Dari pendugaan awal terhadap distribusi waktu antar kerusakan dan perbaikan maka pengujian statistik berikutnya adalah uji Kolmogorof Smirnof dua sisi. Dengan menggunakan Statgraph dilakukan pengujian Kolmogorof Smirnof pada data waktu antar kerusakan dan perbaikan. Hasil pengujian pengujian Kolmogorof Smirnof dapat dilihat pada lampiran.

Pada pengujian Kolmogorof Smirnof pada data waktu antar kerusakan dan perbaikan, H_0 = pendugaan awal distribusi Weibull, jika DN pada perhitungan Statgraph lebih kecil dari DN tabel dengan $\alpha = 0,01$ maka H_0 dapat diterima dan disimpulkan pendugaan awal distribusi Weibull adalah benar. Atau dapat ditulis sebagai berikut

$H_0 = \text{Weibull}$

dengan $\alpha = 0,01$, $n = 70$,

$$DN, 99 \% = \frac{1.63}{\sqrt{70}} = 0,1948223$$

Tabel pengujian Kolmogorof Smirnof distribusi waktu antar kerusakan dan perbaikan dapat dilihat pada halaman berikut.

Tabel 4.3 Pengujian Kolmogorof Smirnof pada waktu antar kerusakan

lampiran C (webul)

| ERI | DN | DN,99% | Kesimpulan |
|-----|-----------|-----------|------------|
| 1 | 0,0563729 | 0,1948223 | Diterima |
| 2 | 0,0841487 | 0,1948223 | Diterima |
| 3 | 0,0674220 | 0,1948223 | Diterima |
| 4 | 0,0797052 | 0,1948223 | Diterima |
| 5 | 0,0537409 | 0,1948223 | Diterima |
| 6 | 0,0478698 | 0,1948223 | Diterima |
| 7 | 0,0902146 | 0,1948223 | Diterima |
| ER2 | | | |
| 1 | 0,0598593 | 0,1948223 | Diterima |
| 2 | 0,0791133 | 0,1948223 | Diterima |
| 3 | 0,0580741 | 0,1948223 | Diterima |
| 4 | 0,0600774 | 0,1948223 | Diterima |
| 5 | 0,0556149 | 0,1948223 | Diterima |
| 6 | 0,0620131 | 0,1948223 | Diterima |
| 7 | 0,0913347 | 0,1948223 | Diterima |
| ER3 | | | |
| 1 | 0,0716324 | 0,1948223 | Diterima |
| 2 | 0,0716124 | 0,1948223 | Diterima |
| 3 | 0,0602908 | 0,1948223 | Diterima |
| 4 | 0,0582866 | 0,1948223 | Diterima |
| 5 | 0,0489322 | 0,1948223 | Diterima |
| 6 | 0,0627511 | 0,1948223 | Diterima |
| 7 | 0,0594299 | 0,1948223 | Diterima |

Tabel 4.4 Pengujian Kolmogorof Smirnof pada waktu perbaikan

| MTTR1 | DN | DN,99% | Kesimpulan |
|-------|----------|----------|------------|
| 1 | 0,184875 | 0,194822 | Diterima |
| 2 | 0,239253 | 0,194822 | Ditolak |
| 3 | 0,163562 | 0,194822 | Diterima |
| 4 | 0,235494 | 0,194822 | Ditolak |
| 5 | 0,287527 | 0,194822 | Ditolak |
| 6 | 0,187424 | 0,194822 | Diterima |
| 7 | 0,116621 | 0,194822 | Diterima |
| MTTR2 | | | |
| 1 | 0,215177 | 0,194822 | Ditolak |
| 2 | 0,136222 | 0,194822 | Diterima |
| 3 | 0,220650 | 0,194822 | Ditolak |
| 4 | 0,275560 | 0,194822 | Ditolak |
| 5 | 0,216234 | 0,194822 | Ditolak |
| 6 | 0,149334 | 0,194822 | Diterima |
| 7 | 0,246764 | 0,194822 | Ditolak |
| MTTR3 | | | |
| 1 | 0,196591 | 0,194822 | Ditolak |
| 2 | 0,162174 | 0,194822 | Diterima |
| 3 | 0,288513 | 0,194822 | Ditolak |
| 4 | 0,138299 | 0,194822 | Diterima |
| 5 | 0,247000 | 0,194822 | Ditolak |
| 6 | 0,203796 | 0,194822 | Ditolak |
| 7 | 0,145539 | 0,194822 | Diterima |

Dari tabel pengujian Kolmogorof Smirnof untuk data waktu antar kerusakan ternyata DN perhitungan lebih kecil dengan DN, $99\% = 0.1948223$ sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa data waktu antar kerusakan secara keseluruhan berdistribusi Weibull adalah benar. Sedangkan pada data waktu perbaikan sebagian ada yang ditolak. Sehingga untuk sebagian distribusi waktu perbaikan besar kemungkinan tidak berdistribusi Weibull. Untuk itu perlu pengujian berikutnya, yaitu pengujian Significance Level.

3. Pengujian Significance Level

Langkah berikutnya adalah pengujian Significance Level. Pada perhitungan pengujian Significance Level digunakan Statgraph. Pada uji ini, teknik yang digunakan adalah memilih nilai Significance level tertinggi dari ketiga distribusi yang sudah ditetapkan, yaitu Eksponensial, Normal dan Weibull. Jadi pemilihan distribusi didasarkan pada Significance Level tertinggi.

Tabel Significance Level untuk waktu antar kerusakan dan perbaikan dapat dilihat pada halaman berikut.

Tabel 4.5 Significance level waktu antar kerusakan

| ER1 | Approximate significance level | | |
|-----|--------------------------------|---------|---------|
| | Ekspensial | Normal | Weibull |
| 1 | 0,00694 | 0,28446 | 0,97925 |
| 2 | 0,01645 | 0,04334 | 0,70450 |
| 3 | 0,02386 | 0,85578 | 0,90755 |
| 4 | 0,02061 | 0,10525 | 0,76545 |
| 5 | 0,00005 | 0,92193 | 0,98753 |
| 6 | 0,00799 | 0,38228 | 0,99719 |
| 7 | 0,00737 | 0,05219 | 0,61911 |
| ER2 | | | |
| 1 | 0,01354 | 0,32392 | 0,96342 |
| 2 | 0,19118 | 0,35772 | 0,77334 |
| 3 | 0,00106 | 0,88979 | 0,97226 |
| 4 | 0,00485 | 0,46181 | 0,96223 |
| 5 | 0,00008 | 0,85460 | 0,98194 |
| 6 | 0,01710 | 0,36439 | 0,95060 |
| 7 | 0,11668 | 0,16533 | 0,60339 |
| ER3 | | | |
| 1 | 0,00177 | 0,68300 | 0,86318 |
| 2 | 0,01868 | 0,51705 | 0,93221 |
| 3 | 0,00200 | 0,50335 | 0,96127 |
| 4 | 0,00067 | 0,84888 | 0,97129 |
| 5 | 0,00014 | 0,70013 | 0,99611 |
| 6 | 0,00392 | 0,64055 | 0,94366 |
| 7 | 0,07182 | 0,71819 | 0,96369 |

Tabel 4.6 Significance Level waktu perbaikan

| MTTR1 | Eksponensial | Normal | Weibull |
|-------|--------------|---------|---------|
| 1 | 0,000000 | 0,04355 | 0,01671 |
| 2 | 0,000000 | 0,00200 | 0,00066 |
| 3 | 0,000000 | 0,09519 | 0,04725 |
| 4 | 0,000000 | 0,00461 | 0,00085 |
| 5 | 0,000000 | 0,00021 | 0,00002 |
| 6 | 0,000000 | 0,02254 | 0,00146 |
| 7 | 0,000000 | 0,41866 | 0,29694 |
| MTTR2 | | | |
| 1 | 0,000000 | 0,00529 | 0,00306 |
| 2 | 0,000000 | 0,28882 | 0,14879 |
| 3 | 0,000000 | 0,02094 | 0,00219 |
| 4 | 0,000000 | 0,00013 | 0,00005 |
| 5 | 0,000000 | 0,01067 | 0,00287 |
| 6 | 0,000000 | 0,12490 | 0,08812 |
| 7 | 0,000000 | 0,00409 | 0,00040 |
| MTTR3 | | | |
| 1 | 0,000000 | 0,01134 | 0,00894 |
| 2 | 0,000000 | 0,06644 | 0,05034 |
| 3 | 0,000000 | 0,00013 | 0,00002 |
| 4 | 0,000000 | 0,16704 | 0,13740 |
| 5 | 0,000000 | 0,00455 | 0,00039 |
| 6 | 0,000000 | 0,00704 | 0,00597 |
| 7 | 0,000000 | 0,12058 | 0,10386 |

4. Pendugaan Parameter Distribusi

Dari tabel Significance Level dapat diketahui distribusi mana yang harus dipilih untuk waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan. Pada waktu antar kerusakan Significance Level tertinggi komponen terdapat pada distribusi Weibull, sedangkan waktu perbaikan Significance Level tertinggi terdapat pada distribusi Normal. Jadi distribusi waktu antar kerusakan yang sesuai adalah Weibull. Sedangkan waktu perbaikan komponen yang sesuai adalah Normal.

Dengan distribusi waktu antar kerusakan dan perbaikan yang sudah diketahui dari uji Significance Level, maka perlu ditentukan parameter-parameter distribusi tersebut untuk analisis keandalan selanjutnya.

Untuk menentukan parameter distribusi waktu antar kerusakan dan perbaikan komponen digunakan Statgraph. Pada distribusi Weibull parameter yang digunakan adalah α dan β . Sedangkan untuk distribusi Normal parameter yang digunakan adalah mean (μ) dan standar deviasi (σ).

Tabel parameter distribusi waktu antar kerusakan dan perbaikan komponen dapat dilihat pada halaman berikut.

Tabel 4.7 Parameter distribusi waktu antar kerusakan

lampiran D

| ER1 | Distribusi | α | β |
|-----|------------|----------|---------|
| 1 | Weibull | 1,748 | 286,347 |
| 2 | Weibull | 1,448 | 324,691 |
| 3 | Weibull | 1,816 | 332,842 |
| 4 | Weibull | 1,520 | 251,382 |
| 5 | Weibull | 2,454 | 280,935 |
| 6 | Weibull | 1,618 | 363,438 |
| 7 | Weibull | 1,556 | 272,594 |
| ER2 | Weibull | | |
| 1 | Weibull | 1,627 | 267,405 |
| 2 | Weibull | 1,348 | 357,010 |
| 3 | Weibull | 2,058 | 347,892 |
| 4 | Weibull | 1,618 | 254,288 |
| 5 | Weibull | 2,239 | 288,381 |
| 6 | Weibull | 1,635 | 340,919 |
| 7 | Weibull | 1,499 | 274,087 |
| ER3 | Weibull | | |
| 1 | Weibull | 1,956 | 345,303 |
| 2 | Weibull | 1,680 | 348,775 |
| 3 | Weibull | 1,697 | 299,599 |
| 4 | Weibull | 2,023 | 291,047 |
| 5 | Weibull | 2,008 | 300,256 |
| 6 | Weibull | 2,004 | 373,650 |
| 7 | Weibull | 1,547 | 300,226 |

Tabel 4.8 Paramater distribusi waktu perbaikan

| MTTR1 | Distribusi | μ | σ |
|-------|------------|--------|----------|
| 1 | Normal | 10,914 | 1,520 |
| 2 | Normal | 12,771 | 0,966 |
| 3 | Normal | 14,243 | 2,916 |
| 4 | Normal | 11,443 | 1,099 |
| 5 | Normal | 11,814 | 0,872 |
| 6 | Normal | 11,500 | 1,294 |
| 7 | Normal | 12,886 | 2,429 |
| MTTR2 | | | |
| 1 | Normal | 12,743 | 0,973 |
| 2 | Normal | 13,257 | 2,034 |
| 3 | Normal | 11,057 | 0,976 |
| 4 | Normal | 11,329 | 0,863 |
| 5 | Normal | 11,971 | 0,992 |
| 6 | Normal | 14,071 | 1,944 |
| 7 | Normal | 12,129 | 0,962 |
| MTTR3 | | | |
| 1 | Normal | 12,314 | 1,149 |
| 2 | Normal | 13,157 | 2,103 |
| 3 | Normal | 11,057 | 0,976 |
| 4 | Normal | 13,886 | 2,054 |
| 5 | Normal | 12,014 | 0,985 |
| 6 | Normal | 11,629 | 1,106 |
| 7 | Normal | 13,257 | 1,939 |

4.3.2 Penentuan Fungsi Padat, Keandalan, Laju Kerusakan, Hazard

Function, MTTF, MTTR dan Keandalan Sistem

Dari hasil pengujian kecocokan distribusi dengan Statgraph didapatkan bahwa waktu antar kerusakan berdistribusi Weibull dengan parameter α dan β . Parameter-parameter α dan β komponen mesin dapat dilihat pada tabel 4.7. Sedangkan waktu perbaikan berdistribusi Normal dengan mean (μ) dan standar deviasi (σ). Parameter-parameter waktu perbaikan μ dan σ komponen dapat dilihat pada tabel 4.8.

Dengan diketahuinya parameter-parameter ini maka dapat ditentukan fungsi padat probabilitas, keandalan, laju kerusakan, Hazard function, MTTF dan MTTR masing-masing komponen.

1. Fungsi Padat Probabilitas

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

2. Keandalan

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

3. Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1}$$

4. Hazard Function

$$H(t) = \int \lambda(t) dt = \left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha$$

5. Mean Time To Failure

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

6. Mean Time To repair

$$MTTR = \mu$$

7. Keandalan Sistem

Mesin ERII terdiri dari 3 mesin, di mana masing-masing mesin terbagi dalam 7 komponen.

Keandalan mesin dengan struktur seri R_x dengan $x = 1$ sampai 3 adalah :

$$R_x = R_{x1}.R_{x2}.R_{x3}.R_{x4}.R_{x5}.R_{x6}.R_{x7}$$

Keandalan ERII dengan struktur paralel adalah :

$$R_s = 1 - (1-R_1).(1-R_2).(1-R_3)$$

BAB V

ANALISIS DAN INTERPRETASI

Analisis dan interpretasi merupakan proses lanjutan pengolahan data. Analisis data merupakan perhitungan program perawatan dan analisis ketersediaan dari hasil pengolahan data. Sedangkan interpretasi merupakan bentuk penyajian kualitatif dari analisis data.

Pada Analisis data yang dibahas adalah mengenai MTTF, MTTR, interval perawatan optimal, dan total biaya perawatan minimal. Pembahasan lain adalah mengenai analisis availability dan keandalan untuk interval perawatan optimal. Pada perhitungan-perhitungan di atas software yang digunakan adalah Math CAD.

5.1. Perhitungan MTTF, MTTR dan CF

Dari hasil pengolahan data diperoleh bahwa data waktu antar kerusakan berdistribusi Weibull dengan parameter α dan β yang tercantum dalam tabel 4.7. Sedangkan data waktu perbaikan komponen berdistribusi Normal dengan parameter mean (μ) dan standar deviasi σ yang tercantum dalam tabel 4.8.

Setelah parameter data waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan diketahui maka dapat ditentukan nilai MTTF.

Nilai MTTF dapat dicari sebagai berikut :

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

Setelah diketahui nilai MTTF nilai perhitungan selanjutnya menentukan nilai MTTR mesin, dimana waktu perbaikan berdistribusi Normal dengan mean μ dan standar deviasi σ . Nilai MTTR adalah sebagai berikut :

$$MTTR = \mu$$

Nilai MTTR merupakan mean dari distribusi Normal waktu perbaikan. Dari perhitungan MTTR maka dapat dicari nilai biaya perbaikan (CF) dengan persamaan berikut :

$$CF = 56.887,95MTTR$$

Nilai 56.887,95 merupakan koefisien biaya kerusakan. Nilai ini dapat dilihat pada perhitungan biaya perbaikan pada pengumpulan dan pengolahan data.

Berikut ini tabel nilai MTTF, MTTR dan CF dengan perhitungan Math CAD.

Tabel 5.1 Perhitungan MTTF, MTTR dan CF

| ER1 | MTTF(jam) | MTTR(jam) | CF(Rp) |
|-----|-----------|-----------|------------|
| 1 | 255,043 | 10,914 | 620875,086 |
| 2 | 294,459 | 12,771 | 726516,009 |
| 3 | 295,869 | 14,243 | 810255,072 |
| 4 | 226,579 | 11,443 | 650968,812 |
| 5 | 249,156 | 11,814 | 672074,241 |
| 6 | 325,522 | 11,500 | 654211,425 |
| 7 | 245,070 | 12,886 | 733058,124 |
| ER2 | | | |
| 1 | 239,214 | 12,743 | 724923,147 |
| 2 | 327,461 | 13,257 | 754163,553 |
| 3 | 308,181 | 11,057 | 629010,063 |
| 4 | 227,759 | 11,329 | 644483,586 |
| 5 | 255,419 | 11,971 | 681005,649 |
| 6 | 305,081 | 14,071 | 800470,344 |
| 7 | 247,451 | 12,129 | 689993,946 |
| ER3 | | | |
| 1 | 306,160 | 12,314 | 700518,216 |
| 2 | 311,452 | 13,157 | 748474,758 |
| 3 | 267,348 | 11,057 | 629010,063 |
| 4 | 257,884 | 13,886 | 789946,074 |
| 5 | 266,076 | 12,014 | 683451,831 |
| 6 | 331,127 | 11,629 | 661549,971 |
| 7 | 270,077 | 13,257 | 754163,553 |

5.2 Perhitungan Waktu Interval Optimal

Setelah parameter distribusi waktu antar kerusakan diketahui maka langkah berikutnya adalah perhitungan waktu interval perawatan komponen atau mesin yang optimal (s), di mana total biaya perawatan dan perbaikan adalah minimal. Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$s \approx \beta \left[\frac{C_M}{C_F - C_M} \cdot \frac{1}{\alpha - 1} \right]^{\frac{1}{\alpha}}$$

Dari waktu interval perawatan optimal diharapkan diperoleh peningkatan waktu antar kerusakan dan pengurangan biaya perawatan. Untuk itu perhitungan nilai MTTF dan total biaya perawatan setelah interval perawatan optimal adalah penting.

Langkah berikutnya setelah interval perawatan optimal diketahui adalah menghitung MTTF komponen setelah dilakukan perawatan dengan waktu interval optimal ($MTTF_M$).

$$MTTF_M = \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

Tujuan menghitung $MTTF_M$ adalah untuk mendapatkan pertambahan nilai dari MTTF mesin. Semakin besar pertambahan nilai MTTF, maka semakin besar manfaat untuk program perawatan, sebab dengan makin besarnya nilai MTTF maka umur komponen semakin lama. Besar selisih pertambahan nilai MTTF adalah sebagai berikut :

$$MTTF_M - MTTF$$

Perhitungan selanjutnya adalah mendapatkan total biaya minimal perawatan per satuan waktu sebesar $C(s)$ dengan waktu interval perawatan sebesar s , dimana $R(t)$ adalah fungsi keandalan komponen atau mesin.

$$C(s) = \frac{R(s) \cdot C_M + (1 - R(s)) \cdot C_F}{\int_0^s R(t) dt}$$

Perhitungan waktu interval optimal dapat dilakukan dengan mudah menggunakan Math CAD. Begitu pula untuk perhitungan $MTTF_M$ dan $C(s)$.

Penyajian waktu interval optimal $MTTF_M$, penambahan $MTTF$, dan total biaya minimal persatuan waktu dari waktu antar kerusakan komponen ditabelkan dalam tabel berikut.

Tabel 5.2 Perhitungan interval optimal, total biaya dan peningkatan MTTF

| ER1 | s(jam) | C(s)(Rp/j) | MTTF(jam) | MTTFM(jam) | Selisih(jam) | % |
|-----|---------|------------|-----------|------------|--------------|---------|
| 1 | 103,925 | 1597 | 255,043 | 625,505 | 370,462 | 145,255 |
| 2 | 120,565 | 1908 | 294,459 | 517,319 | 222,860 | 75,685 |
| 3 | 101,640 | 1549 | 295,869 | 891,118 | 595,249 | 201,187 |
| 4 | 96,120 | 2166 | 226,579 | 424,528 | 197,949 | 87,364 |
| 5 | 100,394 | 1186 | 249,156 | 1276,000 | 1026,844 | 412,129 |
| 6 | 131,935 | 1411 | 325,522 | 695,650 | 370,128 | 113,703 |
| 7 | 93,774 | 2120 | 245,070 | 503,746 | 258,676 | 105,552 |
| ER2 | | | | | | |
| 1 | 90,126 | 2043 | 239,214 | 539,098 | 299,884 | 125,362 |
| 2 | 144,079 | 1916 | 327,461 | 500,481 | 173,020 | 52,837 |
| 3 | 123,399 | 1116 | 308,181 | 1063,000 | 754,819 | 244,927 |
| 4 | 93,275 | 1996 | 227,759 | 483,805 | 256,046 | 112,420 |
| 5 | 99,618 | 1281 | 255,419 | 1096,000 | 840,581 | 329,099 |
| 6 | 107,299 | 1700 | 305,081 | 723,421 | 418,340 | 137,124 |
| 7 | 101,771 | 2101 | 247,451 | 459,701 | 212,250 | 85,775 |
| ER3 | | | | | | |
| 1 | 114,914 | 1260 | 306,160 | 1007,000 | 700,840 | 228,913 |
| 2 | 113,587 | 1542 | 311,452 | 762,518 | 451,066 | 144,827 |
| 3 | 109,008 | 1587 | 267,348 | 620,462 | 353,114 | 132,080 |
| 4 | 90,979 | 1535 | 257,884 | 971,851 | 713,967 | 276,856 |
| 5 | 101,512 | 1388 | 266,076 | 913,046 | 646,970 | 243,152 |
| 6 | 128,615 | 1098 | 331,127 | 1112,000 | 780,873 | 235,823 |
| 7 | 101,649 | 1976 | 270,077 | 553,995 | 283,918 | 105,125 |

Dari tabel tersebut ada peningkatan nilai MTTF setelah dilakukan perawatan dengan waktu interval optimal. Dan ini berarti umur mesin akan bertambah jika dilakukan program jadwal perawatan optimal.

5.3 Analisis Availability

Analisis availability digunakan untuk mengevaluasi apakah solusi yang telah dicari memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi availability adalah MTTF dan MTTR.

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Nilai availability sebelum waktu interval perawatan optimal dihitung dengan menggunakan MTTF dan MTTR dari mesin sebelum mendapat perawatan optimal.

Sedangkan nilai availability sesudah mendapatkan interval perawatan optimal juga dihitung dengan MTTF setelah mendapat interval perawatan optimal.

Dari nilai availability masing-masing keadaan dapat diketahui selisih harga availability. Peningkatan nilai availability sama dengan nilai availability setelah mendapat interval optimal dikurangi nilai availability sebelum mendapat interval optimal.

Perhitungan availability menggunakan software Math CAD. Tampilan harga availability dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.3 Peningkatan availability

| ER1 | Amttf | Amttfm | Selisih | % |
|-----|-------|--------|---------|--------|
| 1 | 0,959 | 0,983 | 0,024 | 2,503 |
| 2 | 0,958 | 0,976 | 0,018 | 1,879 |
| 3 | 0,954 | 0,984 | 0,030 | 3,145 |
| 4 | 0,952 | 0,974 | 0,022 | 2,311 |
| 5 | 0,955 | 0,991 | 0,036 | 3,770 |
| 6 | 0,966 | 0,984 | 0,018 | 1,863 |
| 7 | 0,950 | 0,975 | 0,025 | 2,632 |
| ER2 | | | | |
| 1 | 0,949 | 0,977 | 0,028 | 2,950 |
| 2 | 0,961 | 0,974 | 0,013 | 1,353 |
| 3 | 0,965 | 0,990 | 0,025 | 2,591 |
| 4 | 0,953 | 0,977 | 0,024 | 2,518 |
| 5 | 0,955 | 0,989 | 0,034 | 3,560 |
| 6 | 0,956 | 0,981 | 0,025 | 2,615 |
| 7 | 0,953 | 0,974 | 0,021 | 2,204 |
| ER3 | | | | |
| 1 | 0,961 | 0,988 | 0,027 | 2,810 |
| 2 | 0,959 | 0,983 | 0,024 | 2,503 |
| 3 | 0,960 | 0,982 | 0,022 | 2,292 |
| 4 | 0,949 | 0,986 | 0,037 | 3,899 |
| 5 | 0,950 | 0,980 | 0,030 | 3,158 |
| 6 | 0,966 | 0,990 | 0,024 | 2,484 |
| 7 | 0,953 | 0,977 | 0,024 | 2,5184 |

Dari hasil perhitungan ada peningkatan nilai availability sebesar availability setelah mendapat perawatan optimal dikurangi availability sebelum dilakukan perawatan optimal.

Availability sebelum mendapat perawatan optimal adalah sebagai berikut :

Untuk komponen seri :

$$\begin{aligned} A1 &= A11.A12.A13.A14.A15.A16.A17 \\ &= 0,959.0,958.0,954.0,952.0,955.0,966.0,950 \\ &= 0,73126 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A2 &= 0,949.0,961.0,965.0,953.0,955.0,965.0,953 \\ &= 0,73660 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A3 &= 0,961.0,959.0,960.0,949.0,957.0,966.0,953 \\ &= 0,73971 \end{aligned}$$

Availability total untuk mesin yang disusun paralel :

$$\begin{aligned} A_s &= 1 - (1-0,73126).(1-0,73660).(1-0,73971) \\ &= 0,98158 \end{aligned}$$

Jadi total nilai availability mesin ER sebelum mendapat perawatan optimal adalah 0,98158.

Availability setelah mendapat perawatan optimal adalah sebagai berikut :

Untuk komponen seri :

$$\begin{aligned} A1 &= A11.A12.A13.A14.A15.A16.A17 \\ &= 0,983.0,976.0,984.0,974.0,991.0,984.0,975 \\ &= 0,87424 \end{aligned}$$

$$A2 = 0,977.0,974.0,990.0,9977.0,989.0,981.0,974$$

$$= 0,86978$$

$$A3 = 0,988.0,983.0,982.0,986.0,980.0,990.0,977$$

$$= 0,89864$$

Availability total untuk mesin yang disusun paralel :

$$As = 1 - (1-0,87424).(1-0,86978).(1-0,89864)$$

$$= 0,99834$$

Jadi total nilai availability mesin ER setelah mendapat perawatan optimal adalah 0,99834.

Peningkatan nilai availability total adalah :

$$0,99834 - 0,98158 = 0,01676$$

5.4 Perhitungan Nilai Keandalan dengan Waktu Interval Optimal

Perhitungan nilai keandalan untuk suatu mesin atau komponen dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right]}$$

Dalam perhitungan ini, dicari nilai keandalan mesin secara keseluruhan dan tiap komponen. Mesin ERII terdiri dari 3 mesin, dimana masing-masing mesin terbagi dalam 7 komponen.

Keandalan mesin dengan struktur seri R_x dengan $x = 1$ sampai 3

$$R_x = R_{x1}.R_{x2}.R_{x3}. \dots .R_{x7}$$

Keandalan ERII dengan struktur paralel (R_s)

$$R_s = 1 - (1-R_1)(1-R_2)(1-R_3)$$

Nilai keandalan yang dimaksud di sini adalah nilai keandalan jika mendapat waktu interval perawatan optimal s.

Tabel nilai keandalan tiap komponen ditabelkan berikut ini.

Tabel 5.4 Nilai keandalan komponen untuk interval perawatan optimal

| ER1 | s(jam) | R(s) |
|-----|---------|-------|
| 1 | 103,925 | 0,844 |
| 2 | 120,565 | 0,788 |
| 3 | 101,640 | 0,890 |
| 4 | 96,120 | 0,793 |
| 5 | 100,394 | 0,923 |
| 6 | 131,935 | 0,824 |
| 7 | 93,774 | 0,827 |
| ER2 | | |
| 1 | 90,126 | 0,843 |
| 2 | 144,079 | 0,745 |
| 3 | 123,399 | 0,888 |
| 4 | 93,275 | 0,821 |
| 5 | 99,618 | 0,912 |
| 6 | 107,299 | 0,860 |
| 7 | 101,771 | 0,797 |
| ER3 | | |
| 1 | 114,914 | 0,890 |
| 2 | 113,587 | 0,859 |
| 3 | 109,008 | 0,835 |
| 4 | 90,979 | 0,909 |
| 5 | 101,512 | 0,800 |
| 6 | 128,615 | 0,889 |
| 7 | 101,649 | 0,829 |

Dari harga keandalan komponen dalam tabel maka keandalan untuk mesin-mesin Elektrolisa dengan komponen yang disusun seri sebanyak 7 buah adalah sebagai berikut :

$$R1 = 0,844 \times 0,788 \times 0,890 \times 0,793 \times 0,923 \times 0,824 \times 0,827$$

$$= 0,2952$$

$$R2 = 0,843 \times 0,745 \times 0,888 \times 0,821 \times 0,912 \times 0,860 \times 0,797$$

$$= 0,2862$$

$$R3 = 0,890 \times 0,859 \times 0,839 \times 0,909 \times 0,800 \times 0,889 \times 0,829$$

$$= 0,3438$$

Harga Rs dengan mesin disusun paralel sebanyak 3 buah adalah sebagai berikut :

$$Rs = 1 - (1-0,2952)(1-0,2862)(1-0,3438)$$

$$= 0,6699$$

Jadi harga keandalan total mesin Elektrolisa II adalah sebesar 0,6699.

5.5 Perhitungan Total Biaya Minimum

Dengan interval perawatan optimal sebesar s maka dapat ditentukan total biaya minimum perawatan. Hasil perhitungan total biaya sebelum mendapat jadwal perawatan optimal dapat diketahui dari data waktu antar kerusakan, waktu perbaikan, dan biaya-biaya dalam perawatan.

5.5.1 Perhitungan Total Biaya Sebelum Mendapat Jadwal Perawatan

Optimal

Biaya perawatan terdiri dari biaya perawatan pencegahan (CM) dan perawatan perbaikan (CM). Harga CM dan CF dihitung tiap komponen. Harga CM dianggap sama tiap komponen, CM diketahui dari perhitungan biaya pada bab IV sebesar = Rp. 70.061,8. Sedangkan CF tiap komponen dapat dicari dengan persamaan berikut, di mana MTTR nilainya tergantung masing-masing komponen.

$$CF = 56.887,95MTTR$$

Sedangkan total biaya perawatan di dapat dari jumlah CF dan CM dikalikan banyaknya jumlah kerusakan (n) dalam selang waktu tertentu. Di mana dalam antar kerusakan komponen dianggap terdapat sekali perawatan pencegahan. Jumlah kerusakan tiap komponen dalam penelitian ini sebanyak 70. Atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C = (n-1).CM + n.CF$$

Dengan perhitungan Lotus 1-2-3 dapat diketahui nilai dari total biaya perawatan (C). Tabel hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

Tabel 5.5 Perhitungan total biaya perawatan sebelum dilakukan interval optimal

| ER1 | n | MTTR(jam) | CF(Rp) | CM(Rp) | C(Rp) |
|-----|----|-----------|------------|-----------|--------------|
| 1 | 70 | 10,914 | 620875,086 | 70061,800 | 48295520,241 |
| 2 | 70 | 12,771 | 726516,009 | 70061,800 | 55690384,862 |
| 3 | 70 | 14,243 | 810255,072 | 70061,800 | 61552119,230 |
| 4 | 70 | 11,443 | 650968,812 | 70061,800 | 50402081,030 |
| 5 | 70 | 11,814 | 672074,241 | 70061,800 | 51879461,091 |
| 6 | 70 | 11,500 | 654211,425 | 70061,800 | 50629063,950 |
| 7 | 70 | 12,886 | 733058,124 | 70061,800 | 56148332,859 |
| ER2 | | | | | |
| 1 | 70 | 12,743 | 724923,147 | 70061,800 | 55578884,480 |
| 2 | 70 | 13,257 | 754163,553 | 70061,800 | 57625712,921 |
| 3 | 70 | 11,057 | 629010,063 | 70061,800 | 48864968,621 |
| 4 | 70 | 11,329 | 644483,586 | 70061,800 | 49948115,189 |
| 5 | 70 | 11,971 | 681005,649 | 70061,800 | 52504659,662 |
| 6 | 70 | 14,071 | 800470,344 | 70061,800 | 60867188,312 |
| 7 | 70 | 12,129 | 689993,946 | 70061,800 | 53133840,389 |
| ER3 | | | | | |
| 1 | 70 | 12,314 | 700518,216 | 70061,800 | 53870539,341 |
| 2 | 70 | 13,157 | 748474,758 | 70061,800 | 57227497,271 |
| 3 | 70 | 11,057 | 629010,063 | 70061,800 | 48864968,621 |
| 4 | 70 | 13,886 | 789946,074 | 70061,800 | 60130489,359 |
| 5 | 70 | 12,014 | 683451,831 | 70061,800 | 52675892,391 |
| 6 | 70 | 11,629 | 661549,971 | 70061,800 | 51142762,139 |
| 7 | 70 | 13,257 | 754163,553 | 70061,800 | 57625712,921 |

Total biaya untuk mesin Elektrolisa = 1134658,195

5.5.2 Perhitungan Total Biaya Setelah Mendapat Jadwal Perawatan

Optimal

Setelah dilakukan jadwal perawatan optimal dengan metode turunan, maka dapat dicari total biaya perawatan dalam selang waktu tertentu (t). Dalam hal ini waktu yang digunakan adalah total waktu antar kerusakan (Tot. WAK), waktu perbaikan (Tot. WF) dan total waktu perawatan (WM) untuk masing-masing komponen, di mana diasumsikan dalam antar kerusakan terdapat perawatan pencegahan satu kali, dimana dalam setiap perawatan pencegahan dibutuhkan waktu 2 jam. Total biaya perawatan (C) untuk tiap komponen merupakan total biaya perawatan per satuan waktu (C(s)) dikalikan total waktu perawatan (t) tiap komponen. Atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$t = \text{Tot. WAK} + \text{Tot. WF} + \text{Tot. WM}$$

$$C = t \times C(s)$$

Dengan interval perawatan optimal maka total biaya perawatan akan minimum. Sehingga nilai penghematan biaya perawatan tiap komponen adalah total biaya perawatan sebelum mendapat jadwal perawatan (C sebelum) dikurangi total biaya setelah mendapat jadwal perawatan optimal. (C sesudah), atau nilainya adalah

$$C \text{ sebelum} - C \text{ sesudah}$$

Sedangkan persentasi biaya perawatan yang bisa dihemat tiap komponen :

$$\frac{C_{\text{sebelum}} - C_{\text{sesudah}}}{C_{\text{sebelum}}} \times 100\%$$

Dengan cara yang sama nilai total biaya perawatan untuk mesin ER dapat pula di cari. Tabel perhitungannya adalah sebagai berikut.

Tabel 5.6 Perhitungan total biaya perawatan setelah dilakukan interval optimal

| ER1 | WAK(jam) | WF(jam) | WM(jam) | t(jam) | C (s) | C(Rp) | Selisih(Rp) | % |
|-----|----------|---------|---------|--------|-------|----------|--------------|--------|
| 1 | 17888 | 764 | 140 | 18792 | 1597 | 30010824 | 18284696,241 | 37,860 |
| 2 | 20601 | 894 | 140 | 21635 | 1908 | 41279580 | 14410804,862 | 25,877 |
| 3 | 20749 | 997 | 140 | 21886 | 1549 | 33901414 | 27650705,230 | 44,922 |
| 4 | 15763 | 801 | 140 | 16704 | 2166 | 36180864 | 14221217,030 | 28,216 |
| 5 | 17392 | 827 | 140 | 18359 | 1186 | 21773774 | 30105687,091 | 58,030 |
| 6 | 22871 | 805 | 140 | 23816 | 1411 | 33604376 | 17024687,950 | 33,626 |
| 7 | 17126 | 902 | 140 | 18168 | 2120 | 38516160 | 17632172,859 | 31,403 |
| ER2 | | | | | | | | |
| 1 | 16703 | 892 | 140 | 17735 | 2043 | 36232605 | 19346279,480 | 34,809 |
| 2 | 22986 | 928 | 140 | 24054 | 1916 | 46087464 | 11538248,921 | 20,023 |
| 3 | 21594 | 774 | 140 | 22508 | 1116 | 25118928 | 23746040,621 | 48,595 |
| 4 | 15910 | 793 | 140 | 16843 | 1996 | 33618628 | 16329487,189 | 32,693 |
| 5 | 17876 | 838 | 140 | 18854 | 1281 | 24151974 | 28352685,662 | 54,000 |
| 6 | 21334 | 985 | 140 | 22459 | 1700 | 38180300 | 22686888,312 | 37,273 |
| 7 | 17281 | 849 | 140 | 18270 | 2101 | 38385270 | 14748570,388 | 27,757 |
| ER3 | | | | | | | | |
| 1 | 21433 | 862 | 140 | 22435 | 1260 | 28268100 | 25602439,341 | 47,526 |
| 2 | 21724 | 921 | 140 | 22785 | 1542 | 35134470 | 22093027,271 | 38,606 |
| 3 | 18645 | 774 | 140 | 19559 | 1587 | 31040133 | 17824835,621 | 36,478 |
| 4 | 18007 | 972 | 140 | 19119 | 1535 | 29347665 | 30782824,359 | 51,193 |
| 5 | 18581 | 841 | 140 | 19562 | 1388 | 27152056 | 25523836,391 | 48,454 |
| 6 | 23131 | 814 | 140 | 24085 | 1098 | 26445330 | 24697432,139 | 48,291 |
| 7 | 18942 | 928 | 140 | 20010 | 1976 | 39539760 | 18085952,921 | 31,385 |

Total biaya untuk mesin Elektrolisa = 693969675

Biaya yang dapat dihemat dengan perawatan = 440688520

Rata-rata total biaya perawatan yang bisa dihemat (%) = 38,839

5.6 Interpretasi

Dari analisis keandalan pada mesin ERII di PT ISI ada beberapa manfaat yang bisa diperoleh, yaitu tentang jadwal perawatan dan analisis ketersediaan.

Dengan adanya penentuan distribusi parameter data waktu antar kerusakan dan perbaikan maka dapat ditentukan karakter atau kecenderungan kerusakan sehingga memudahkan dalam analisis keandalan.

Dari pengolahan data waktu antar kerusakan dan perbaikan, distribusi waktu antar kerusakan adalah Weibull dengan parameter α dan β . Sedangkan waktu perbaikan berdistribusi Normal dengan mean (μ), dan standar deviasi (σ).

5.6.1 Jadwal Perawatan dengan Waktu Interval Optimal

Suatu mesin yang bekerja terus menerus, akan mengalami penurunan kinerja, keandalan dan ketersediaanya. Untuk itu perawatan merupakan suatu alternatif untuk mengatasi hal tersebut. Tujuan perawatan adalah untuk meningkatkan keandalan mesin. Untuk komponen yang tingkat kerusakannya meningkat seiring berjalannya waktu atau berdistribusi Weibull perlu dilakukan jadwal perawatan untuk mengubah distribusi kerusakan Weibull menjadi distribusi yang berkarakter Eksponensial.

Metode yang digunakan dalam analisis keandalan ini adalah menggunakan turunan. Sehingga untuk mendapatkan total biaya dan analisis lainnya, lebih dulu ditentukan nilai waktu perawatan optimal.

Dari hasil perhitungan menggunakan Math CAD diperoleh waktu interval perawatan optimal. Akibat langsung dari hasil penentuan waktu interval perawatan

optimal adalah diperoleh total biaya minimum untuk perawatan.

Dengan perawatan yang optimal didapatkan pula peningkatan nilai MTTF mesin sehingga meningkatkan life time dari komponen. Peningkatan MTTF terbesar terdapat pada komponen ER15. Dengan adanya peningkatan MTTF untuk semua komponen akibat perawatan terjadwal maka program perawatan ini sebaiknya dilakukan.

Dengan adanya jadwal perawatan yang optimal berpengaruh pula pada total biaya perawatan. Dari tabel total biaya perawatan komponen sebelum dan sesudah perawatan interval optimal maka didapat peningkatan efisien biaya perawatan. Jumlah biaya perawatan yang dapat dihemat terbesar adalah pada komponen ER34. Sedangkan persentasi peningkatan efisiensi total biaya perawatan terbesar adalah pada komponen ER15. Secara keseluruhan dengan adanya jadwal perawatan optimal maka total biaya perawatan untuk tiap komponen mengalami penurunan.

5.6.2 Analisis Availability

Availability atau tingkat ketersediaan mesin ER11 secara keseluruhan mengalami peningkatan dengan dilakukannya penentuan waktu interval perawatan optimal.

Dari analisis pada mesin ER11, nilai availability mempunyai harga tertentu sesuai dengan komponen dan bentuk struktur. Struktur seri memberikan nilai availability yang semakin menurun, sebab sistem atau mesin dikatakan rusak jika salah satu dari mesin atau komponennya rusak. Jadi nilai availability total selalu lebih kecil dari availability komponen yang terkecil. Sedangkan nilai availability

mesin yang terpasang paralel semakin naik. Sebab sistem atau mesin dikatakan rusak jika semua mesin rusak. Atau mesin dikatakan berfungsi jika paling sedikit satu komponen atau mesin berfungsi.

Dari analisis ERII, nilai availability untuk tiap komponen mempunyai harga yang berbeda untuk availability sebelum dan sesudah mendapat jadwal perawatan optimal. Di mana secara keseluruhan tingkat availability semakin naik setelah dilakukan program jadwal perawatan.

Sebelum ditentukan jadwal perawatan optimal, nilai availability tertinggi terdapat pada mesin ER3. Sedangkan berturut-turut nilai availability berikutnya adalah ER2 dan ER1, atau dapat ditulis :

$$A_3 > A_2 > A_1$$

Setelah dilakukan jadwal perawatan optimal, nilai availability tertinggi masih tetap pada mesin ER3. Sedangkan nilai availability setelah ER3 berturut-turut adalah ER1 dan ER2, atau dapat ditulis :

$$A_3 > A_1 > A_2$$

5.6.3 Analisis Keandalan Mesin

Dari analisis pada mesin ERII, nilai keandalan mempunyai harga tertentu sesuai dengan komponen dan bentuk struktur. Struktur seri memberikan nilai keandalan yang semakin menurun, sebab sistem atau mesin dikatakan rusak jika salah satu dari mesin atau komponennya rusak atau mesin dikatakan baik bila komponen mesin semuanya baik. Jadi nilai keandalan total selalu lebih kecil dari keandalan komponen yang terkecil. Sedangkan nilai keandalan mesin yang terpasang

paralel semakin naik. Sebab sistem atau mesin dikatakan rusak jika semua komponen rusak. Atau mesin dikatakan berfungsi jika paling sedikit satu komponen berfungsi.

Dari ketiga mesin ER1, mesin ER3 mempunyai nilai keandalan yang relatif baik dibandingkan mesin ER1 dan ER2. Ini berarti mesin ER3 mempunyai probabilitas tingkat kerusakan lebih kecil dibandingkan mesin ER1 dan ER2. Nilai keandalan ER1 lebih besar dari ER2, atau dapat ditulis :

$$R_3 > R_1 > R_2$$

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengolahan dan analisis keandalan dapat dibuat suatu kesimpulan dan saran yang mendukung program perawatan pada mesin ER.

6.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan mengenai analisis keandalan untuk mesin Elektrolisa di PT ISI adalah :

1. Distribusi waktu antar kerusakan komponen mesin ER adalah Weibull dengan parameter α dan β (tabel 4.7)
2. Distribusi waktu perbaikan komponen mesin ER adalah Normal dengan parameter mean (μ) dan standar deviasi (σ) (tabel 4.8)
3. Waktu interval perawatan optimal tiap komponen sebesar s jam (tabel 5.4)
4. Dengan penetapan s didapatkan peningkatan MTTF komponen mesin ER yang terdapat dalam tabel 5.2
5. Dengan peningkatan MTTF setelah mendapat perawatan optimal nilai availability meningkat (tabel 5.3)
6. Dengan interval perawatan optimal maka total biaya perawatan tiap komponen akan minimum (tabel 5.6)
7. Nilai keandalan total mesin ER untuk interval perawatan optimal adalah 0,6699

6.2 Saran

Beberapa saran yang dapat menjadi pertimbangan :

1. Pencatatan data kerusakan yang rapi dan teratur akan memudahkan dalam analisis keandalan sehingga kecukupan dan ketepatan data dapat diperoleh. Untuk itu perlu pengintensifan pencatatan data kerusakan secara baik. Misalnya data disimpan dalam file komputer sehingga bisa digunakan sewaktu-waktu.
2. Dengan menggunakan sistem perawatan berdasarkan analisis keandalan bisa di hemat biaya perawatan.
3. Dalam penelitian analisis keandalan di PT ISI masih perlu penelitian lebih lanjut. Misalnya penentuan nilai interval optimal masih perlu disesuaikan dengan kondisi mesin dan tenaga kerja sehingga tidak terjadi penumpukan interval dalam waktu yang sama.
4. Untuk mesin yang lain perlu dianalisis keandalannya agar diketahui karakteristik dan peningkatan produktivitasnya. Dengan analisis keandalan untuk beberapa mesin atau keseluruhan, maka diharapkan produktivitas mesin secara keseluruhan akan meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkaff, Abdullah, Teknik Keandalan Sistem, Jurusan Teknik Elektro, FTI, ITS,
Surabaya, 1992
- Daniel, Wayne W, Statistik Nonparametrik Terapan, PT Gramedia, Jakarta, 1989
- Grosh, Dorish, Lloyd, A Primer of Reliability Theory, John Wiley & Sons, Inc, 1989
- Ramakumar, R., Engineering Reliability : Fundamentals & Application,
Prentice-Hall International, Inc., Engelwood Cliffs, New Jersey, 1993
- Lewis, E.E., Introduction to Reliability Engineering, John Wiley & Sons Ltd,
Canada, 1987
- Walpole, et al, Ilmu Peluang & Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan, Penerbit ITB,
Bandung
- Chico, Choiruddin, Penentuan Interval Perawatan Pencegahan Mesin Roller Mill di
PT Semen Gresik (PERSERO) - Gresik, Surabaya, 1993
- Bayu, Suryawan, Analisis Keandalan Mesin Carding untuk menentukan Periode
Perawatan dan Persediaan Suku Cadang di PT PATAL Lawang, Surabaya,
1993
- Erwinsyah, Studi Kasus Analisis Keandalan di PT IPTN Bandung, Surabaya, 1993

Lampiran A

Data Waktu Antar Kerusakan

Variable: ER11.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 432 | (19) 192 | (37) 72 | (55) 328 |
| (2) 623 | (20) 324 | (38) 352 | (56) 200 |
| (3) 149 | (21) 741 | (39) 133 | (57) 133 |
| (4) 14 | (22) 479 | (40) 310 | (58) 217 |
| (5) 440 | (23) 113 | (41) 359 | (59) 17 |
| (6) 42 | (24) 93 | (42) 225 | (60) 78 |
| (7) 299 | (25) 231 | (43) 392 | (61) 201 |
| (8) 78 | (26) 237 | (44) 99 | (62) 346 |
| (9) 34 | (27) 571 | (45) 229 | (63) 165 |
| (10) 166 | (28) 70 | (46) 113 | (64) 324 |
| (11) 406 | (29) 94 | (47) 236 | (65) 308 |
| (12) 238 | (30) 376 | (48) 378 | (66) 187 |
| (13) 437 | (31) 396 | (49) 171 | (67) 484 |
| (14) 494 | (32) 212 | (50) 142 | (68) 233 |
| (15) 370 | (33) 266 | (51) 208 | (69) 144 |
| (16) 232 | (34) 350 | (52) 331 | (70) 125 |
| (17) 260 | (35) 439 | (53) 127 | |
| (18) 172 | (36) 295 | (54) 156 | |

10.365

7523

Variable: ER12.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 200 | (19) 608 | (37) 124 | (55) 215 |
| (2) 333 | (20) 134 | (38) 151 | (56) 335 |
| (3) 61 | (21) 41 | (39) 300 | (57) 272 |
| (4) 397 | (22) 16 | (40) 133 | (58) 474 |
| (5) 414 | (23) 117 | (41) 437 | (59) 854 |
| (6) 575 | (24) 446 | (42) 723 | (60) 591 |
| (7) 547 | (25) 268 | (43) 351 | (61) 151 |
| (8) 275 | (26) 141 | (44) 164 | (62) 167 |
| (9) 189 | (27) 188 | (45) 123 | (63) 714 |
| (10) 233 | (28) 146 | (46) 234 | (64) 197 |
| (11) 413 | (29) 79 | (47) 323 | (65) 205 |
| (12) 241 | (30) 450 | (48) 987 | (66) 222 |
| (13) 25 | (31) 100 | (49) 266 | (67) 154 |
| (14) 248 | (32) 675 | (50) 180 | (68) 221 |
| (15) 596 | (33) 271 | (51) 227 | (69) 218 |
| (16) 511 | (34) 59 | (52) 458 | (70) 27 |
| (17) 204 | (35) 492 | (53) 235 | |
| (18) 36 | (36) 32 | (54) 407 | |

Variable: ER13.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 241 | (19) 180 | (37) 151 | (55) 341 |
| (2) 99 | (20) 599 | (38) 15 | (56) 161 |
| (3) 319 | (21) 240 | (39) 468 | (57) 93 |
| (4) 105 | (22) 553 | (40) 197 | (58) 123 |
| (5) 273 | (23) 744 | (41) 237 | (59) 271 |
| (6) 294 | (24) 509 | (42) 589 | (60) 630 |
| (7) 84 | (25) 147 | (43) 233 | (61) 530 |
| (8) 439 | (26) 338 | (44) 366 | (62) 137 |
| (9) 371 | (27) 323 | (45) 311 | (63) 218 |
| (10) 195 | (28) 43 | (46) 308 | (64) 411 |
| (11) 461 | (29) 226 | (47) 540 | (65) 302 |
| (12) 360 | (30) 91 | (48) 132 | (66) 287 |
| (13) 73 | (31) 79 | (49) 326 | (67) 617 |
| (14) 408 | (32) 376 | (50) 488 | (68) 380 |
| (15) 462 | (33) 330 | (51) 252 | (69) 170 |
| (16) 69 | (34) 90 | (52) 171 | (70) 45 |
| (17) 354 | (35) 135 | (53) 362 | |
| (18) 394 | (36) 465 | (54) 418 | |

Variable: ER14.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 284 | (19) 318 | (37) 504 | (55) 96 |
| (2) 153 | (20) 150 | (38) 62 | (56) 320 |
| (3) 108 | (21) 290 | (39) 244 | (57) 244 |
| (4) 181 | (22) 111 | (40) 59 | (58) 87 |
| (5) 102 | (23) 27 | (41) 136 | (59) 159 |
| (6) 398 | (24) 441 | (42) 198 | (60) 172 |
| (7) 108 | (25) 389 | (43) 97 | (61) 616 |
| (8) 266 | (26) 209 | (44) 48 | (62) 166 |
| (9) 195 | (27) 101 | (45) 394 | (63) 61 |
| (10) 57 | (28) 116 | (46) 213 | (64) 45 |
| (11) 399 | (29) 290 | (47) 96 | (65) 160 |
| (12) 120 | (30) 69 | (48) 79 | (66) 559 |
| (13) 244 | (31) 198 | (49) 324 | (67) 363 |
| (14) 229 | (32) 203 | (50) 435 | (68) 545 |
| (15) 287 | (33) 513 | (51) 186 | (69) 115 |
| (16) 149 | (34) 416 | (52) 65 | (70) 627 |
| (17) 142 | (35) 93 | (53) 616 | |
| (18) 110 | (36) 131 | (54) 75 | |

Variable: ER15.SAMPLES (length = 70)

| | | | | | | | |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| (1) | 218 | (19) | 76 | (37) | 240 | (55) | 301 |
| (2) | 259 | (20) | 250 | (38) | 525 | (56) | 268 |
| (3) | 99 | (21) | 489 | (39) | 100 | (57) | 234 |
| (4) | 477 | (22) | 424 | (40) | 269 | (58) | 213 |
| (5) | 132 | (23) | 182 | (41) | 169 | (59) | 234 |
| (6) | 277 | (24) | 317 | (42) | 334 | (60) | 248 |
| (7) | 197 | (25) | 108 | (43) | 351 | (61) | 185 |
| (8) | 142 | (26) | 367 | (44) | 410 | (62) | 135 |
| (9) | 162 | (27) | 208 | (45) | 194 | (63) | 213 |
| (10) | 107 | (28) | 386 | (46) | 344 | (64) | 391 |
| (11) | 93 | (29) | 379 | (47) | 131 | (65) | 128 |
| (12) | 421 | (30) | 236 | (48) | 328 | (66) | 111 |
| (13) | 227 | (31) | 319 | (49) | 68 | (67) | 278 |
| (14) | 166 | (32) | 332 | (50) | 389 | (68) | 151 |
| (15) | 382 | (33) | 296 | (51) | 223 | (69) | 323 |
| (16) | 345 | (34) | 144 | (52) | 189 | (70) | 360 |
| (17) | 305 | (35) | 247 | (53) | 85 | | |
| (18) | 178 | (36) | 191 | (54) | 132 | | |

Variable: ER16.SAMPLES (length = 70)

| | | | | | | | |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| (1) | 744 | (19) | 310 | (37) | 86 | (55) | 332 |
| (2) | 220 | (20) | 29 | (38) | 123 | (56) | 379 |
| (3) | 291 | (21) | 224 | (39) | 178 | (57) | 188 |
| (4) | 676 | (22) | 77 | (40) | 557 | (58) | 179 |
| (5) | 689 | (23) | 107 | (41) | 79 | (59) | 604 |
| (6) | 196 | (24) | 644 | (42) | 450 | (60) | 404 |
| (7) | 636 | (25) | 465 | (43) | 117 | (61) | 455 |
| (8) | 490 | (26) | 30 | (44) | 702 | (62) | 389 |
| (9) | 703 | (27) | 23 | (45) | 112 | (63) | 404 |
| (10) | 485 | (28) | 243 | (46) | 491 | (64) | 270 |
| (11) | 251 | (29) | 200 | (47) | 594 | (65) | 692 |
| (12) | 308 | (30) | 148 | (48) | 362 | (66) | 441 |
| (13) | 554 | (31) | 280 | (49) | 123 | (67) | 219 |
| (14) | 773 | (32) | 178 | (50) | 221 | (68) | 316 |
| (15) | 174 | (33) | 224 | (51) | 191 | (69) | 324 |
| (16) | 285 | (34) | 63 | (52) | 148 | (70) | 349 |
| (17) | 224 | (35) | 289 | (53) | 383 | | |
| (18) | 439 | (36) | 325 | (54) | 12 | | |

Variable: ER17.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 130 | (19) 230 | (37) 141 | (55) 149 |
| (2) 205 | (20) 167 | (38) 528 | (56) 309 |
| (3) 291 | (21) 45 | (39) 531 | (57) 219 |
| (4) 185 | (22) 592 | (40) 237 | (58) 213 |
| (5) 374 | (23) 158 | (41) 457 | (59) 224 |
| (6) 79 | (24) 5 | (42) 84 | (60) 379 |
| (7) 176 | (25) 187 | (43) 367 | (61) 287 |
| (8) 619 | (26) 160 | (44) 88 | (62) 418 |
| (9) 525 | (27) 262 | (45) 259 | (63) 32 |
| (10) 193 | (28) 505 | (46) 147 | (64) 144 |
| (11) 127 | (29) 191 | (47) 102 | (65) 201 |
| (12) 272 | (30) 236 | (48) 206 | (66) 76 |
| (13) 99 | (31) 134 | (49) 291 | (67) 125 |
| (14) 525 | (32) 201 | (50) 110 | (68) 187 |
| (15) 39 | (33) 216 | (51) 71 | (69) 232 |
| (16) 574 | (34) 130 | (52) 446 | (70) 325 |
| (17) 823 | (35) 164 | (53) 309 | |
| (18) 246 | (36) 102 | (54) 65 | |

Variable: ER21.SAMPLES (length = 70)

| | | | | | | | |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| (1) | 309 | (19) | 81 | (37) | 57 | (55) | 291 |
| (2) | 22 | (20) | 373 | (38) | 199 | (56) | 151 |
| (3) | 148 | (21) | 342 | (39) | 264 | (57) | 126 |
| (4) | 86 | (22) | 154 | (40) | 63 | (58) | 112 |
| (5) | 36 | (23) | 442 | (41) | 474 | (59) | 209 |
| (6) | 383 | (24) | 384 | (42) | 142 | (60) | 207 |
| (7) | 278 | (25) | 272 | (43) | 272 | (61) | 61 |
| (8) | 115 | (26) | 366 | (44) | 273 | (62) | 428 |
| (9) | 190 | (27) | 398 | (45) | 311 | (63) | 284 |
| (10) | 78 | (28) | 867 | (46) | 114 | (64) | 280 |
| (11) | 165 | (29) | 160 | (47) | 185 | (65) | 515 |
| (12) | 87 | (30) | 115 | (48) | 259 | (66) | 461 |
| (13) | 400 | (31) | 64 | (49) | 385 | (67) | 224 |
| (14) | 298 | (32) | 176 | (50) | 247 | (68) | 605 |
| (15) | 494 | (33) | 51 | (51) | 144 | (69) | 157 |
| (16) | 56 | (34) | 120 | (52) | 373 | (70) | 255 |
| (17) | 115 | (35) | 175 | (53) | 166 | | |
| (18) | 102 | (36) | 351 | (54) | 156 | | |

Variable: ER22.SAMPLES (length = 70)

| | | | | | | | |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| (1) | 343 | (19) | 83 | (37) | 384 | (55) | 628 |
| (2) | 115 | (20) | 126 | (38) | 153 | (56) | 425 |
| (3) | 172 | (21) | 369 | (39) | 360 | (57) | 293 |
| (4) | 109 | (22) | 20 | (40) | 185 | (58) | 217 |
| (5) | 674 | (23) | 384 | (41) | 473 | (59) | 130 |
| (6) | 187 | (24) | 443 | (42) | 45 | (60) | 179 |
| (7) | 66 | (25) | 75 | (43) | 20 | (61) | 614 |
| (8) | 302 | (26) | 45 | (44) | 84 | (62) | 47 |
| (9) | 878 | (27) | 496 | (45) | 523 | (63) | 64 |
| (10) | 237 | (28) | 157 | (46) | 114 | (64) | 629 |
| (11) | 308 | (29) | 251 | (47) | 451 | (65) | 128 |
| (12) | 583 | (30) | 77 | (48) | 589 | (66) | 500 |
| (13) | 601 | (31) | 382 | (49) | 477 | (67) | 290 |
| (14) | 205 | (32) | 376 | (50) | 314 | (68) | 329 |
| (15) | 15 | (33) | 955 | (51) | 145 | (69) | 429 |
| (16) | 138 | (34) | 563 | (52) | 429 | (70) | 401 |
| (17) | 260 | (35) | 456 | (53) | 879 | | |
| (18) | 692 | (36) | 22 | (54) | 893 | | |

Variable: ER23.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 250 | (19) 347 | (37) 325 | (55) 195 |
| (2) 256 | (20) 319 | (38) 129 | (56) 284 |
| (3) 258 | (21) 125 | (39) 330 | (57) 160 |
| (4) 304 | (22) 515 | (40) 332 | (58) 287 |
| (5) 192 | (23) 120 | (41) 284 | (59) 224 |
| (6) 295 | (24) 342 | (42) 94 | (60) 59 |
| (7) 172 | (25) 391 | (43) 146 | (61) 387 |
| (8) 610 | (26) 284 | (44) 399 | (62) 736 |
| (9) 87 | (27) 85 | (45) 52 | (63) 145 |
| (10) 471 | (28) 450 | (46) 245 | (64) 33 |
| (11) 267 | (29) 270 | (47) 273 | (65) 365 |
| (12) 317 | (30) 248 | (48) 431 | (66) 49 |
| (13) 513 | (31) 176 | (49) 175 | (67) 547 |
| (14) 464 | (32) 240 | (50) 512 | (68) 394 |
| (15) 159 | (33) 486 | (51) 647 | (69) 489 |
| (16) 406 | (34) 369 | (52) 207 | (70) 202 |
| (17) 539 | (35) 586 | (53) 556 | |
| (18) 328 | (36) 306 | (54) 354 | |

Variable: ER24.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 118 | (19) 209 | (37) 272 | (55) 123 |
| (2) 488 | (20) 81 | (38) 139 | (56) 141 |
| (3) 333 | (21) 788 | (39) 266 | (57) 108 |
| (4) 500 | (22) 306 | (40) 24 | (58) 409 |
| (5) 355 | (23) 165 | (41) 151 | (59) 201 |
| (6) 282 | (24) 423 | (42) 339 | (60) 407 |
| (7) 343 | (25) 143 | (43) 189 | (61) 438 |
| (8) 275 | (26) 46 | (44) 40 | (62) 100 |
| (9) 165 | (27) 256 | (45) 201 | (63) 303 |
| (10) 182 | (28) 102 | (46) 107 | (64) 133 |
| (11) 14 | (29) 105 | (47) 44 | (65) 327 |
| (12) 176 | (30) 288 | (48) 198 | (66) 292 |
| (13) 105 | (31) 226 | (49) 373 | (67) 428 |
| (14) 59 | (32) 304 | (50) 365 | (68) 140 |
| (15) 88 | (33) 137 | (51) 280 | (69) 111 |
| (16) 335 | (34) 73 | (52) 118 | (70) 255 |
| (17) 640 | (35) 217 | (53) 98 | |
| (18) 79 | (36) 215 | (54) 169 | |

Variable: ER25.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 459 | (19) 120 | (37) 196 | (55) 105 |
| (2) 419 | (20) 156 | (38) 40 | (56) 265 |
| (3) 53 | (21) 322 | (39) 359 | (57) 74 |
| (4) 318 | (22) 329 | (40) 262 | (58) 121 |
| (5) 285 | (23) 468 | (41) 433 | (59) 266 |
| (6) 117 | (24) 279 | (42) 386 | (60) 379 |
| (7) 246 | (25) 282 | (43) 428 | (61) 224 |
| (8) 204 | (26) 337 | (44) 179 | (62) 171 |
| (9) 588 | (27) 288 | (45) 207 | (63) 315 |
| (10) 262 | (28) 400 | (46) 354 | (64) 169 |
| (11) 195 | (29) 186 | (47) 261 | (65) 378 |
| (12) 113 | (30) 300 | (48) 275 | (66) 42 |
| (13) 222 | (31) 333 | (49) 185 | (67) 240 |
| (14) 258 | (32) 424 | (50) 320 | (68) 170 |
| (15) 138 | (33) 376 | (51) 94 | (69) 179 |
| (16) 130 | (34) 182 | (52) 96 | (70) 184 |
| (17) 173 | (35) 481 | (53) 281 | |
| (18) 485 | (36) 238 | (54) 72 | |

+-----
|
| Print
| Print
|
+-----

Variable: ER26.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 558 | (19) 102 | (37) 192 | (55) 376 |
| (2) 568 | (20) 292 | (38) 191 | (56) 639 |
| (3) 49 | (21) 500 | (39) 248 | (57) 261 |
| (4) 105 | (22) 683 | (40) 337 | (58) 185 |
| (5) 309 | (23) 526 | (41) 502 | (59) 80 |
| (6) 28 | (24) 411 | (42) 498 | (60) 272 |
| (7) 166 | (25) 404 | (43) 144 | (61) 160 |
| (8) 421 | (26) 126 | (44) 854 | (62) 104 |
| (9) 168 | (27) 570 | (45) 496 | (63) 105 |
| (10) 179 | (28) 206 | (46) 355 | (64) 174 |
| (11) 329 | (29) 673 | (47) 325 | (65) 584 |
| (12) 129 | (30) 40 | (48) 138 | (66) 391 |
| (13) 446 | (31) 330 | (49) 323 | (67) 222 |
| (14) 121 | (32) 166 | (50) 92 | (68) 387 |
| (15) 329 | (33) 395 | (51) 29 | (69) 412 |
| (16) 199 | (34) 414 | (52) 69 | (70) 820 |
| (17) 229 | (35) 358 | (53) 286 | |
| (18) 137 | (36) 313 | (54) 104 | |

Variable: ER27.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 275 | (19) 103 | (37) 344 | (55) 398 |
| (2) 43 | (20) 133 | (38) 249 | (56) 337 |
| (3) 169 | (21) 634 | (39) 261 | (57) 136 |
| (4) 40 | (22) 120 | (40) 93 | (58) 538 |
| (5) 234 | (23) 125 | (41) 105 | (59) 448 |
| (6) 244 | (24) 370 | (42) 346 | (60) 326 |
| (7) 218 | (25) 107 | (43) 87 | (61) 107 |
| (8) 42 | (26) 301 | (44) 315 | (62) 116 |
| (9) 252 | (27) 443 | (45) 184 | (63) 55 |
| (10) 276 | (28) 54 | (46) 455 | (64) 351 |
| (11) 105 | (29) 359 | (47) 400 | (65) 45 |
| (12) 52 | (30) 408 | (48) 807 | (66) 541 |
| (13) 330 | (31) 364 | (49) 96 | (67) 286 |
| (14) 74 | (32) 559 | (50) 141 | (68) 37 |
| (15) 45 | (33) 208 | (51) 106 | (69) 163 |
| (16) 41 | (34) 255 | (52) 213 | (70) 361 |
| (17) 137 | (35) 215 | (53) 500 | |
| (18) 589 | (36) 296 | (54) 114 | |

Variable: ER31.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 630 | (19) 400 | (37) 577 | (55) 431 |
| (2) 196 | (20) 184 | (38) 386 | (56) 172 |
| (3) 42 | (21) 437 | (39) 448 | (57) 343 |
| (4) 114 | (22) 710 | (40) 357 | (58) 163 |
| (5) 240 | (23) 98 | (41) 479 | (59) 588 |
| (6) 637 | (24) 99 | (42) 230 | (60) 357 |
| (7) 108 | (25) 390 | (43) 71 | (61) 140 |
| (8) 225 | (26) 312 | (44) 106 | (62) 302 |
| (9) 394 | (27) 456 | (45) 348 | (63) 252 |
| (10) 24 | (28) 178 | (46) 335 | (64) 570 |
| (11) 169 | (29) 162 | (47) 216 | (65) 552 |
| (12) 159 | (30) 143 | (48) 150 | (66) 289 |
| (13) 328 | (31) 279 | (49) 129 | (67) 318 |
| (14) 318 | (32) 369 | (50) 322 | (68) 569 |
| (15) 278 | (33) 325 | (51) 602 | (69) 361 |
| (16) 331 | (34) 484 | (52) 177 | (70) 252 |
| (17) 317 | (35) 236 | (53) 311 | |
| (18) 61 | (36) 553 | (54) 144 | |

Variable: ER32.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 343 | (19) 211 | (37) 474 | (55) 139 |
| (2) 316 | (20) 97 | (38) 386 | (56) 880 |
| (3) 65 | (21) 643 | (39) 120 | (57) 173 |
| (4) 233 | (22) 544 | (40) 438 | (58) 262 |
| (5) 570 | (23) 407 | (41) 78 | (59) 97 |
| (6) 179 | (24) 45 | (42) 49 | (60) 323 |
| (7) 398 | (25) 269 | (43) 516 | (61) 682 |
| (8) 107 | (26) 186 | (44) 202 | (62) 377 |
| (9) 198 | (27) 300 | (45) 675 | (63) 156 |
| (10) 301 | (28) 353 | (46) 139 | (64) 145 |
| (11) 327 | (29) 173 | (47) 380 | (65) 158 |
| (12) 73 | (30) 284 | (48) 426 | (66) 468 |
| (13) 107 | (31) 121 | (49) 464 | (67) 852 |
| (14) 108 | (32) 329 | (50) 650 | (68) 347 |
| (15) 225 | (33) 168 | (51) 444 | (69) 381 |
| (16) 478 | (34) 351 | (52) 310 | (70) 323 |
| (17) 404 | (35) 78 | (53) 162 | |
| (18) 131 | (36) 706 | (54) 220 | |

Variable: ER33.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 264 | (19) 111 | (37) 420 | (55) 254 |
| (2) 528 | (20) 303 | (38) 354 | (56) 250 |
| (3) 315 | (21) 294 | (39) 173 | (57) 229 |
| (4) 34 | (22) 288 | (40) 101 | (58) 340 |
| (5) 147 | (23) 154 | (41) 53 | (59) 282 |
| (6) 111 | (24) 489 | (42) 299 | (60) 700 |
| (7) 404 | (25) 106 | (43) 138 | (61) 114 |
| (8) 211 | (26) 98 | (44) 63 | (62) 242 |
| (9) 334 | (27) 382 | (45) 130 | (63) 159 |
| (10) 525 | (28) 651 | (46) 360 | (64) 480 |
| (11) 403 | (29) 181 | (47) 360 | (65) 489 |
| (12) 273 | (30) 54 | (48) 564 | (66) 198 |
| (13) 168 | (31) 101 | (49) 162 | (67) 237 |
| (14) 159 | (32) 118 | (50) 225 | (68) 303 |
| (15) 348 | (33) 557 | (51) 541 | (69) 66 |
| (16) 254 | (34) 136 | (52) 728 | (70) 306 |
| (17) 105 | (35) 106 | (53) 49 | |
| (18) 141 | (36) 216 | (54) 207 | |

Variable: ER34.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 386 | (19) 138 | (37) 158 | (55) 402 |
| (2) 102 | (20) 127 | (38) 72 | (56) 706 |
| (3) 159 | (21) 380 | (39) 338 | (57) 260 |
| (4) 436 | (22) 219 | (40) 460 | (58) 311 |
| (5) 123 | (23) 419 | (41) 76 | (59) 402 |
| (6) 103 | (24) 114 | (42) 134 | (60) 336 |
| (7) 133 | (25) 70 | (43) 276 | (61) 54 |
| (8) 229 | (26) 329 | (44) 336 | (62) 265 |
| (9) 224 | (27) 231 | (45) 497 | (63) 300 |
| (10) 309 | (28) 201 | (46) 345 | (64) 242 |
| (11) 217 | (29) 595 | (47) 65 | (65) 299 |
| (12) 340 | (30) 56 | (48) 518 | (66) 207 |
| (13) 234 | (31) 171 | (49) 167 | (67) 119 |
| (14) 324 | (32) 140 | (50) 285 | (68) 101 |
| (15) 266 | (33) 426 | (51) 301 | (69) 282 |
| (16) 291 | (34) 255 | (52) 158 | (70) 495 |
| (17) 294 | (35) 202 | (53) 290 | |
| (18) 179 | (36) 146 | (54) 182 | |

Variable: ER35.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 280 | (19) 91 | (37) 288 | (55) 119 |
| (2) 223 | (20) 377 | (38) 160 | (56) 152 |
| (3) 329 | (21) 284 | (39) 523 | (57) 63 |
| (4) 486 | (22) 370 | (40) 205 | (58) 347 |
| (5) 184 | (23) 250 | (41) 125 | (59) 51 |
| (6) 337 | (24) 86 | (42) 377 | (60) 173 |
| (7) 176 | (25) 274 | (43) 300 | (61) 260 |
| (8) 342 | (26) 144 | (44) 757 | (62) 323 |
| (9) 207 | (27) 264 | (45) 119 | (63) 127 |
| (10) 44 | (28) 456 | (46) 120 | (64) 155 |
| (11) 268 | (29) 342 | (47) 242 | (65) 280 |
| (12) 216 | (30) 473 | (48) 369 | (66) 347 |
| (13) 170 | (31) 122 | (49) 335 | (67) 386 |
| (14) 163 | (32) 339 | (50) 595 | (68) 76 |
| (15) 236 | (33) 219 | (51) 199 | (69) 424 |
| (16) 106 | (34) 209 | (52) 220 | (70) 556 |
| (17) 369 | (35) 407 | (53) 142 | |
| (18) 458 | (36) 140 | (54) 225 | |

Variable: ER36.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 503 | (19) 409 | (37) 670 | (55) 559 |
| (2) 523 | (20) 667 | (38) 425 | (56) 118 |
| (3) 357 | (21) 645 | (39) 423 | (57) 665 |
| (4) 388 | (22) 240 | (40) 342 | (58) 383 |
| (5) 254 | (23) 318 | (41) 234 | (59) 65 |
| (6) 303 | (24) 348 | (42) 317 | (60) 309 |
| (7) 598 | (25) 72 | (43) 641 | (61) 83 |
| (8) 302 | (26) 139 | (44) 167 | (62) 194 |
| (9) 293 | (27) 436 | (45) 236 | (63) 116 |
| (10) 601 | (28) 319 | (46) 341 | (64) 613 |
| (11) 72 | (29) 533 | (47) 391 | (65) 495 |
| (12) 340 | (30) 294 | (48) 216 | (66) 276 |
| (13) 693 | (31) 306 | (49) 261 | (67) 187 |
| (14) 173 | (32) 525 | (50) 117 | (68) 325 |
| (15) 444 | (33) 184 | (51) 171 | (69) 283 |
| (16) 215 | (34) 288 | (52) 259 | (70) 92 |
| (17) 518 | (35) 86 | (53) 116 | |
| (18) 122 | (36) 406 | (54) 127 | |

Variable: ER37.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| (1) 221 | (19) 426 | (37) 198 | (55) 172 |
| (2) 332 | (20) 173 | (38) 35 | (56) 171 |
| (3) 99 | (21) 18 | (39) 42 | (57) 160 |
| (4) 181 | (22) 268 | (40) 313 | (58) 278 |
| (5) 29 | (23) 222 | (41) 257 | (59) 402 |
| (6) 43 | (24) 598 | (42) 351 | (60) 215 |
| (7) 74 | (25) 52 | (43) 272 | (61) 244 |
| (8) 346 | (26) 150 | (44) 62 | (62) 261 |
| (9) 362 | (27) 315 | (45) 256 | (63) 143 |
| (10) 257 | (28) 614 | (46) 498 | (64) 109 |
| (11) 108 | (29) 469 | (47) 57 | (65) 128 |
| (12) 185 | (30) 27 | (48) 60 | (66) 487 |
| (13) 204 | (31) 416 | (49) 508 | (67) 441 |
| (14) 482 | (32) 311 | (50) 746 | (68) 469 |
| (15) 107 | (33) 328 | (51) 113 | (69) 464 |
| (16) 427 | (34) 136 | (52) 94 | (70) 238 |
| (17) 518 | (35) 721 | (53) 275 | |
| (18) 357 | (36) 336 | (54) 511 | |

Data Waktu Perbaikan

Variable: MTTR11.SAMPLES (length = 70)

| | | | | | | | |
|------|----|------|----|------|----|------|----|
| (1) | 12 | (19) | 11 | (37) | 13 | (55) | 11 |
| (2) | 7 | (20) | 14 | (38) | 11 | (56) | 12 |
| (3) | 11 | (21) | 11 | (39) | 10 | (57) | 10 |
| (4) | 10 | (22) | 10 | (40) | 8 | (58) | 10 |
| (5) | 11 | (23) | 9 | (41) | 12 | (59) | 11 |
| (6) | 11 | (24) | 9 | (42) | 11 | (60) | 8 |
| (7) | 14 | (25) | 10 | (43) | 12 | (61) | 11 |
| (8) | 14 | (26) | 10 | (44) | 13 | (62) | 11 |
| (9) | 11 | (27) | 12 | (45) | 13 | (63) | 11 |
| (10) | 12 | (28) | 13 | (46) | 10 | (64) | 10 |
| (11) | 13 | (29) | 11 | (47) | 11 | (65) | 11 |
| (12) | 10 | (30) | 12 | (48) | 10 | (66) | 12 |
| (13) | 12 | (31) | 11 | (49) | 11 | (67) | 9 |
| (14) | 8 | (32) | 10 | (50) | 13 | (68) | 11 |
| (15) | 9 | (33) | 12 | (51) | 10 | (69) | 13 |
| (16) | 10 | (34) | 11 | (52) | 11 | (70) | 8 |
| (17) | 12 | (35) | 11 | (53) | 12 | | |
| (18) | 12 | (36) | 8 | (54) | 10 | | |

Variable: MTTR12.SAMPLES (length = 70)

| | | | | | | | |
|------|----|------|----|------|----|------|----|
| (1) | 12 | (19) | 14 | (37) | 12 | (55) | 13 |
| (2) | 12 | (20) | 13 | (38) | 13 | (56) | 13 |
| (3) | 13 | (21) | 13 | (39) | 14 | (57) | 12 |
| (4) | 12 | (22) | 12 | (40) | 13 | (58) | 11 |
| (5) | 13 | (23) | 13 | (41) | 14 | (59) | 14 |
| (6) | 14 | (24) | 15 | (42) | 12 | (60) | 11 |
| (7) | 13 | (25) | 13 | (43) | 13 | (61) | 13 |
| (8) | 13 | (26) | 11 | (44) | 14 | (62) | 14 |
| (9) | 12 | (27) | 11 | (45) | 13 | (63) | 12 |
| (10) | 12 | (28) | 11 | (46) | 14 | (64) | 12 |
| (11) | 13 | (29) | 14 | (47) | 13 | (65) | 12 |
| (12) | 13 | (30) | 12 | (48) | 13 | (66) | 13 |
| (13) | 13 | (31) | 12 | (49) | 11 | (67) | 13 |
| (14) | 12 | (32) | 14 | (50) | 13 | (68) | 11 |
| (15) | 12 | (33) | 13 | (51) | 14 | (69) | 13 |
| (16) | 12 | (34) | 12 | (52) | 14 | (70) | 13 |
| (17) | 14 | (35) | 13 | (53) | 13 | | |
| (18) | 13 | (36) | 12 | (54) | 15 | | |

Variable: MTTR13.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 14 | (19) 16 | (37) 14 | (55) 16 |
| (2) 14 | (20) 9 | (38) 14 | (56) 21 |
| (3) 18 | (21) 13 | (39) 14 | (57) 13 |
| (4) 15 | (22) 14 | (40) 16 | (58) 9 |
| (5) 11 | (23) 13 | (41) 14 | (59) 14 |
| (6) 19 | (24) 18 | (42) 16 | (60) 12 |
| (7) 17 | (25) 16 | (43) 11 | (61) 14 |
| (8) 14 | (26) 10 | (44) 13 | (62) 14 |
| (9) 14 | (27) 8 | (45) 22 | (63) 15 |
| (10) 13 | (28) 17 | (46) 18 | (64) 9 |
| (11) 12 | (29) 18 | (47) 11 | (65) 13 |
| (12) 14 | (30) 19 | (48) 14 | (66) 12 |
| (13) 15 | (31) 17 | (49) 14 | (67) 14 |
| (14) 18 | (32) 11 | (50) 8 | (68) 14 |
| (15) 17 | (33) 12 | (51) 13 | (69) 13 |
| (16) 10 | (34) 13 | (52) 12 | (70) 15 |
| (17) 17 | (35) 16 | (53) 15 | |
| (18) 13 | (36) 16 | (54) 19 | |

Variable: MTTR14.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 11 | (19) 12 | (37) 10 | (55) 12 |
| (2) 12 | (20) 10 | (38) 11 | (56) 12 |
| (3) 13 | (21) 11 | (39) 13 | (57) 11 |
| (4) 13 | (22) 10 | (40) 14 | (58) 11 |
| (5) 11 | (23) 12 | (41) 12 | (59) 11 |
| (6) 12 | (24) 9 | (42) 11 | (60) 11 |
| (7) 10 | (25) 10 | (43) 12 | (61) 12 |
| (8) 12 | (26) 11 | (44) 13 | (62) 12 |
| (9) 11 | (27) 10 | (45) 12 | (63) 11 |
| (10) 12 | (28) 11 | (46) 10 | (64) 10 |
| (11) 11 | (29) 15 | (47) 11 | (65) 12 |
| (12) 12 | (30) 10 | (48) 12 | (66) 12 |
| (13) 11 | (31) 12 | (49) 10 | (67) 11 |
| (14) 13 | (32) 12 | (50) 12 | (68) 11 |
| (15) 10 | (33) 12 | (51) 12 | (69) 12 |
| (16) 12 | (34) 12 | (52) 12 | (70) 12 |
| (17) 11 | (35) 11 | (53) 12 | |
| (18) 10 | (36) 13 | (54) 9 | |

Variable: MTTR15.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 12 | (19) 11 | (37) 12 | (55) 13 |
| (2) 11 | (20) 12 | (38) 11 | (56) 12 |
| (3) 10 | (21) 12 | (39) 12 | (57) 12 |
| (4) 11 | (22) 12 | (40) 11 | (58) 12 |
| (5) 11 | (23) 11 | (41) 12 | (59) 11 |
| (6) 12 | (24) 12 | (42) 11 | (60) 12 |
| (7) 13 | (25) 11 | (43) 11 | (61) 12 |
| (8) 13 | (26) 12 | (44) 12 | (62) 12 |
| (9) 12 | (27) 14 | (45) 10 | (63) 12 |
| (10) 12 | (28) 11 | (46) 12 | (64) 13 |
| (11) 12 | (29) 12 | (47) 12 | (65) 13 |
| (12) 12 | (30) 12 | (48) 13 | (66) 9 |
| (13) 11 | (31) 13 | (49) 12 | (67) 11 |
| (14) 11 | (32) 11 | (50) 11 | (68) 13 |
| (15) 12 | (33) 12 | (51) 13 | (69) 12 |
| (16) 13 | (34) 11 | (52) 12 | (70) 11 |
| (17) 14 | (35) 12 | (53) 12 | |
| (18) 12 | (36) 12 | (54) 11 | |

Variable: MTTR16.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 13 | (19) 11 | (37) 11 | (55) 10 |
| (2) 12 | (20) 11 | (38) 11 | (56) 10 |
| (3) 12 | (21) 10 | (39) 13 | (57) 10 |
| (4) 12 | (22) 9 | (40) 11 | (58) 11 |
| (5) 11 | (23) 11 | (41) 15 | (59) 12 |
| (6) 12 | (24) 11 | (42) 11 | (60) 13 |
| (7) 12 | (25) 12 | (43) 11 | (61) 13 |
| (8) 13 | (26) 10 | (44) 13 | (62) 12 |
| (9) 11 | (27) 12 | (45) 8 | (63) 14 |
| (10) 12 | (28) 11 | (46) 13 | (64) 12 |
| (11) 10 | (29) 11 | (47) 11 | (65) 11 |
| (12) 11 | (30) 11 | (48) 10 | (66) 11 |
| (13) 12 | (31) 13 | (49) 13 | (67) 12 |
| (14) 12 | (32) 12 | (50) 9 | (68) 11 |
| (15) 14 | (33) 11 | (51) 13 | (69) 12 |
| (16) 14 | (34) 11 | (52) 13 | (70) 10 |
| (17) 10 | (35) 12 | (53) 12 | |
| (18) 11 | (36) 10 | (54) 10 | |

Variable: MTTR17.SAMPLES (length = 70)

| | | | | | | | |
|------|----|------|----|------|----|------|----|
| (1) | 12 | (19) | 12 | (37) | 12 | (55) | 13 |
| (2) | 11 | (20) | 11 | (38) | 13 | (56) | 12 |
| (3) | 16 | (21) | 17 | (39) | 10 | (57) | 15 |
| (4) | 11 | (22) | 11 | (40) | 14 | (58) | 12 |
| (5) | 11 | (23) | 10 | (41) | 10 | (59) | 8 |
| (6) | 16 | (24) | 15 | (42) | 10 | (60) | 14 |
| (7) | 18 | (25) | 13 | (43) | 16 | (61) | 12 |
| (8) | 13 | (26) | 11 | (44) | 12 | (62) | 14 |
| (9) | 15 | (27) | 13 | (45) | 14 | (63) | 15 |
| (10) | 12 | (28) | 15 | (46) | 18 | (64) | 13 |
| (11) | 16 | (29) | 12 | (47) | 14 | (65) | 13 |
| (12) | 14 | (30) | 12 | (48) | 10 | (66) | 16 |
| (13) | 15 | (31) | 9 | (49) | 15 | (67) | 10 |
| (14) | 9 | (32) | 12 | (50) | 8 | (68) | 11 |
| (15) | 14 | (33) | 14 | (51) | 7 | (69) | 17 |
| (16) | 11 | (34) | 10 | (52) | 15 | (70) | 12 |
| (17) | 14 | (35) | 14 | (53) | 16 | | |
| (18) | 14 | (36) | 15 | (54) | 13 | | |

Variable: MTTR21.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 14 | (19) 13 | (37) 14 | (55) 14 |
| (2) 13 | (20) 12 | (38) 14 | (56) 12 |
| (3) 14 | (21) 12 | (39) 14 | (57) 12 |
| (4) 15 | (22) 14 | (40) 14 | (58) 11 |
| (5) 15 | (23) 11 | (41) 14 | (59) 13 |
| (6) 13 | (24) 12 | (42) 12 | (60) 12 |
| (7) 12 | (25) 13 | (43) 13 | (61) 14 |
| (8) 12 | (26) 13 | (44) 12 | (62) 13 |
| (9) 13 | (27) 12 | (45) 12 | (63) 11 |
| (10) 13 | (28) 13 | (46) 13 | (64) 13 |
| (11) 14 | (29) 13 | (47) 12 | (65) 12 |
| (12) 13 | (30) 12 | (48) 12 | (66) 12 |
| (13) 13 | (31) 12 | (49) 14 | (67) 11 |
| (14) 14 | (32) 12 | (50) 11 | (68) 12 |
| (15) 13 | (33) 11 | (51) 12 | (69) 13 |
| (16) 13 | (34) 13 | (52) 14 | (70) 12 |
| (17) 12 | (35) 13 | (53) 13 | |
| (18) 12 | (36) 13 | (54) 13 | |

Variable: MTTR22.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 13 | (19) 12 | (37) 14 | (55) 12 |
| (2) 13 | (20) 12 | (38) 14 | (56) 13 |
| (3) 13 | (21) 15 | (39) 11 | (57) 17 |
| (4) 14 | (22) 12 | (40) 13 | (58) 11 |
| (5) 15 | (23) 13 | (41) 17 | (59) 12 |
| (6) 12 | (24) 12 | (42) 11 | (60) 16 |
| (7) 12 | (25) 16 | (43) 12 | (61) 15 |
| (8) 11 | (26) 14 | (44) 17 | (62) 16 |
| (9) 13 | (27) 14 | (45) 11 | (63) 12 |
| (10) 15 | (28) 14 | (46) 11 | (64) 14 |
| (11) 12 | (29) 15 | (47) 13 | (65) 12 |
| (12) 17 | (30) 14 | (48) 13 | (66) 12 |
| (13) 10 | (31) 11 | (49) 12 | (67) 14 |
| (14) 14 | (32) 12 | (50) 14 | (68) 13 |
| (15) 17 | (33) 15 | (51) 16 | (69) 7 |
| (16) 9 | (34) 16 | (52) 14 | (70) 15 |
| (17) 10 | (35) 13 | (53) 13 | |
| (18) 15 | (36) 15 | (54) 11 | |

Variable: MTTR23.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 12 | (19) 11 | (37) 10 | (55) 11 |
| (2) 11 | (20) 11 | (38) 11 | (56) 11 |
| (3) 12 | (21) 11 | (39) 11 | (57) 10 |
| (4) 12 | (22) 11 | (40) 9 | (58) 11 |
| (5) 10 | (23) 11 | (41) 11 | (59) 12 |
| (6) 11 | (24) 10 | (42) 12 | (60) 10 |
| (7) 12 | (25) 9 | (43) 10 | (61) 12 |
| (8) 11 | (26) 10 | (44) 10 | (62) 11 |
| (9) 11 | (27) 12 | (45) 12 | (63) 10 |
| (10) 11 | (28) 12 | (46) 10 | (64) 9 |
| (11) 10 | (29) 12 | (47) 13 | (65) 10 |
| (12) 10 | (30) 10 | (48) 10 | (66) 11 |
| (13) 12 | (31) 12 | (49) 12 | (67) 11 |
| (14) 12 | (32) 11 | (50) 10 | (68) 13 |
| (15) 12 | (33) 12 | (51) 11 | (69) 11 |
| (16) 11 | (34) 13 | (52) 11 | (70) 12 |
| (17) 11 | (35) 13 | (53) 10 | |
| (18) 12 | (36) 10 | (54) 12 | |

Variable: MTTR24.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 10 | (19) 12 | (37) 12 | (55) 11 |
| (2) 11 | (20) 12 | (38) 11 | (56) 11 |
| (3) 10 | (21) 10 | (39) 11 | (57) 11 |
| (4) 12 | (22) 12 | (40) 13 | (58) 12 |
| (5) 10 | (23) 10 | (41) 12 | (59) 11 |
| (6) 11 | (24) 11 | (42) 12 | (60) 11 |
| (7) 11 | (25) 12 | (43) 11 | (61) 12 |
| (8) 13 | (26) 11 | (44) 13 | (62) 10 |
| (9) 11 | (27) 12 | (45) 11 | (63) 13 |
| (10) 11 | (28) 10 | (46) 11 | (64) 10 |
| (11) 11 | (29) 11 | (47) 12 | (65) 11 |
| (12) 12 | (30) 11 | (48) 11 | (66) 12 |
| (13) 10 | (31) 11 | (49) 11 | (67) 11 |
| (14) 11 | (32) 11 | (50) 13 | (68) 11 |
| (15) 11 | (33) 11 | (51) 10 | (69) 12 |
| (16) 12 | (34) 13 | (52) 13 | (70) 12 |
| (17) 12 | (35) 12 | (53) 11 | |
| (18) 12 | (36) 11 | (54) 10 | |

Variable: MTTR25.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 12 | (19) 11 | (37) 13 | (55) 10 |
| (2) 13 | (20) 12 | (38) 12 | (56) 11 |
| (3) 13 | (21) 13 | (39) 13 | (57) 12 |
| (4) 12 | (22) 13 | (40) 13 | (58) 11 |
| (5) 14 | (23) 11 | (41) 13 | (59) 12 |
| (6) 13 | (24) 11 | (42) 13 | (60) 11 |
| (7) 12 | (25) 13 | (43) 14 | (61) 11 |
| (8) 11 | (26) 11 | (44) 12 | (62) 12 |
| (9) 11 | (27) 11 | (45) 12 | (63) 11 |
| (10) 12 | (28) 11 | (46) 12 | (64) 12 |
| (11) 13 | (29) 12 | (47) 10 | (65) 11 |
| (12) 10 | (30) 13 | (48) 13 | (66) 11 |
| (13) 12 | (31) 12 | (49) 13 | (67) 12 |
| (14) 12 | (32) 11 | (50) 12 | (68) 13 |
| (15) 12 | (33) 12 | (51) 11 | (69) 13 |
| (16) 11 | (34) 13 | (52) 12 | (70) 11 |
| (17) 14 | (35) 14 | (53) 11 | |
| (18) 11 | (36) 12 | (54) 11 | |

Variable: MTTR26.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 16 | (19) 11 | (37) 17 | (55) 11 |
| (2) 14 | (20) 11 | (38) 15 | (56) 13 |
| (3) 13 | (21) 15 | (39) 13 | (57) 13 |
| (4) 14 | (22) 13 | (40) 13 | (58) 15 |
| (5) 12 | (23) 14 | (41) 15 | (59) 11 |
| (6) 14 | (24) 14 | (42) 13 | (60) 15 |
| (7) 15 | (25) 12 | (43) 15 | (61) 15 |
| (8) 18 | (26) 17 | (44) 16 | (62) 17 |
| (9) 15 | (27) 14 | (45) 15 | (63) 13 |
| (10) 13 | (28) 13 | (46) 15 | (64) 13 |
| (11) 13 | (29) 10 | (47) 17 | (65) 15 |
| (12) 17 | (30) 13 | (48) 12 | (66) 12 |
| (13) 14 | (31) 14 | (49) 17 | (67) 18 |
| (14) 15 | (32) 15 | (50) 10 | (68) 13 |
| (15) 11 | (33) 17 | (51) 16 | (69) 10 |
| (16) 15 | (34) 13 | (52) 14 | (70) 15 |
| (17) 16 | (35) 15 | (53) 16 | |
| (18) 14 | (36) 12 | (54) 15 | |

Variable: MTTR27.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 13 | (19) 12 | (37) 12 | (55) 11 |
| (2) 11 | (20) 13 | (38) 13 | (56) 14 |
| (3) 11 | (21) 12 | (39) 12 | (57) 11 |
| (4) 12 | (22) 12 | (40) 12 | (58) 12 |
| (5) 12 | (23) 10 | (41) 13 | (59) 12 |
| (6) 11 | (24) 11 | (42) 12 | (60) 13 |
| (7) 12 | (25) 11 | (43) 13 | (61) 14 |
| (8) 13 | (26) 12 | (44) 12 | (62) 13 |
| (9) 14 | (27) 14 | (45) 10 | (63) 11 |
| (10) 12 | (28) 13 | (46) 13 | (64) 12 |
| (11) 12 | (29) 12 | (47) 13 | (65) 12 |
| (12) 14 | (30) 11 | (48) 13 | (66) 12 |
| (13) 13 | (31) 11 | (49) 10 | (67) 12 |
| (14) 12 | (32) 13 | (50) 12 | (68) 12 |
| (15) 11 | (33) 13 | (51) 12 | (69) 11 |
| (16) 11 | (34) 13 | (52) 13 | (70) 13 |
| (17) 12 | (35) 13 | (53) 12 | |
| (18) 12 | (36) 12 | (54) 11 | |

Variable: MTTR31.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 12 | (19) 10 | (37) 13 | (55) 12 |
| (2) 13 | (20) 14 | (38) 13 | (56) 13 |
| (3) 12 | (21) 10 | (39) 14 | (57) 12 |
| (4) 13 | (22) 12 | (40) 14 | (58) 14 |
| (5) 11 | (23) 13 | (41) 13 | (59) 12 |
| (6) 10 | (24) 11 | (42) 11 | (60) 12 |
| (7) 12 | (25) 11 | (43) 13 | (61) 13 |
| (8) 12 | (26) 13 | (44) 10 | (62) 13 |
| (9) 11 | (27) 10 | (45) 12 | (63) 13 |
| (10) 12 | (28) 14 | (46) 13 | (64) 14 |
| (11) 15 | (29) 12 | (47) 14 | (65) 12 |
| (12) 12 | (30) 12 | (48) 11 | (66) 13 |
| (13) 13 | (31) 12 | (49) 10 | (67) 12 |
| (14) 14 | (32) 12 | (50) 13 | (68) 13 |
| (15) 13 | (33) 12 | (51) 12 | (69) 11 |
| (16) 13 | (34) 12 | (52) 12 | (70) 11 |
| (17) 13 | (35) 13 | (53) 12 | |
| (18) 14 | (36) 12 | (54) 12 | |

Variable: MTTR32.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 11 | (19) 12 | (37) 12 | (55) 15 |
| (2) 10 | (20) 11 | (38) 15 | (56) 18 |
| (3) 13 | (21) 13 | (39) 11 | (57) 13 |
| (4) 14 | (22) 12 | (40) 14 | (58) 13 |
| (5) 14 | (23) 16 | (41) 10 | (59) 18 |
| (6) 14 | (24) 13 | (42) 13 | (60) 11 |
| (7) 11 | (25) 13 | (43) 15 | (61) 14 |
| (8) 11 | (26) 13 | (44) 13 | (62) 15 |
| (9) 13 | (27) 13 | (45) 16 | (63) 13 |
| (10) 13 | (28) 14 | (46) 14 | (64) 12 |
| (11) 13 | (29) 13 | (47) 13 | (65) 15 |
| (12) 14 | (30) 10 | (48) 10 | (66) 9 |
| (13) 15 | (31) 13 | (49) 11 | (67) 11 |
| (14) 15 | (32) 16 | (50) 13 | (68) 17 |
| (15) 11 | (33) 13 | (51) 13 | (69) 14 |
| (16) 11 | (34) 14 | (52) 12 | (70) 11 |
| (17) 13 | (35) 8 | (53) 14 | |
| (18) 15 | (36) 16 | (54) 19 | |

Variable: MTTR33.SAMPLES (length = 70)

| | | | | | | | |
|------|----|------|----|------|----|------|----|
| (1) | 12 | (19) | 11 | (37) | 11 | (55) | 10 |
| (2) | 13 | (20) | 11 | (38) | 10 | (56) | 13 |
| (3) | 10 | (21) | 11 | (39) | 11 | (57) | 11 |
| (4) | 11 | (22) | 11 | (40) | 11 | (58) | 11 |
| (5) | 11 | (23) | 8 | (41) | 11 | (59) | 13 |
| (6) | 10 | (24) | 11 | (42) | 9 | (60) | 11 |
| (7) | 11 | (25) | 10 | (43) | 11 | (61) | 12 |
| (8) | 11 | (26) | 11 | (44) | 10 | (62) | 12 |
| (9) | 11 | (27) | 11 | (45) | 11 | (63) | 12 |
| (10) | 11 | (28) | 12 | (46) | 11 | (64) | 12 |
| (11) | 12 | (29) | 11 | (47) | 11 | (65) | 12 |
| (12) | 11 | (30) | 13 | (48) | 11 | (66) | 11 |
| (13) | 10 | (31) | 11 | (49) | 12 | (67) | 10 |
| (14) | 9 | (32) | 11 | (50) | 13 | (68) | 11 |
| (15) | 12 | (33) | 11 | (51) | 12 | (69) | 10 |
| (16) | 10 | (34) | 11 | (52) | 11 | (70) | 10 |
| (17) | 12 | (35) | 11 | (53) | 12 | | |
| (18) | 11 | (36) | 9 | (54) | 12 | | |

Variable: MTTR34.SAMPLES (length = 70)

| | | | | | | | |
|------|----|------|----|------|----|------|----|
| (1) | 16 | (19) | 19 | (37) | 15 | (55) | 14 |
| (2) | 9 | (20) | 11 | (38) | 16 | (56) | 11 |
| (3) | 12 | (21) | 13 | (39) | 13 | (57) | 15 |
| (4) | 11 | (22) | 12 | (40) | 17 | (58) | 19 |
| (5) | 13 | (23) | 15 | (41) | 14 | (59) | 10 |
| (6) | 12 | (24) | 14 | (42) | 16 | (60) | 13 |
| (7) | 13 | (25) | 13 | (43) | 13 | (61) | 15 |
| (8) | 14 | (26) | 12 | (44) | 18 | (62) | 13 |
| (9) | 16 | (27) | 14 | (45) | 14 | (63) | 13 |
| (10) | 14 | (28) | 14 | (46) | 16 | (64) | 17 |
| (11) | 13 | (29) | 15 | (47) | 16 | (65) | 15 |
| (12) | 16 | (30) | 11 | (48) | 12 | (66) | 14 |
| (13) | 11 | (31) | 13 | (49) | 13 | (67) | 16 |
| (14) | 15 | (32) | 14 | (50) | 13 | (68) | 15 |
| (15) | 15 | (33) | 14 | (51) | 15 | (69) | 13 |
| (16) | 15 | (34) | 14 | (52) | 13 | (70) | 8 |
| (17) | 12 | (35) | 15 | (53) | 15 | | |
| (18) | 13 | (36) | 15 | (54) | 14 | | |

Variable: MTTR35.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 13 | (19) 13 | (37) 11 | (55) 10 |
| (2) 12 | (20) 13 | (38) 12 | (56) 12 |
| (3) 13 | (21) 11 | (39) 12 | (57) 11 |
| (4) 11 | (22) 11 | (40) 12 | (58) 11 |
| (5) 13 | (23) 11 | (41) 13 | (59) 12 |
| (6) 11 | (24) 12 | (42) 12 | (60) 13 |
| (7) 13 | (25) 12 | (43) 12 | (61) 12 |
| (8) 12 | (26) 12 | (44) 13 | (62) 9 |
| (9) 13 | (27) 14 | (45) 12 | (63) 11 |
| (10) 12 | (28) 13 | (46) 11 | (64) 12 |
| (11) 11 | (29) 14 | (47) 11 | (65) 13 |
| (12) 12 | (30) 12 | (48) 12 | (66) 11 |
| (13) 11 | (31) 13 | (49) 12 | (67) 14 |
| (14) 13 | (32) 14 | (50) 13 | (68) 12 |
| (15) 12 | (33) 12 | (51) 11 | (69) 13 |
| (16) 12 | (34) 12 | (52) 12 | (70) 12 |
| (17) 13 | (35) 10 | (53) 12 | |
| (18) 11 | (36) 12 | (54) 11 | |

Variable: MTTR36.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 10 | (19) 11 | (37) 13 | (55) 11 |
| (2) 12 | (20) 13 | (38) 12 | (56) 12 |
| (3) 13 | (21) 13 | (39) 11 | (57) 12 |
| (4) 11 | (22) 14 | (40) 12 | (58) 12 |
| (5) 12 | (23) 10 | (41) 10 | (59) 11 |
| (6) 12 | (24) 14 | (42) 12 | (60) 11 |
| (7) 13 | (25) 14 | (43) 11 | (61) 12 |
| (8) 12 | (26) 12 | (44) 11 | (62) 13 |
| (9) 11 | (27) 11 | (45) 11 | (63) 13 |
| (10) 11 | (28) 13 | (46) 13 | (64) 11 |
| (11) 12 | (29) 12 | (47) 13 | (65) 10 |
| (12) 10 | (30) 12 | (48) 10 | (66) 10 |
| (13) 11 | (31) 12 | (49) 11 | (67) 9 |
| (14) 11 | (32) 11 | (50) 11 | (68) 11 |
| (15) 13 | (33) 10 | (51) 11 | (69) 11 |
| (16) 12 | (34) 11 | (52) 13 | (70) 12 |
| (17) 12 | (35) 12 | (53) 10 | |
| (18) 13 | (36) 11 | (54) 11 | |

Variable: MTTR37.SAMPLES (length = 70)

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (1) 15 | (19) 12 | (37) 11 | (55) 14 |
| (2) 14 | (20) 17 | (38) 12 | (56) 14 |
| (3) 14 | (21) 14 | (39) 17 | (57) 14 |
| (4) 11 | (22) 16 | (40) 12 | (58) 10 |
| (5) 15 | (23) 15 | (41) 12 | (59) 10 |
| (6) 11 | (24) 15 | (42) 14 | (60) 17 |
| (7) 13 | (25) 16 | (43) 13 | (61) 16 |
| (8) 13 | (26) 12 | (44) 12 | (62) 15 |
| (9) 11 | (27) 16 | (45) 13 | (63) 12 |
| (10) 14 | (28) 12 | (46) 13 | (64) 10 |
| (11) 12 | (29) 12 | (47) 14 | (65) 10 |
| (12) 14 | (30) 13 | (48) 11 | (66) 14 |
| (13) 13 | (31) 13 | (49) 15 | (67) 12 |
| (14) 13 | (32) 15 | (50) 16 | (68) 14 |
| (15) 12 | (33) 15 | (51) 14 | (69) 11 |
| (16) 12 | (34) 9 | (52) 11 | (70) 16 |
| (17) 12 | (35) 12 | (53) 16 | |
| (18) 16 | (36) 11 | (54) 13 | |

235

245

239

209

Lampiran B

Pengolahan Data Waktu Antar Kerusakan

| Variable: | ER11.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 255.543 |
| Standard deviation | 150.135 |
| Minimum | 14 |
| Maximum | 741 |
| Range | 727 |
| Sum | 17888 |

| Variable: | ER15.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 248.457 |
| Standard deviation | 110.255 |
| Minimum | 68 |
| Maximum | 525 |
| Range | 457 |
| Sum | 17392 |

| Variable: | ER12.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 294.3 |
| Standard deviation | 208.571 |
| Minimum | 16 |
| Maximum | 987 |
| Range | 971 |
| Sum | 20601 |

| Variable: | ER16.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 326.729 |
| Standard deviation | 202.311 |
| Minimum | 12 |
| Maximum | 773 |
| Range | 761 |
| Sum | 22871 |

| Variable: | ER13.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 296.414 |
| Standard deviation | 167.889 |
| Minimum | 15 |
| Maximum | 744 |
| Range | 729 |
| Sum | 20749 |

| Variable: | ER17.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 244.657 |
| Standard deviation | 164.9 |
| Minimum | 5 |
| Maximum | 823 |
| Range | 818 |
| Sum | 17126 |

| Variable: | ER14.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 225.186 |
| Standard deviation | 158.025 |
| Minimum | 27 |
| Maximum | 627 |
| Range | 600 |
| Sum | 15763 |

| Variable: | ER21.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 238.614 |
| Standard deviation | 155.135 |
| Minimum | 22 |
| Maximum | 867 |
| Range | 845 |
| Sum | 16703 |

| Variable: | ER25.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 255.371 |
| Standard deviation | 121.92 |
| Minimum | 40 |
| Maximum | 588 |
| Range | 548 |
| Sum | 17876 |

| Variable: | ER22.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 328.371 |
| Standard deviation | 236.532 |
| Minimum | 15 |
| Maximum | 955 |
| Range | 940 |
| Sum | 22986 |

| Variable: | ER26.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 304.771 |
| Standard deviation | 192.784 |
| Minimum | 28 |
| Maximum | 854 |
| Range | 826 |
| Sum | 21334 |

| Variable: | ER23.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 308.486 |
| Standard deviation | 157.702 |
| Minimum | 33 |
| Maximum | 736 |
| Range | 703 |
| Sum | 21594 |

| Variable: | ER27.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 246.871 |
| Standard deviation | 169.881 |
| Minimum | 37 |
| Maximum | 807 |
| Range | 770 |
| Sum | 17281 |

| Variable: | ER24.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 227.286 |
| Standard deviation | 147.493 |
| Minimum | 14 |
| Maximum | 788 |
| Range | 774 |
| Sum | 15910 |

| Variable: | ER31.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 306.186 |
| Standard deviation | 164.35 |
| Minimum | 24 |
| Maximum | 710 |
| Range | 686 |
| Sum | 21433 |

| Variable: | ER35.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 265.443 |
| Standard deviation | 140.805 |
| Minimum | 44 |
| Maximum | 757 |
| Range | 713 |
| Sum | 18581 |

| Variable: | ER32.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 310.343 |
| Standard deviation | 195.157 |
| Minimum | 45 |
| Maximum | 880 |
| Range | 835 |
| Sum | 21724 |

| Variable: | ER36.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 330.443 |
| Standard deviation | 175.357 |
| Minimum | 65 |
| Maximum | 693 |
| Range | 628 |
| Sum | 23131 |

| Variable: | ER33.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 266.357 |
| Standard deviation | 166.114 |
| Minimum | 34 |
| Maximum | 728 |
| Range | 694 |
| Sum | 18645 |

| Variable: | ER37.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 270.6 |
| Standard deviation | 175.344 |
| Minimum | 18 |
| Maximum | 746 |
| Range | 728 |
| Sum | 18942 |

| Variable: | ER34.SAMPLES |
|--------------------|--------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 257.243 |
| Standard deviation | 135.619 |
| Minimum | 54 |
| Maximum | 706 |
| Range | 652 |
| Sum | 18007 |

Pengolahan Data Waktu Perbaikan

| Variable: | MTTR11.SAMPLES | Variable: | MTTR15.SAMPLES |
|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
| Sample size | 70 | Sample size | 70 |
| Average | 10.9143 | Average | 11.8143 |
| Standard deviation | 1.52032 | Standard deviation | 0.87299 |
| Minimum | 7 | Minimum | 9 |
| Maximum | 14 | Maximum | 14 |
| Range | 7 | Range | 5 |
| Sum | 764 | Sum | 827 |

| Variable: | MTTR12.SAMPLES | Variable: | MTTR16.SAMPLES |
|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
| Sample size | 70 | Sample size | 70 |
| Average | 12.7714 | Average | 11.5 |
| Standard deviation | 0.965663 | Standard deviation | 1.2938 |
| Minimum | 11 | Minimum | 8 |
| Maximum | 15 | Maximum | 15 |
| Range | 4 | Range | 7 |
| Sum | 894 | Sum | 805 |

| Variable: | MTTR13.SAMPLES | Variable: | MTTR17.SAMPLES |
|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
| Sample size | 70 | Sample size | 70 |
| Average | 14.2429 | Average | 12.8857 |
| Standard deviation | 2.9164 | Standard deviation | 2.42895 |
| Minimum | 8 | Minimum | 7 |
| Maximum | 22 | Maximum | 18 |
| Range | 14 | Range | 11 |
| Sum | 997 | Sum | 902 |

| Variable: | MTTR14.SAMPLES |
|--------------------|----------------|
| Sample size | 70 |
| Average | 11.4429 |
| Standard deviation | 1.09856 |
| Minimum | 9 |
| Maximum | 15 |
| Range | 6 |
| Sum | 801 |

Variable: MTTR21.SAMPLES

| | |
|--------------------|----------|
| Sample size | 70 |
| Average | 12.7429 |
| Standard deviation | 0.973351 |
| Minimum | 11 |
| Maximum | 15 |
| Range | 4 |
| Sum | 892 |

Variable: MTTR25.SAMPLES

| | |
|--------------------|---------|
| Sample size | 70 |
| Average | 11.9714 |
| Standard deviation | 0.99231 |
| Minimum | 10 |
| Maximum | 14 |
| Range | 4 |
| Sum | 838 |

Variable: MTTR22.SAMPLES

| | |
|--------------------|---------|
| Sample size | 70 |
| Average | 13.2571 |
| Standard deviation | 2.03367 |
| Minimum | 7 |
| Maximum | 17 |
| Range | 10 |
| Sum | 928 |

Variable: MTTR26.SAMPLES

| | |
|--------------------|---------|
| Sample size | 70 |
| Average | 14.0714 |
| Standard deviation | 1.94356 |
| Minimum | 10 |
| Maximum | 18 |
| Range | 8 |
| Sum | 985 |

Variable: MTTR23.SAMPLES

| | |
|--------------------|----------|
| Sample size | 70 |
| Average | 11.0571 |
| Standard deviation | 0.976324 |
| Minimum | 9 |
| Maximum | 13 |
| Range | 4 |
| Sum | 774 |

Variable: MTTR27.SAMPLES

| | |
|--------------------|----------|
| Sample size | 70 |
| Average | 12.1286 |
| Standard deviation | 0.961904 |
| Minimum | 10 |
| Maximum | 14 |
| Range | 4 |
| Sum | 849 |

Variable: MTTR24.SAMPLES

| | |
|--------------------|----------|
| Sample size | 70 |
| Average | 11.3286 |
| Standard deviation | 0.863452 |
| Minimum | 10 |
| Maximum | 13 |
| Range | 3 |
| Sum | 793 |

Variable: MTTR31.SAMPLES

| | |
|--------------------|---------|
| Sample size | 70 |
| Average | 12.3143 |
| Standard deviation | 1.14895 |
| Minimum | 10 |
| Maximum | 15 |
| Range | 5 |
| Sum | 862 |

Variable: MTTR35.SAMPLES

| | |
|--------------------|----------|
| Sample size | 70 |
| Average | 12.0143 |
| Standard deviation | 0.985296 |
| Minimum | 9 |
| Maximum | 14 |
| Range | 5 |
| Sum | 841 |

Variable: MTTR32.SAMPLES

| | |
|--------------------|---------|
| Sample size | 70 |
| Average | 13.1571 |
| Standard deviation | 2.10338 |
| Minimum | 8 |
| Maximum | 19 |
| Range | 11 |
| Sum | 921 |

Variable: MTTR36.SAMPLES

| | |
|--------------------|---------|
| Sample size | 70 |
| Average | 11.6286 |
| Standard deviation | 1.1056 |
| Minimum | 9 |
| Maximum | 14 |
| Range | 5 |
| Sum | 814 |

Variable: MTTR33.SAMPLES

| | |
|--------------------|----------|
| Sample size | 70 |
| Average | 11.0571 |
| Standard deviation | 0.976324 |
| Minimum | 8 |
| Maximum | 13 |
| Range | 5 |
| Sum | 774 |

Variable: MTTR37.SAMPLES

| | |
|--------------------|---------|
| Sample size | 70 |
| Average | 13.2571 |
| Standard deviation | 1.93882 |
| Minimum | 9 |
| Maximum | 17 |
| Range | 8 |
| Sum | 928 |

Variable: MTTR34.SAMPLES

| | |
|--------------------|---------|
| Sample size | 70 |
| Average | 13.8857 |
| Standard deviation | 2.05393 |
| Minimum | 8 |
| Maximum | 19 |
| Range | 11 |
| Sum | 972 |

Lampiran C

Pengujian Significance Level dan Kolmogorof Smirnof

Ekspensial

Waktu Antar Kerusakan

- ER11 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.101836
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.201141
Estimated overall statistic DN = 0.201141
Approximate significance level = 6.93664E-3
- ER12 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0571479
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.185181
Estimated overall statistic DN = 0.185181
Approximate significance level = 0.0164451
- ER13 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.105099
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.177857
Estimated overall statistic DN = 0.177857
Approximate significance level = 0.0238616
- ER14 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0617683
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.180771
Estimated overall statistic DN = 0.180771
Approximate significance level = 0.0206134
- ER15 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.138637
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.274035
Estimated overall statistic DN = 0.274035
Approximate significance level = 5.43425E-5
- ER16 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0938671
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.198609
Estimated overall statistic DN = 0.198609
Approximate significance level = 7.99261E-3
- ER17 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0653675
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.200056
Estimated overall statistic DN = 0.200056
Approximate significance level = 7.37247E-3

Waktu Antar Kerusakan

Ekspensial

- ER21 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0869502
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.188894
Estimated overall statistic DN = 0.188894
Approximate significance level = 0.0135388
- ER22 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0644141
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.129378
Estimated overall statistic DN = 0.129378
Approximate significance level = 0.191831
- ER23 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.109857
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.232164
Estimated overall statistic DN = 0.232164
Approximate significance level = 1.05642E-3
- ER24 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0884287
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.207398
Estimated overall statistic DN = 0.207398
Approximate significance level = 4.85E-3
- ER25 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.135403
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.269783
Estimated overall statistic DN = 0.269783
Approximate significance level = 7.5116E-5
- ER26 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0777778
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.184431
Estimated overall statistic DN = 0.184431
Approximate significance level = 0.0170956
- ER27 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0634383
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.14246
Estimated overall statistic DN = 0.14246
Approximate significance level = 0.11668

Eksponensial

Waktu Antar Kerusakan

- ER31 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.11059
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.224113
 Estimated overall statistic DN = 0.224113
 Approximate significance level = 1.76676E-3
- ER32 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0742355
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.182712
 Estimated overall statistic DN = 0.182712
 Approximate significance level = 0.018675
- ER33 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0774799
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.222118
 Estimated overall statistic DN = 0.222118
 Approximate significance level = 2.00129E-3
- ER34 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.104928
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.239004
 Estimated overall statistic DN = 0.239004
 Approximate significance level = 6.72815E-4
- ER35 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.103126
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.261292
 Estimated overall statistic DN = 0.261292
 Approximate significance level = 1.41231E-4
- ER36 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.122802
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.211011
 Estimated overall statistic DN = 0.211011
 Approximate significance level = 3.92485E-3
- ER37 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0903074
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.154149
 Estimated overall statistic DN = 0.154149
 Approximate significance level = 0.0718222

Waktu Antar Kerusakan

Normal

- ER11 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.117941
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0538256
Estimated overall statistic DN = 0.117941
Approximate significance level = 0.284458
- ER12 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.165437
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0910496
Estimated overall statistic DN = 0.165437
Approximate significance level = 0.0433435
- ER13 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.072471
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0513106
Estimated overall statistic DN = 0.072471
Approximate significance level = 0.855784
- ER14 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.145022
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.112808
Estimated overall statistic DN = 0.145022
Approximate significance level = 0.105252
- ER15 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0658427
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0508439
Estimated overall statistic DN = 0.0658427
Approximate significance level = 0.92193
- ER16 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.108483
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0654011
Estimated overall statistic DN = 0.108483
Approximate significance level = 0.382281
- ER17 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.161378
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0843067
Estimated overall statistic DN = 0.161378
Approximate significance level = 0.0521899

Waktu Antar Kerusakan

Normal

- ER21 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.113895
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0846905
Estimated overall statistic DN = 0.113895
Approximate significance level = 0.323924
- ER22 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.11069
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0926091
Estimated overall statistic DN = 0.11069
Approximate significance level = 0.357721
- ER23 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0693047
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0444184
Estimated overall statistic DN = 0.0693047
Approximate significance level = 0.889792
- ER24 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.101871
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0740778
Estimated overall statistic DN = 0.101871
Approximate significance level = 0.461811
- ER25 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.072575
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0387901
Estimated overall statistic DN = 0.072575
Approximate significance level = 0.8546
- ER26 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.110081
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0755503
Estimated overall statistic DN = 0.110081
Approximate significance level = 0.364393
- ER27 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.133427
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.10834
Estimated overall statistic DN = 0.133427
Approximate significance level = 0.165331

Waktu Antar Kerusakan

Normal

- ER31 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0856822
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.075488
Estimated overall statistic DN = 0.0856822
Approximate significance level = 0.683001
- ER32 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0976278
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0869719
Estimated overall statistic DN = 0.0976278
Approximate significance level = 0.517047
- ER33. Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0986596
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0810691
Estimated overall statistic DN = 0.0986596
Approximate significance level = 0.503351
- ER34 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0730729
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0669843
Estimated overall statistic DN = 0.0730729
Approximate significance level = 0.848876
- ER35 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0844613
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0578948
Estimated overall statistic DN = 0.0844613
Approximate significance level = 0.700131
- ER36 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0886927
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0650471
Estimated overall statistic DN = 0.0886927
Approximate significance level = 0.640551
- ER37 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0831657
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0748491
Estimated overall statistic DN = 0.0831657
Approximate significance level = 0.718192

Waktu Antar Kerusakan

Weibull

| | |
|------|--|
| ER11 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0563729 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0537929 Estimated overall statistic DN = 0.0563729 Approximate significance level = 0.979254 |
| ER12 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0841487 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0610533 Estimated overall statistic DN = 0.0841487 Approximate significance level = 0.704502 |
| ER13 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0557036 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0674622 Estimated overall statistic DN = 0.0674622 Approximate significance level = 0.907599 |
| ER14 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0797052 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0566388 Estimated overall statistic DN = 0.0797052 Approximate significance level = 0.765451 |
| ER15 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0522414 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0537409 Estimated overall statistic DN = 0.0537409 Approximate significance level = 0.987526 |
| ER16 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0474266 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0478698 Estimated overall statistic DN = 0.0478698 Approximate significance level = 0.997141 |
| ER17 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0902146 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0572175 Estimated overall statistic DN = 0.0902146 Approximate significance level = 0.61911 |

Waktu Antar Kerusakan

Weibull

ER21 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0598593
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0465715
Estimated overall statistic DN = 0.0598593
Approximate significance level = 0.963419

ER22 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0531415
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0791133
Estimated overall statistic DN = 0.0791133
Approximate significance level = 0.773341

ER23 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0345643
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0580741
Estimated overall statistic DN = 0.0580741
Approximate significance level = 0.972263

ER24 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0600774
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0496015
Estimated overall statistic DN = 0.0600774
Approximate significance level = 0.962229

ER25 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0446525
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0556149
Estimated overall statistic DN = 0.0556149
Approximate significance level = 0.981941

ER26 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0620131
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0589503
Estimated overall statistic DN = 0.0620131
Approximate significance level = 0.950602

ER27 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0913347
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0552253
Estimated overall statistic DN = 0.0913347
Approximate significance level = 0.603388

Waktu Antar Kerusakan

Weibull

| | |
|------|--|
| ER31 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0610495 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0716324 Estimated overall statistic DN = 0.0716324 Approximate significance level = 0.865182 |
| ER32 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0645803 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0542378 Estimated overall statistic DN = 0.0645803 Approximate significance level = 0.932207 |
| ER33 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0602508 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0536688 Estimated overall statistic DN = 0.0602508 Approximate significance level = 0.961266 |
| ER34 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0582866 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0372088 Estimated overall statistic DN = 0.0582866 Approximate significance level = 0.971293 |
| ER35 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0489322 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0443283 Estimated overall statistic DN = 0.0489322 Approximate significance level = 0.996108 |
| ER36 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0627511 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0559932 Estimated overall statistic DN = 0.0627511 Approximate significance level = 0.945661 |
| ER37 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0594299 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0565607 Estimated overall statistic DN = 0.0594299 Approximate significance level = 0.965692 |

Waktu Perbaikan

Ekspensial

| | |
|------|--|
| ER11 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.277282 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.505241 Estimated overall statistic DN = 0.505241 Approximate significance level = 0 |
| ER12 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.308974 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.577387 Estimated overall statistic DN = 0.577387 Approximate significance level = 0 |
| ER13 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.234851 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.439844 Estimated overall statistic DN = 0.439844 Approximate significance level = 0 |
| ER14 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.292505 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.55411 Estimated overall statistic DN = 0.55411 Approximate significance level = 0 |
| ER15 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.305745 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.563013 Estimated overall statistic DN = 0.563013 Approximate significance level = 0 |
| ER16 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.281716 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.538009 Estimated overall statistic DN = 0.538009 Approximate significance level = 0 |
| ER17 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.247363 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.468353 Estimated overall statistic DN = 0.468353 Approximate significance level = 0 |

Waktu Perbaikan

Eksponensial

| | |
|------|--|
| ER21 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.308163 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.578201 Estimated overall statistic DN = 0.578201 Approximate significance level = 0 |
| ER22 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.27739 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.506696 Estimated overall statistic DN = 0.506696 Approximate significance level = 0 |
| ER23 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.308598 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.556899 Estimated overall statistic DN = 0.556899 Approximate significance level = 0 |
| ER24 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.317417 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.586344 Estimated overall statistic DN = 0.586344 Approximate significance level = 0 |
| ER25 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.310536 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.566266 Estimated overall statistic DN = 0.566266 Approximate significance level = 0 |
| ER26 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.278262 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.508681 Estimated overall statistic DN = 0.508681 Approximate significance level = 0 |
| ER27 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.315279 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.561545 Estimated overall statistic DN = 0.561545 Approximate significance level = 0 |

Waktu Perbaikan

Eksponensial

| | |
|------|--|
| ER31 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.30653 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.556059 Estimated overall statistic DN = 0.556059 Approximate significance level = 0 |
| ER32 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.240309 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.503784 Estimated overall statistic DN = 0.503784 Approximate significance level = 0 |
| ER33 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.308598 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.542613 Estimated overall statistic DN = 0.542613 Approximate significance level = 0 |
| ER34 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.254536 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.504287 Estimated overall statistic DN = 0.504287 Approximate significance level = 0 |
| ER35 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.311836 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.556857 Estimated overall statistic DN = 0.556857 Approximate significance level = 0 |
| ER36 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.300013 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.562531 Estimated overall statistic DN = 0.562531 Approximate significance level = 0 |
| ER37 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.27739 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.515381 Estimated overall statistic DN = 0.515381 Approximate significance level = 0 |

Waktu Perbaikan

Normal

| | |
|------|---|
| ER11 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.148949 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.165336 Estimated overall statistic DN = 0.165336 Approximate significance level = 0.0435469 |
| ER12 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.192146 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.22214 Estimated overall statistic DN = 0.22214 Approximate significance level = 1.99859E-3 |
| ER13 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.147477 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.106417 Estimated overall statistic DN = 0.147477 Approximate significance level = 0.0951895 |
| ER14 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.191749 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.208251 Estimated overall statistic DN = 0.208251 Approximate significance level = 4.61491E-3 |
| ER15 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.244343 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.255657 Estimated overall statistic DN = 0.255657 Approximate significance level = 2.12339E-4 |
| ER16 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.178995 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.149577 Estimated overall statistic DN = 0.178995 Approximate significance level = 0.0225431 |
| ER17 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.0994558 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.105369 Estimated overall statistic DN = 0.105369 Approximate significance level = 0.418659 |

Waktu Perbaikan

Normal

| | |
|------|---|
| ER21 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.205912 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.175594 Estimated overall statistic DN = 0.205912 Approximate significance level = 5.28526E-3 |
| ER22 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.117475 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0968104 Estimated overall statistic DN = 0.117475 Approximate significance level = 0.288818 |
| ER23 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.180464 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.176678 Estimated overall statistic DN = 0.180464 Approximate significance level = 0.0209359 |
| ER24 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.262525 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.194618 Estimated overall statistic DN = 0.262525 Approximate significance level = 1.29021E-4 |
| ER25 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.193336 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.164318 Estimated overall statistic DN = 0.193336 Approximate significance level = 0.0106747 |
| ER26 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.116401 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.140742 Estimated overall statistic DN = 0.140742 Approximate significance level = 0.124897 |
| ER27 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.210323 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.203963 Estimated overall statistic DN = 0.210323 Approximate significance level = 4.08739E-3 |

Waktu Perbaikan

Normal

| | |
|------|---|
| ER31 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.164931 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.192212 Estimated overall statistic DN = 0.192212 Approximate significance level = 0.0113425 |
| ER32 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.144058 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.155942 Estimated overall statistic DN = 0.155942 Approximate significance level = 0.0664425 |
| ER33 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.251893 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.262393 Estimated overall statistic DN = 0.262393 Approximate significance level = 1.30277E-4 |
| ER34 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.108014 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.133152 Estimated overall statistic DN = 0.133152 Approximate significance level = 0.167035 |
| ER35 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.205793 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.208493 Estimated overall statistic DN = 0.208493 Approximate significance level = 4.55031E-3 |
| ER36 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.200888 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.145824 Estimated overall statistic DN = 0.200888 Approximate significance level = 7.03603E-3 |
| ER37 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.141633 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.106348 Estimated overall statistic DN = 0.141633 Approximate significance level = 0.120578 |

Waktu Perbaikan

Weibull

| | |
|------|---|
| ER11 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.184875 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.12941 Estimated overall statistic DN = 0.184875 Approximate significance level = 0.0167075 |
| ER12 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.239253 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.175032 Estimated overall statistic DN = 0.239253 Approximate significance level = 6.61659E-4 |
| ER13 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.163562 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.104149 Estimated overall statistic DN = 0.163562 Approximate significance level = 0.0472539 |
| ER14 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.235494 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.164506 Estimated overall statistic DN = 0.235494 Approximate significance level = 8.49475E-4 |
| ER15 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.287527 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.212473 Estimated overall statistic DN = 0.287527 Approximate significance level = 1.88149E-5 |
| ER16 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.187424 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.141148 Estimated overall statistic DN = 0.187424 Approximate significance level = 0.0146293 |
| ER17 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.116621 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0798697 Estimated overall statistic DN = 0.116621 Approximate significance level = 0.296935 |

Waktu Perbaikan

Weibull

| | |
|------|---|
| ER21 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.215177 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.149294 Estimated overall statistic DN = 0.215177 Approximate significance level = 3.06093E-3 |
| ER22 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.136222 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0910846 Estimated overall statistic DN = 0.136222 Approximate significance level = 0.148799 |
| ER23 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.22065 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.159741 Estimated overall statistic DN = 0.22065 Approximate significance level = 2.19193E-3 |
| ER24 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.27556 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.181583 Estimated overall statistic DN = 0.27556 Approximate significance level = 4.8326E-5 |
| ER25 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.216234 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.146336 Estimated overall statistic DN = 0.216234 Approximate significance level = 2.87167E-3 |
| ER26 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.149334 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.107809 Estimated overall statistic DN = 0.149334 Approximate significance level = 0.0881237 |
| ER27 | Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.246764 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.167521 Estimated overall statistic DN = 0.246764 Approximate significance level = 3.96899E-4 |

Waktu Perbaikan

Weibull

ER31 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.196591
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.160552
Estimated overall statistic DN = 0.196591
Approximate significance level = 8.93706E-3

ER32 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.162174
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.137826
Estimated overall statistic DN = 0.162174
Approximate significance level = 0.0503422

ER33 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.288513
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.225772
Estimated overall statistic DN = 0.288513
Approximate significance level = 1.73754E-5

ER34 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.138299
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.126956
Estimated overall statistic DN = 0.138299
Approximate significance level = 0.137396

ER35 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.247
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.167286
Estimated overall statistic DN = 0.247
Approximate significance level = 3.90489E-4

ER36 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.203796
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.139061
Estimated overall statistic DN = 0.203796
Approximate significance level = 5.96729E-3

ER37 Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0.145539
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0.0845905
Estimated overall statistic DN = 0.145539
Approximate significance level = 0.103062

Lampiran D

Pendugaan Parameter Waktu Antar Kerusakan

Distribution Fitting

Data vector: ER11.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.74846

Scale (beta): 286.347

Distribution Fitting

Data vector: ER12.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.44824

Scale (beta): 324.691

Distribution Fitting

Data vector: ER13.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.81647

Scale (beta): 332.842

Distribution Fitting

Data vector: ER14.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.52009

Scale (beta): 251.382

Distribution Fitting

Data vector: ER15.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 2.45391

Scale (beta): 280.935

Distribution Fitting

Data vector: ER16.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.61776

Scale (beta): 363.438

Distribution Fitting

Data vector: ER17.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|-----------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.55558

Scale (beta): 272.594

Distribution Fitting

Data vector: ER21.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.62716

Scale (beta): 267.405

Distribution Fitting

Data vector: ER22.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.34791

Scale (beta): 357.01

Distribution Fitting

Data vector: ER23.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 2.05796

Scale (beta): 347.892

Distribution Fitting

Data vector: ER24.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.61814

Scale (beta): 254.288

Distribution Fitting

Data vector: ER25.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 2.23855

Scale (beta): 288.381

Distribution Fitting

Data vector: ER26.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.63501

Scale (beta): 340.919

Distribution Fitting

Data vector: ER27.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.49936

Scale (beta): 274.087

Distribution Fitting

Data vector: ER31.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.95553

Scale (beta): 345.303

Distribution Fitting

Data vector: ER32.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.67982

Scale (beta): 348.775

Distribution Fitting

Data vector: ER33.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.69705

Scale (beta): 299.599

Distribution Fitting

Data vector: ER34.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 2.02284

Scale (beta): 291.047

Distribution Fitting

Data vector: ER35.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 2.00834
Scale (beta): 300.256

Distribution Fitting

Data vector: ER36.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 2.00383
Scale (beta): 373.65

Distribution Fitting

Data vector: ER37.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 18

Shape (alpha): 1.54719
Scale (beta): 300.226

Pendugaan Parameter Waktu Perbaikan

Distribution Fitting

Data vector: MTTR11.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 10.9143

Standard deviation: 1.52032

Distribution Fitting

Data vector: MTTR12.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 12.7714

Standard deviation: 0.965663

Distribution Fitting

Data vector: MTTR13.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 14.2429

Standard deviation: 2.9164

Distribution Fitting

Data vector: MTTR14.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 11.4429

Standard deviation: 1.09856

Distribution Fitting

Data vector: MTTR15.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 11.8143

Standard deviation: 0.87299

Distribution Fitting

Data vector: MTTR16.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 11.5

Standard deviation: 1.2938

Distribution Fitting

Data vector: MTTR17.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 12.8857

Standard deviation: 2.42895

Distribution Fitting

Data vector: MTTR21.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 12.7429

Standard deviation: 0.973351

Distribution Fitting

Data vector: MTTR22.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Distribution Fitting

Data vector: MTTR23.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 11.0571

Standard deviation: 0.976324

Distribution Fitting

Data vector: MTTR24.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 11.3286

Standard deviation: 0.863452

Distribution Fitting

Data vector: MTTR25.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 11.9714

Standard deviation: 0.99231

Distribution Fitting

Data vector: MTTR26.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 14.0714

Standard deviation: 1.94356

Distribution Fitting

Data vector: MTTR27.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 12.1286

Standard deviation: 0.961904

Distribution Fitting

Data vector: MTTR31.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 12.3143

Standard deviation: 1.14895

Distribution Fitting

Data vector: MTTR32.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 13.1571

Standard deviation: 2.10338

Distribution Fitting

Data vector: MTTR33.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 11.0571

Standard deviation: 0.976324

Distribution Fitting

Data vector: MTTR34.SAMPLES

Distributions available:

- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 13.8857

Standard deviation: 2.05393

Distribution Fitting

Data vector: MTTR35.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 12.0143

Standard deviation: 0.985296

Distribution Fitting

Data vector: MTTR36.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 11.6286

Standard deviation: 1.1056

Distribution Fitting

Data vector: MTTR37.SAMPLES

Distributions available:

| | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| (1) Bernoulli | (7) Beta | (13) Lognormal |
| (2) Binomial | (8) Chi-square | (14) Normal |
| (3) Discrete uniform | (9) Erlang | (15) Student's t |
| (4) Geometric | (10) Exponential | (16) Triangular |
| (5) Negative binomial | (11) F | (17) Uniform |
| (6) Poisson | (12) Gamma | (18) Weibull |

Distribution number: 14

Mean: 13.2571

Standard deviation: 1.93882

Lampiran E

Hasil Perhitungan s, C(s), MTTF, R(s), dan A menggunakan Math CAD

ER11 $\alpha := 1.748$ $\beta := 286.347$ $MTTR := 10.914$

$CM := 70061.80$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad A = 0.959$$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR} \quad A = 0.983$$

$s = 103.925$

$C(s) = 1.597 \cdot 10^3$ $MTTF = 255.043$ $MTTFM = 625.505$ $R(s) = 0.844$

ER12 $\alpha := 1.448$ $\beta := 324.69$ $MTTR := 12.771$

$CM := 70061.80$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.80}{CF - 70061.8\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad A = 0.958$$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR} \quad A = 0.976$$

$s = 120.565$

$C(s) = 1.908 \cdot 10^3$ $MTTF = 294.459$ $MTTFM = 517.319$ $R(s) = 0.788$

ER13 $\alpha := 1.816$ $\beta := 332.842$ $MTTR := 14.243$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \cdot \frac{1}{\alpha} - 1\right)^\alpha$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.954$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.984$

$R(s) = 0.89$

$s = 101.64$ $C(s) = 1.549 \cdot 10^3$ $MTTF = 295.869$ $MTTFM = 891.118$

ER14 $\alpha := 1.520$ $\beta := 251.382$ $MTTR := 11.443$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \cdot \frac{1}{\alpha} - 1\right)^\alpha$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.952$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.974$

$R(s) = 0.793$

$s = 96.12$ $C(s) = 2.160 \cdot 10^3$ $MTTF = 226.579$ $MTTFM = 424.528$

ER15 $\alpha := 2.454$ $\beta := 280.935$ $MTTR := 11.814$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \cdot \frac{1}{\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.955$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.991$

$R(s) = 0.923$

$s = 100.394$ $C(s) = 1.186 \cdot 10^3$ $MTTF = 249.156$ $MTTFM = 1.276 \cdot 10^3$

ER16 $\alpha := 1.618$ $\beta := 363.438$ $MTTR := 11.500$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \cdot \frac{1}{\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.966$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.984$

$R(s) = 0.824$

$s = 131.935$ $C(s) = 1.411 \cdot 10^3$ $MTTF = 325.522$ $MTTFM = 695.65$

ER17 $\alpha := 1.556$ $\beta := 272.594$ $MTTR := 12.886$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \cdot \frac{1}{\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.95$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.975$

$R(s) = 0.827$

$s = 93.774$ $C(s) = 2.12 \cdot 10^3$ $MTTF = 245.07$ $MTTFM = 503.746$

ER21 $\alpha := 1.627$ $\beta := 267.205$ $MTTR := 12.743$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.85MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \cdot \frac{1}{\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.949$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.977$

$R(s) = 0.843$

$s = 90.126$ $C(s) = 2.043 \cdot 10^3$ $MTTF = 239.214$ $MTTFM = 539.098$

ER22 $\alpha := 1.348$ $\beta := 357.010$ $MTTR := 13.257$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \cdot \frac{1}{\alpha - 1}\right)^\alpha$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.961$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.974$

$R(s) = 0.745$

$s = 144.079$ $C(s) = 1.916 \cdot 10^3$ $MTTF = 327.461$ $MTTFM = 500.481$

ER23 $\alpha := 2.058$ $\beta := 347.892$ $MTTR := 11.057$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left[\left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8}\right) \cdot \frac{1}{\alpha - 1}\right]^\alpha$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.965$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.99$

$R(s) = 0.888$

$s = 123.399$ $C(s) = 1.116 \cdot 10^3$ $MTTF = 308.181$ $MTTFM = 1.063 \cdot 10^3$

ER24 $\alpha := 1.618$ $\beta := 254.288$ $MTTR := 11.329$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \cdot \frac{1}{\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.953$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.977$

$R(s) = 0.821$

$s = 93.275$ $C(s) = 1.996 \cdot 10^3$ $MTTF = 227.759$ $MTTFM = 483.805$

ER25 $\alpha := 2.239$ $\beta := 288.381$ $MTTR := 11.971$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \cdot \frac{1}{\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.955$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.989$

$R(s) = 0.912$

$s = 99.618$ $C(s) = 1.281 \cdot 10^3$ $MTTF = 255.419$ $MTTFM = 1.096 \cdot 10^3$

ER26 $\alpha := 1.635$ $\beta := 340.919$ $MTTR := 14.071$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.956$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.981$

$R(s) = 0.86$

$s = 107.299$ $C(s) = 1.7 \cdot 10^3$ $MTTF = 305.081$ $MTTFM = 723.421$

ER27 $\alpha := 1.499$ $\beta := 274.087$ $MTTR := 12.129$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.953$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot 70061.8 + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.974$

$R(s) = 0.797$

$s = 101.771$ $C(s) = 2.10 \cdot 10^3$ $MTTF = 247.451$ $MTTFM = 459.701$

ER31 $\alpha := 1.956$ $\beta := 345.303$ $MTTR := 12.314$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \frac{1}{\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$$A = 0.961$$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot 70061.8 + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$$A = 0.988$$

$$R(s) = 0.89$$

$s = 114.914$ $C(s) = 1.26 \cdot 10^3$ $MTTF = 306.16$ $MTTFM = 1.007 \cdot 10^3$

ER32 $\alpha := 1.680$ $\beta := 348.775$ $MTTR := 13.157$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \frac{1}{\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$$A = 0.959$$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot 70061.8 + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$$A = 0.983$$

$$R(s) = 0.859$$

$s = 113.587$ $C(s) = 1.542 \cdot 10^3$ $MTTF = 311.452$ $MTTFM = 762.518$

ER33 $\alpha := 1.697$ $\beta := 299.599$ $MTTR := 11.057$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \frac{1}{\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.96$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot 70061.8 + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.982$

$R(s) = 0.835$

$s = 109.008$ $C(s) = 1.587 \cdot 10^3$ $MTTF = 267.348$ $MTTFM = 620.462$

ER34 $\alpha := 2.023$ $\beta := 291.047$ $MTTR := 13.886$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8} \frac{1}{\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.949$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.986$

$R(s) = 0.909$

$s = 90.979$ $C(s) = 1.535 \cdot 10^3$ $MTTF = 257.884$ $MTTFM = 971.851$

ER35 $\alpha := 2.008$ $\beta := 300.256$ $MTTR := 12.014$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

$$R(t) := e^{-\left[\frac{t}{\beta}\right]^\alpha}$$

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad A = 0.95'$$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR} \quad A = 0.98'$$

$$R(s) = 0.8$$

$s = 101.512$ $C(s) = 1.388 \cdot 10^3$ $MTTF = 266.076$ $MTTFM = 913.046$

ER36 $\alpha := 2.004$ $\beta := 373.650$ $MTTR := 11.629$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

$$R(t) := e^{-\left[\frac{t}{\beta}\right]^\alpha}$$

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad A = 0.966$$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR} \quad A = 0.99$$

$$R(s) = 0.889$$

$s = 128.615$ $C(s) = 1.098 \cdot 10^3$ $MTTF = 331.127$ $MTTFM = 1.112 \cdot 10^3$

ER37 $\alpha := 1.547$ $\beta := 300.226$ $MTTR := 13.257$

$CM := 70061.8$ $CF := 56887.95MTTR$

$$MTTF := \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

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

$$s := \beta \cdot \left(\frac{70061.8}{CF - 70061.8\alpha - 1}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$MTTFM := \frac{\int_0^s R(t) dt}{1 - R(s)}$$

$$A := \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$A = 0.953$

$$C(s) := \frac{R(s) \cdot CM + (1 - R(s)) \cdot CF}{\int_0^s R(t) dt}$$

$$A := \frac{MTTFM}{MTTFM + MTTR}$$

$A = 0.977$

$R(s) = 0.829$

$s = 101.649$

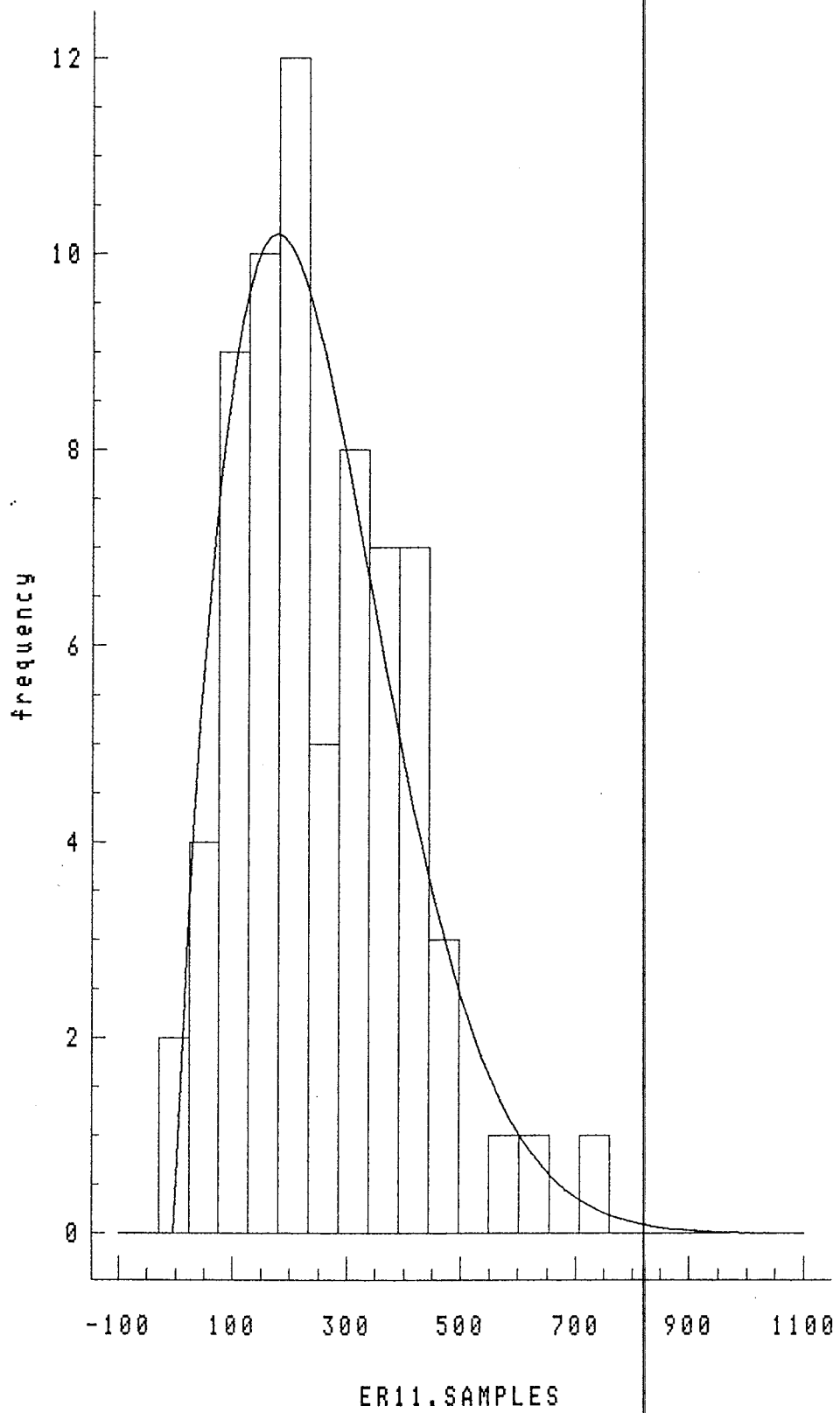
$C(s) = 1.976 \cdot 10^3$

$MTTF = 270.077$

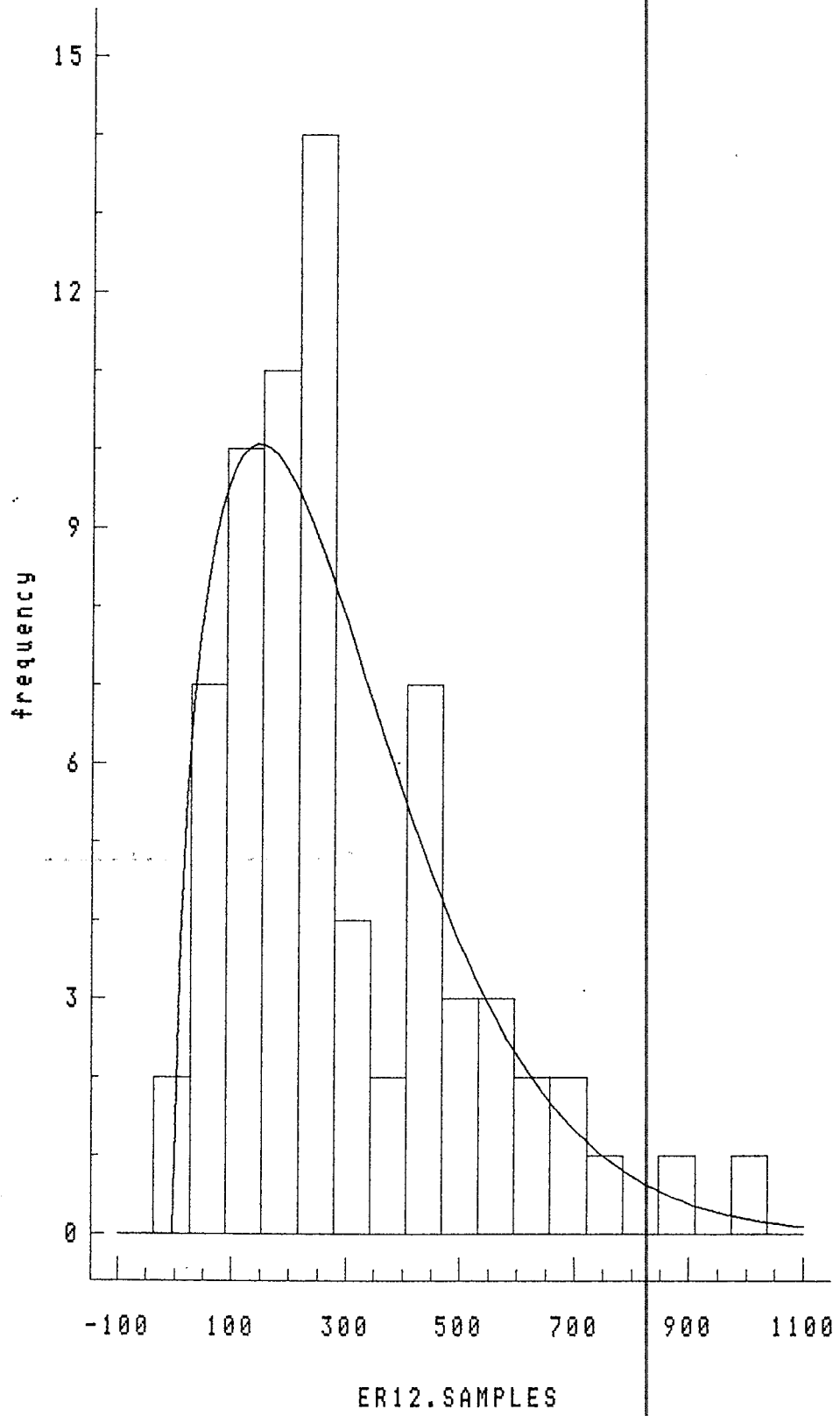
$MTTFM = 553.995$

Lampiran F

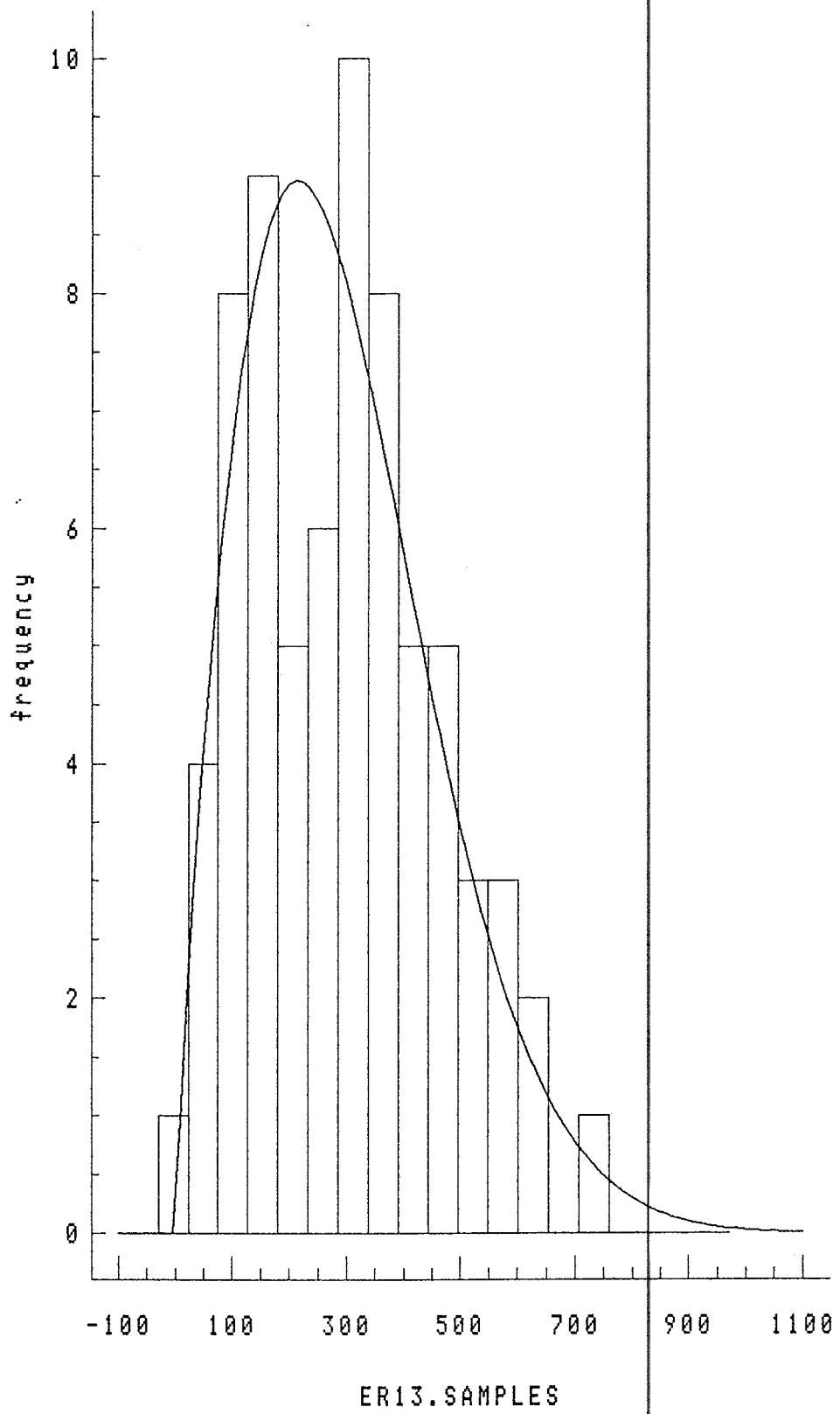
Frequency Histogram



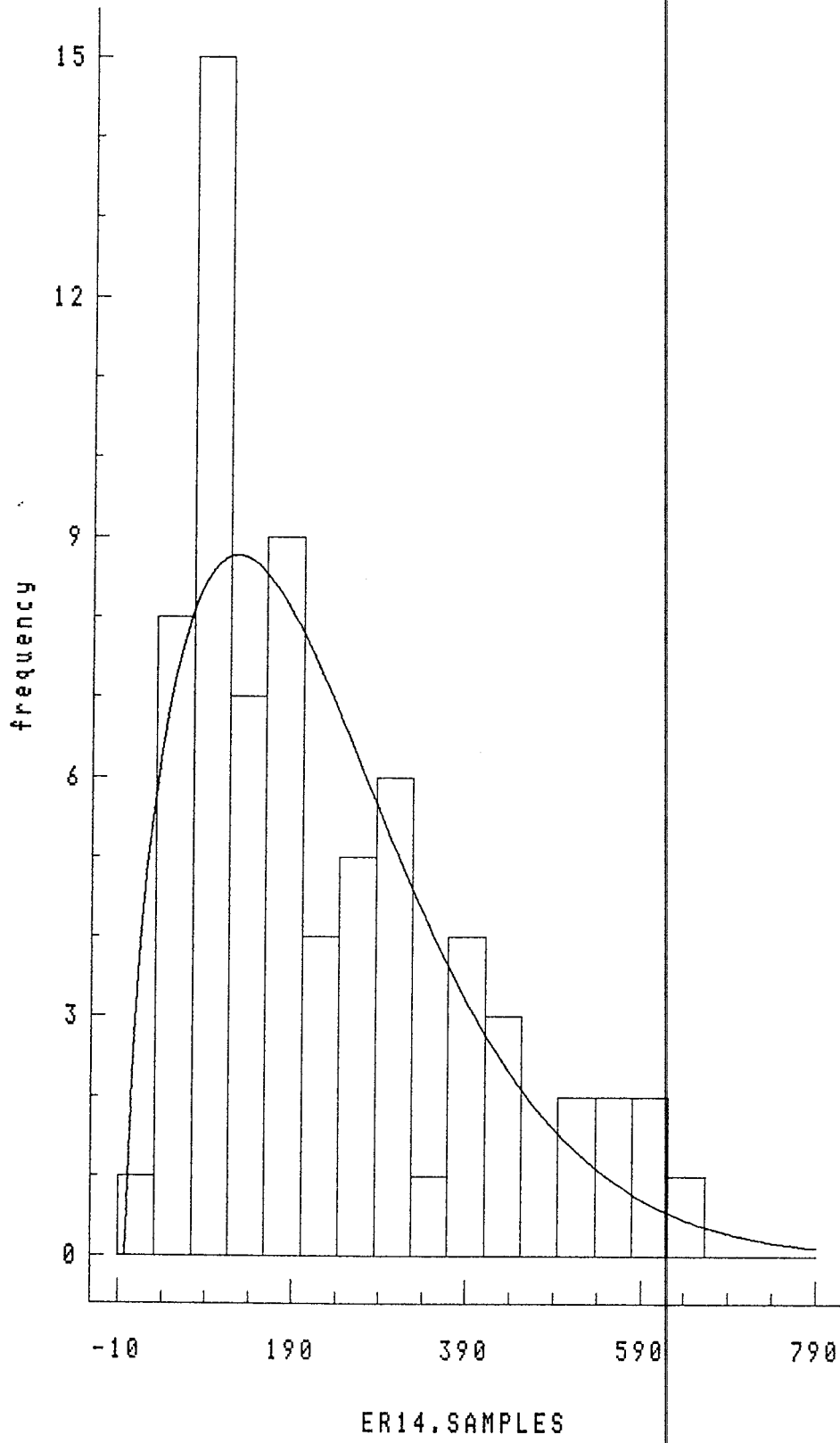
Frequency Histogram



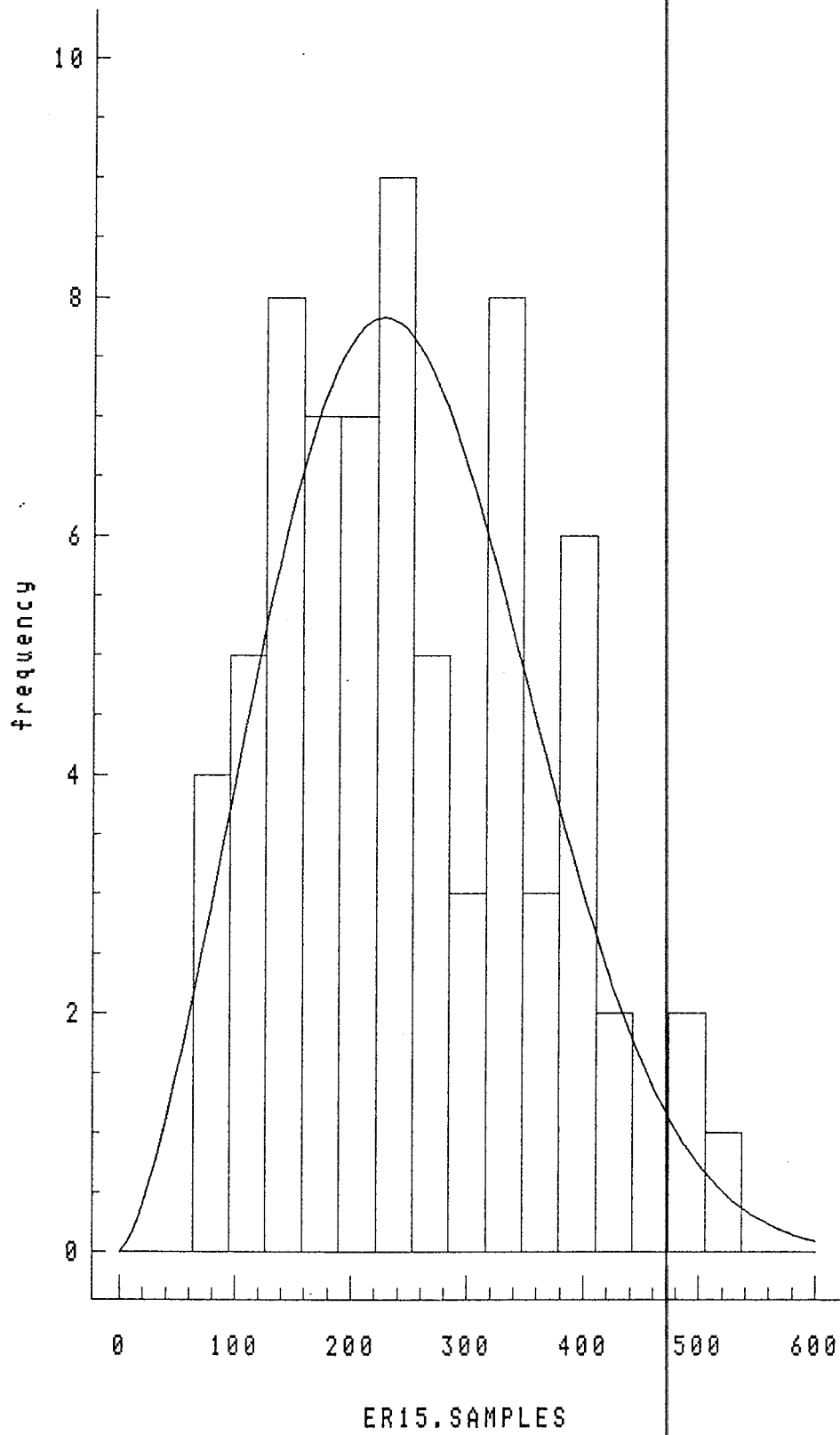
Frequency Histogram



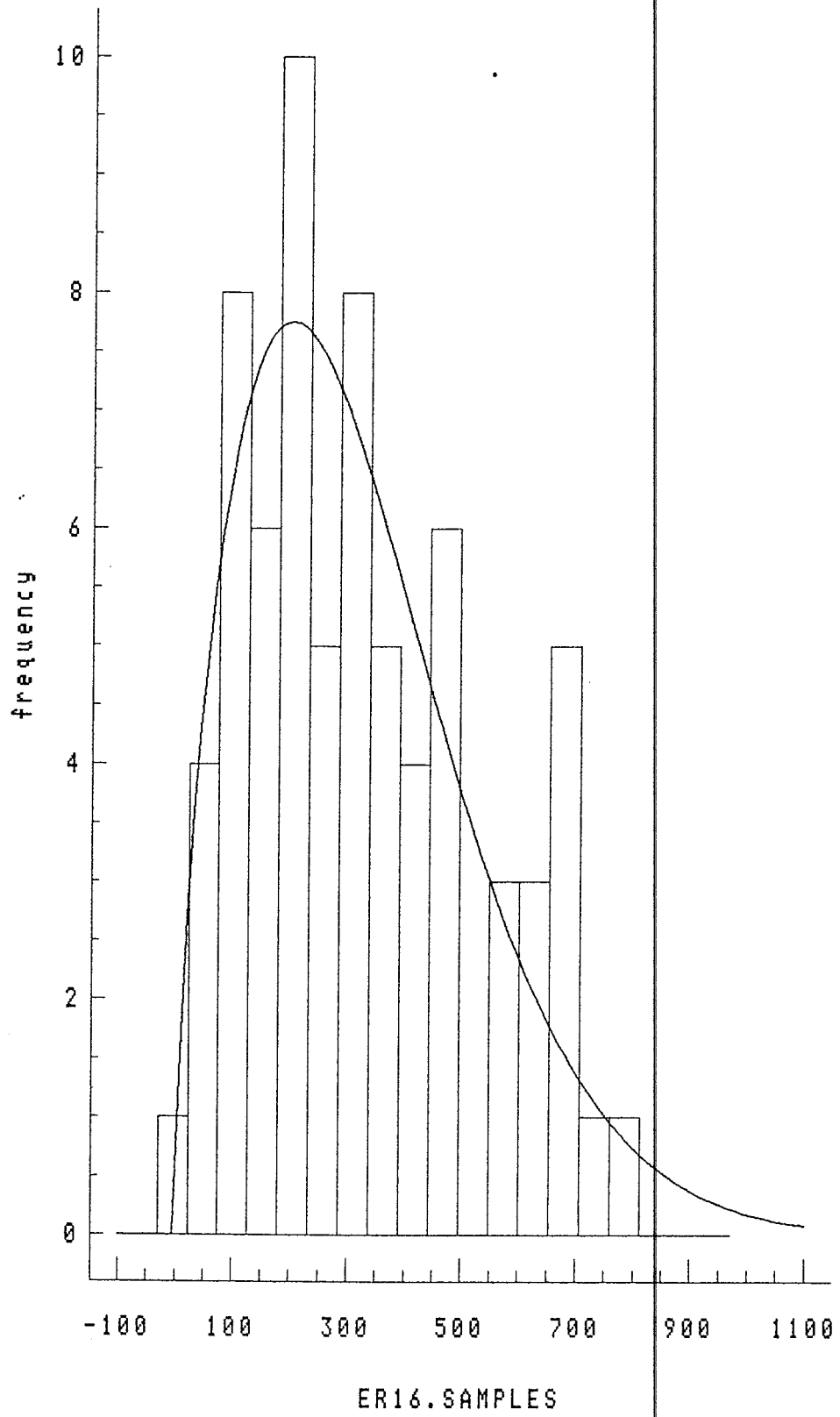
Frequency Histogram



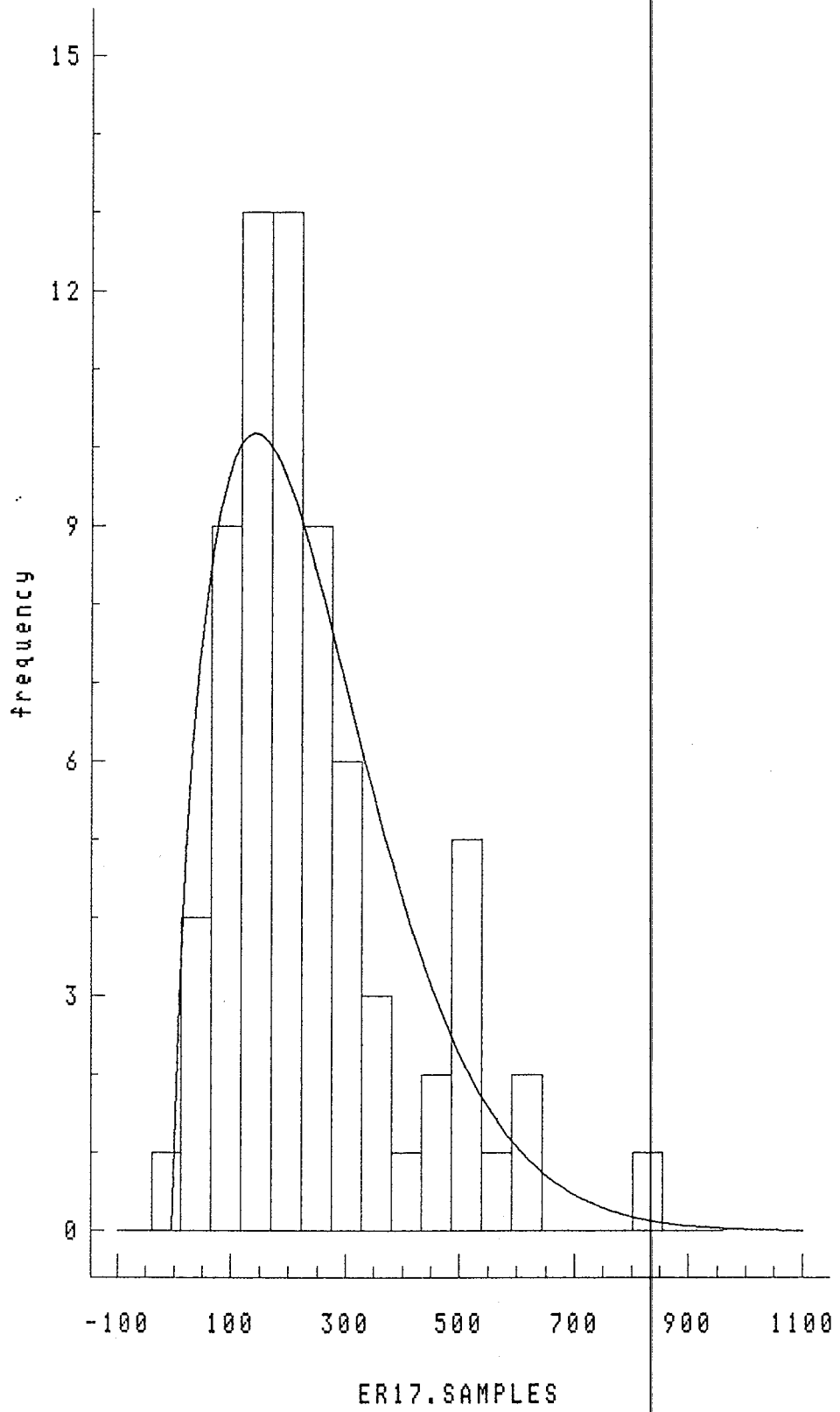
Frequency Histogram



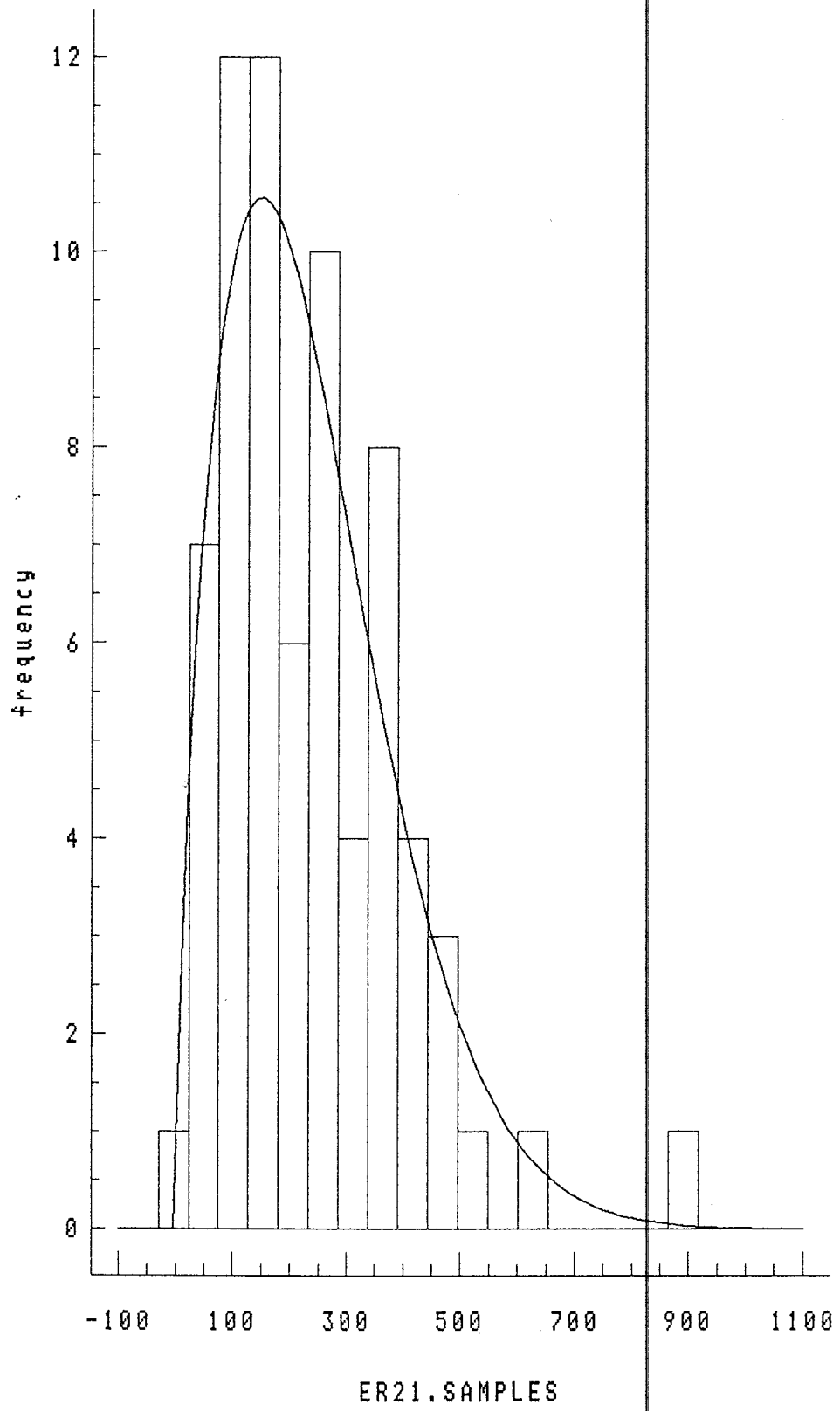
Frequency Histogram



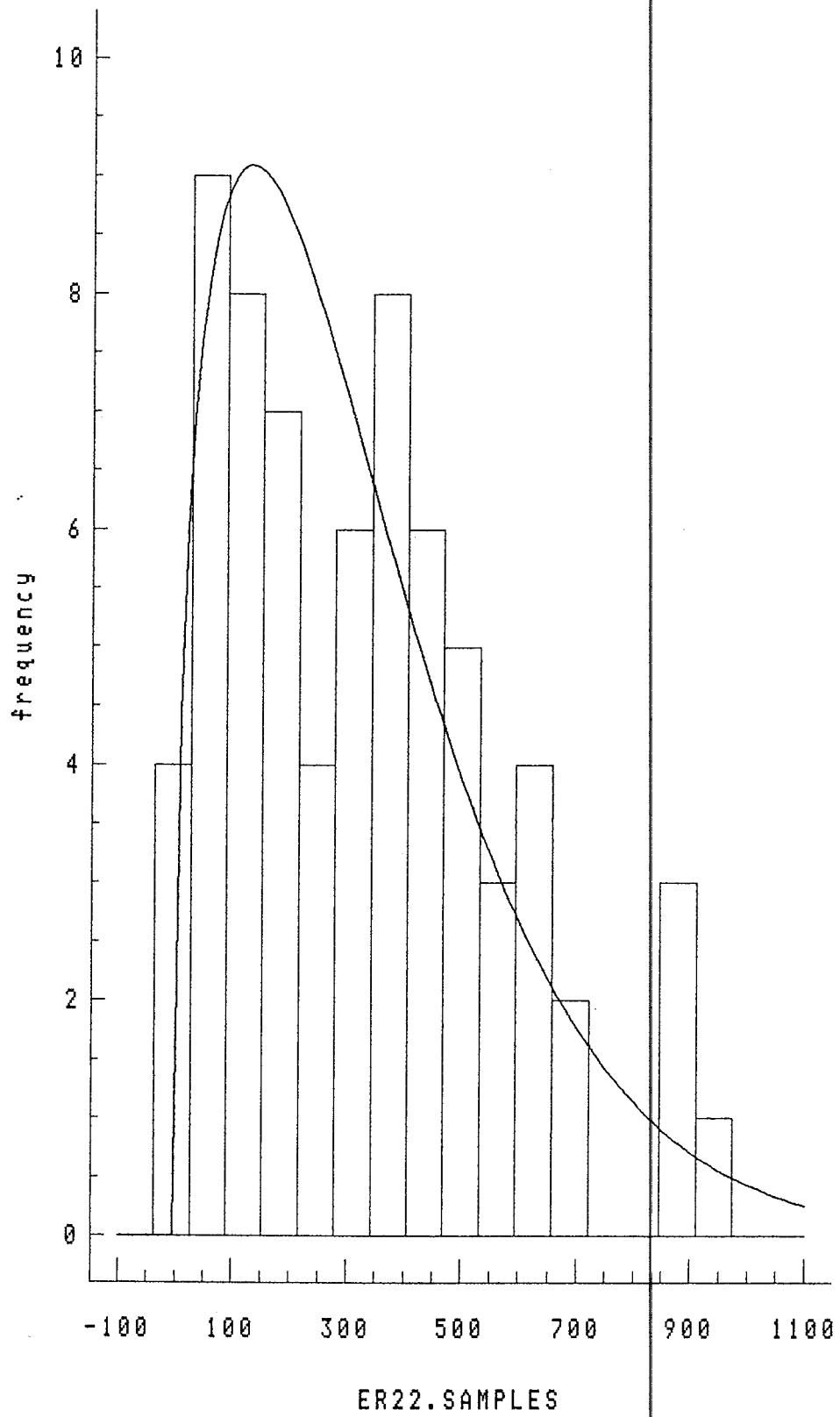
Frequency Histogram



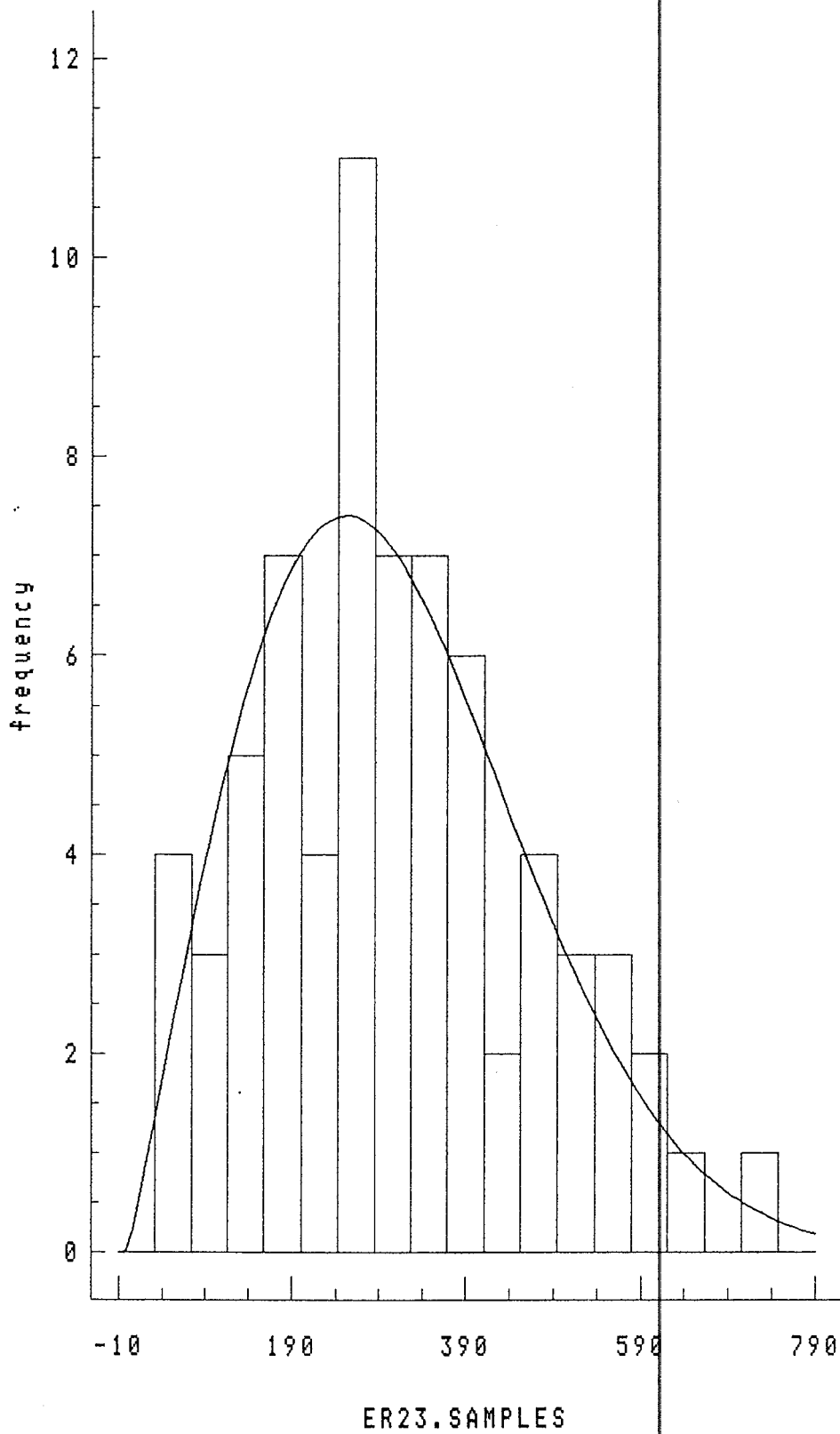
Frequency Histogram



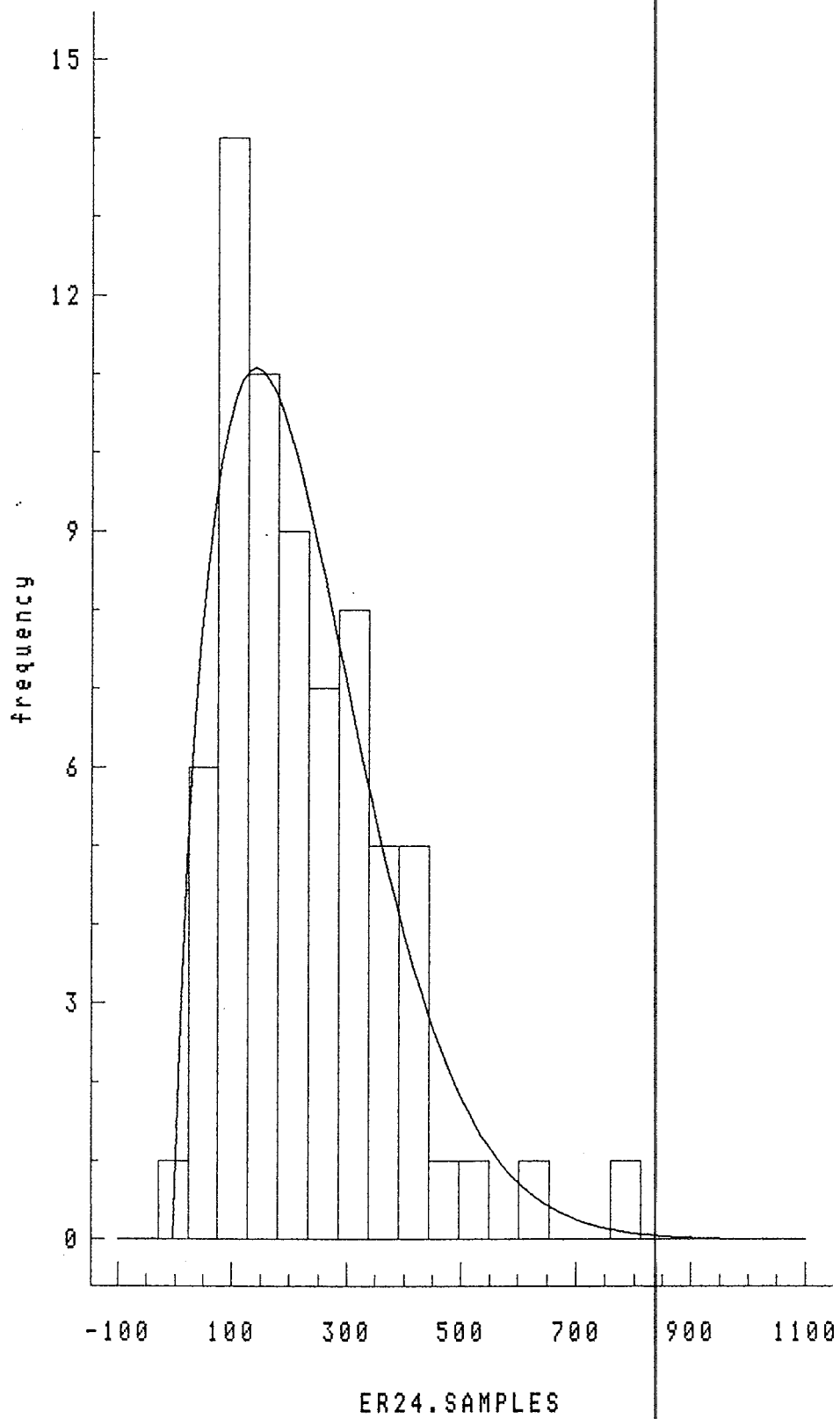
Frequency Histogram



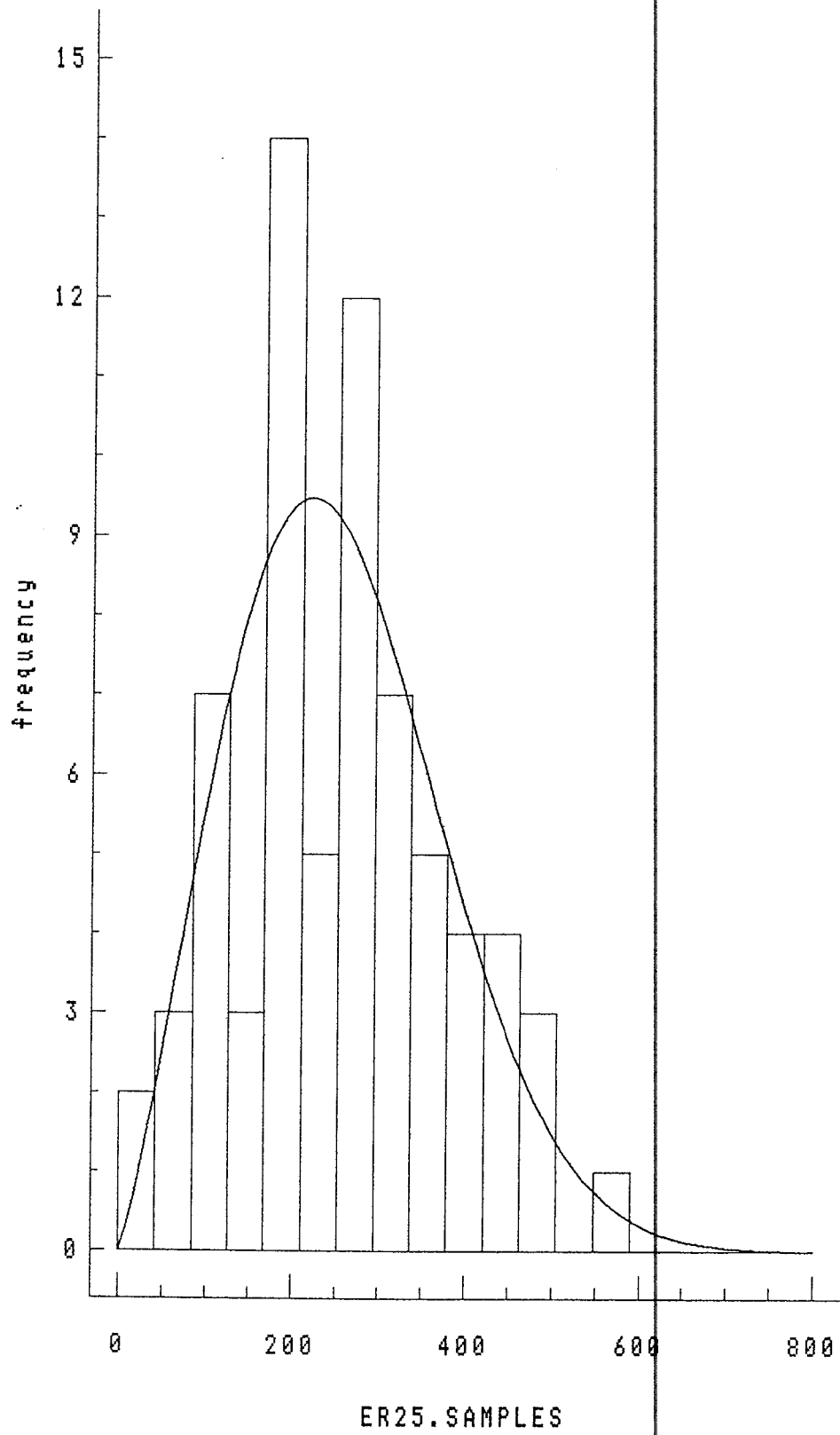
Frequency Histogram



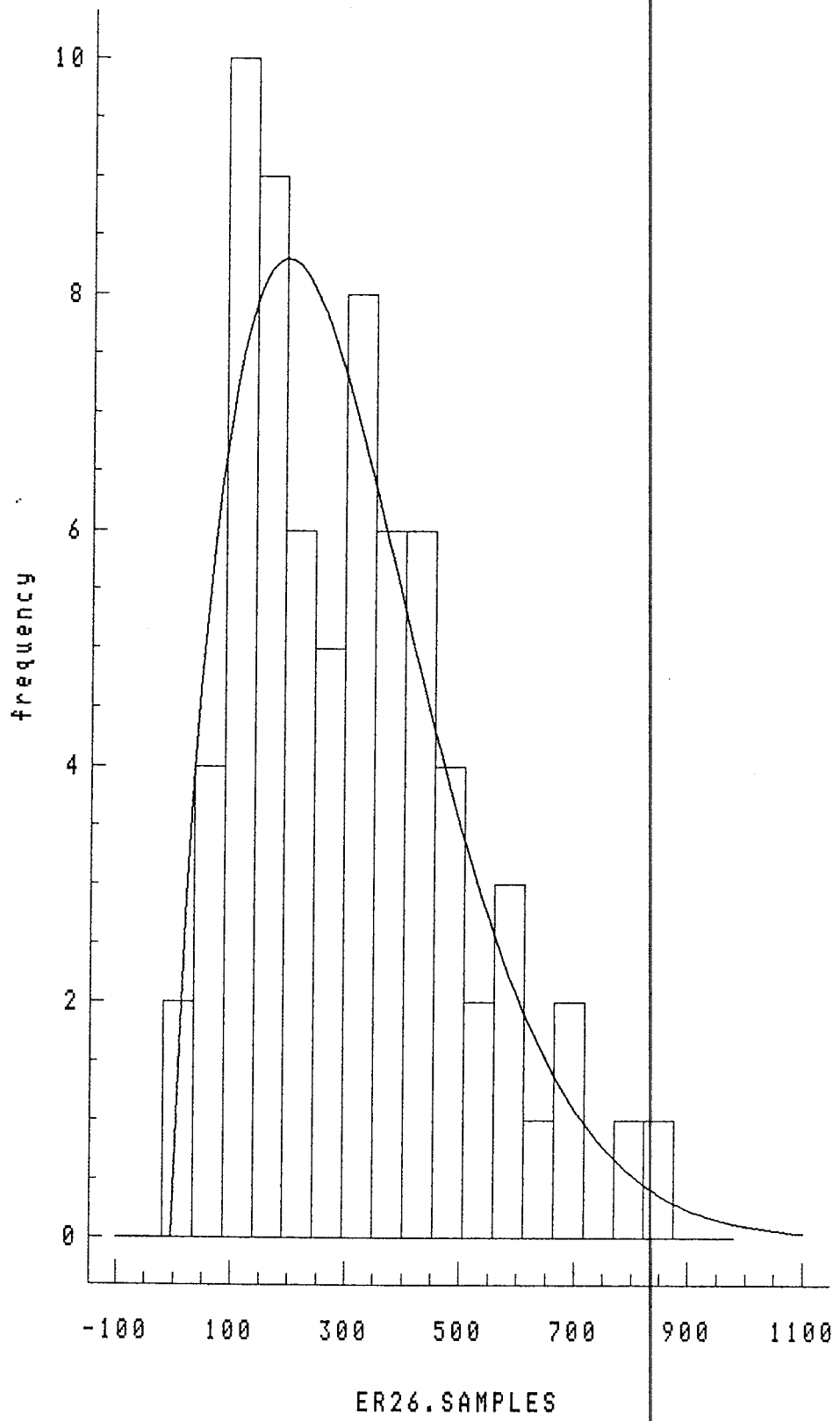
Frequency Histogram



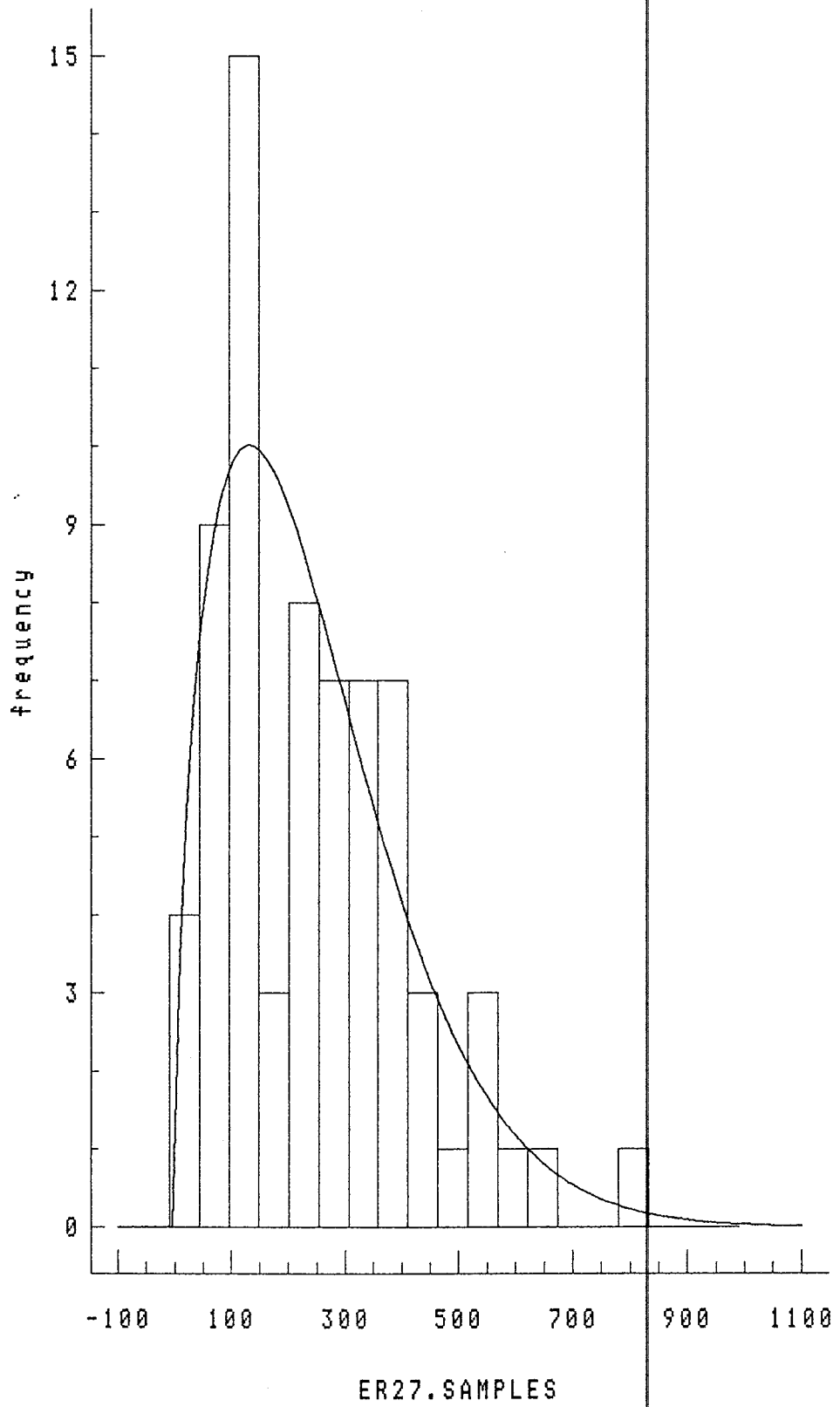
Frequency Histogram



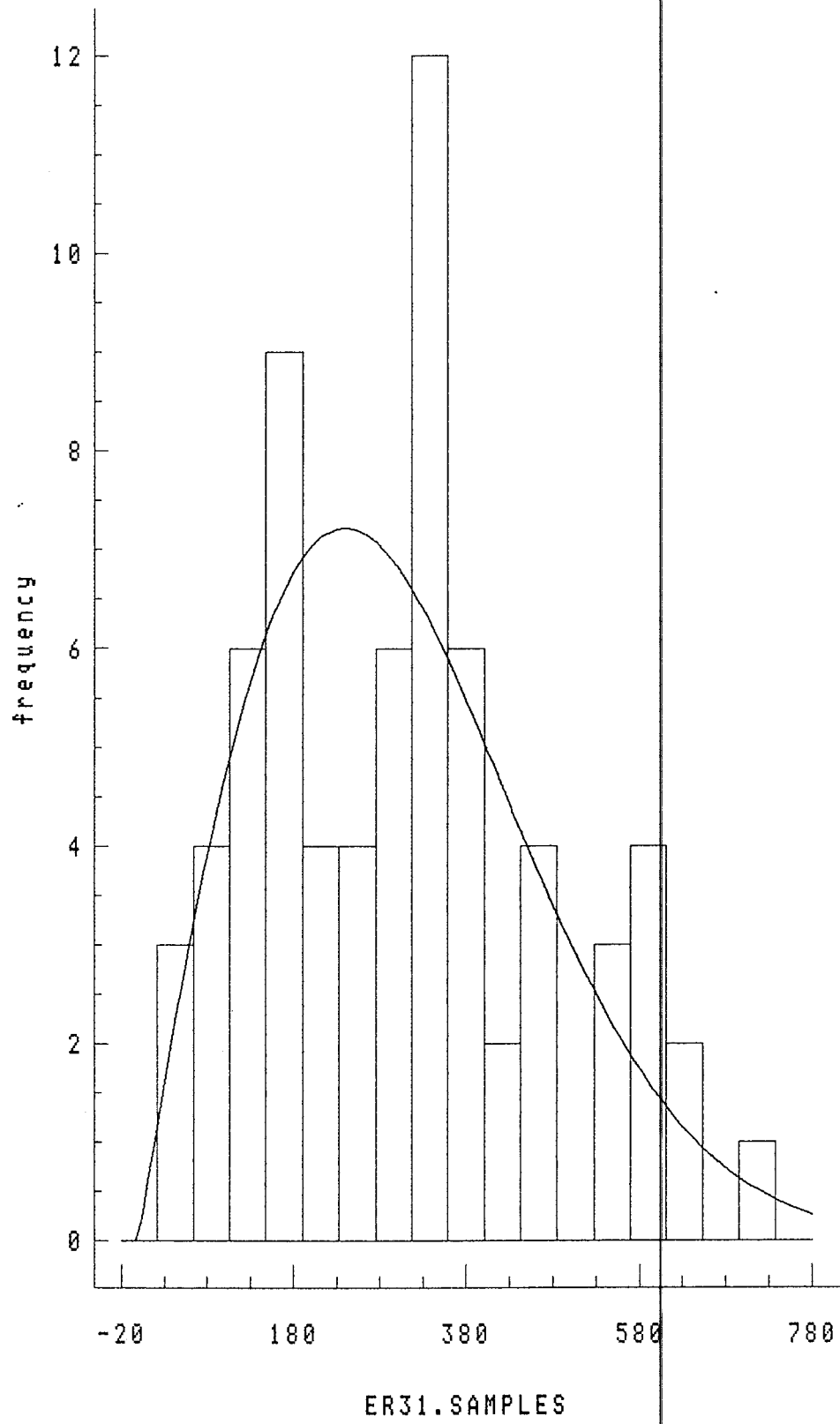
Frequency Histogram



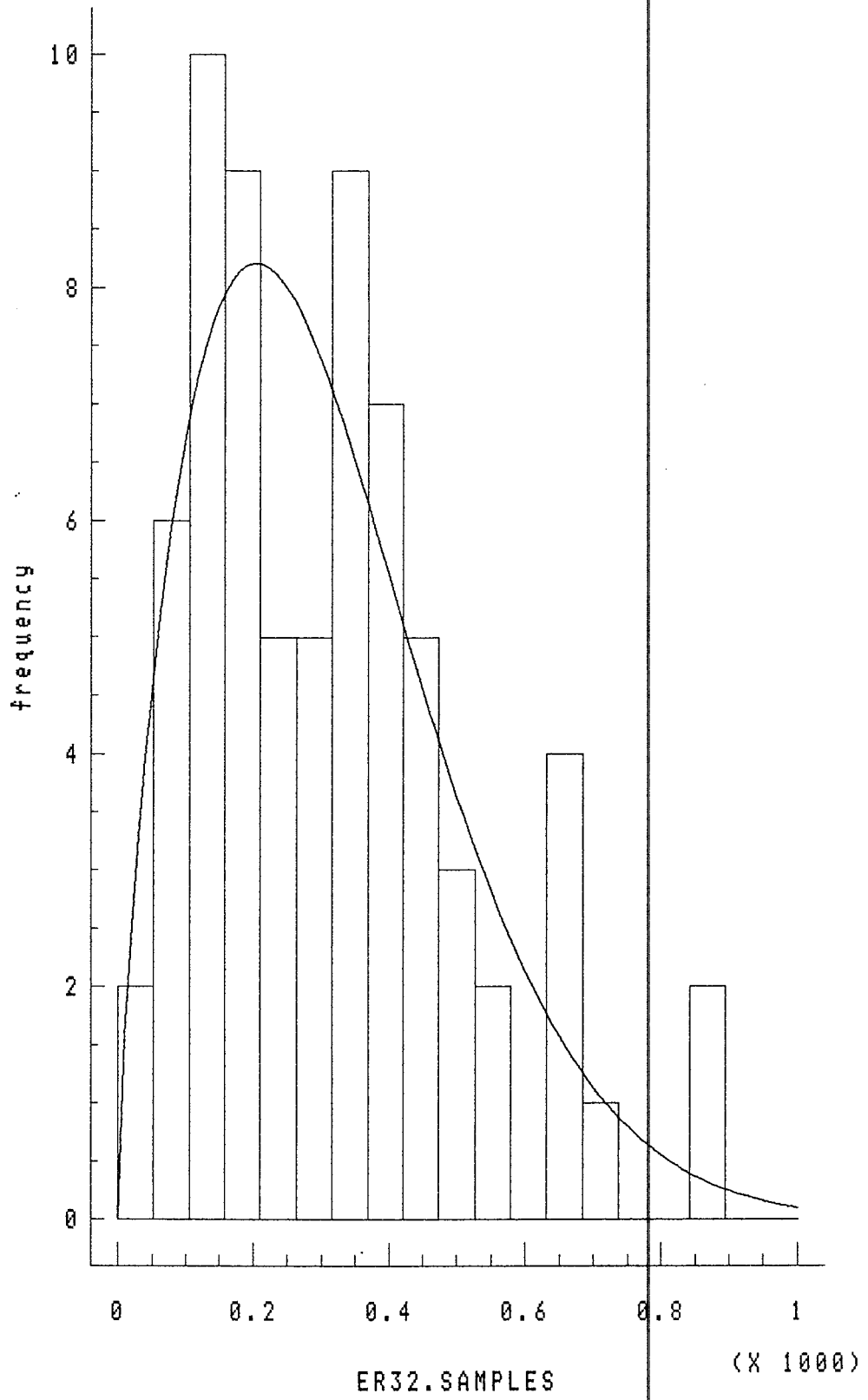
Frequency Histogram



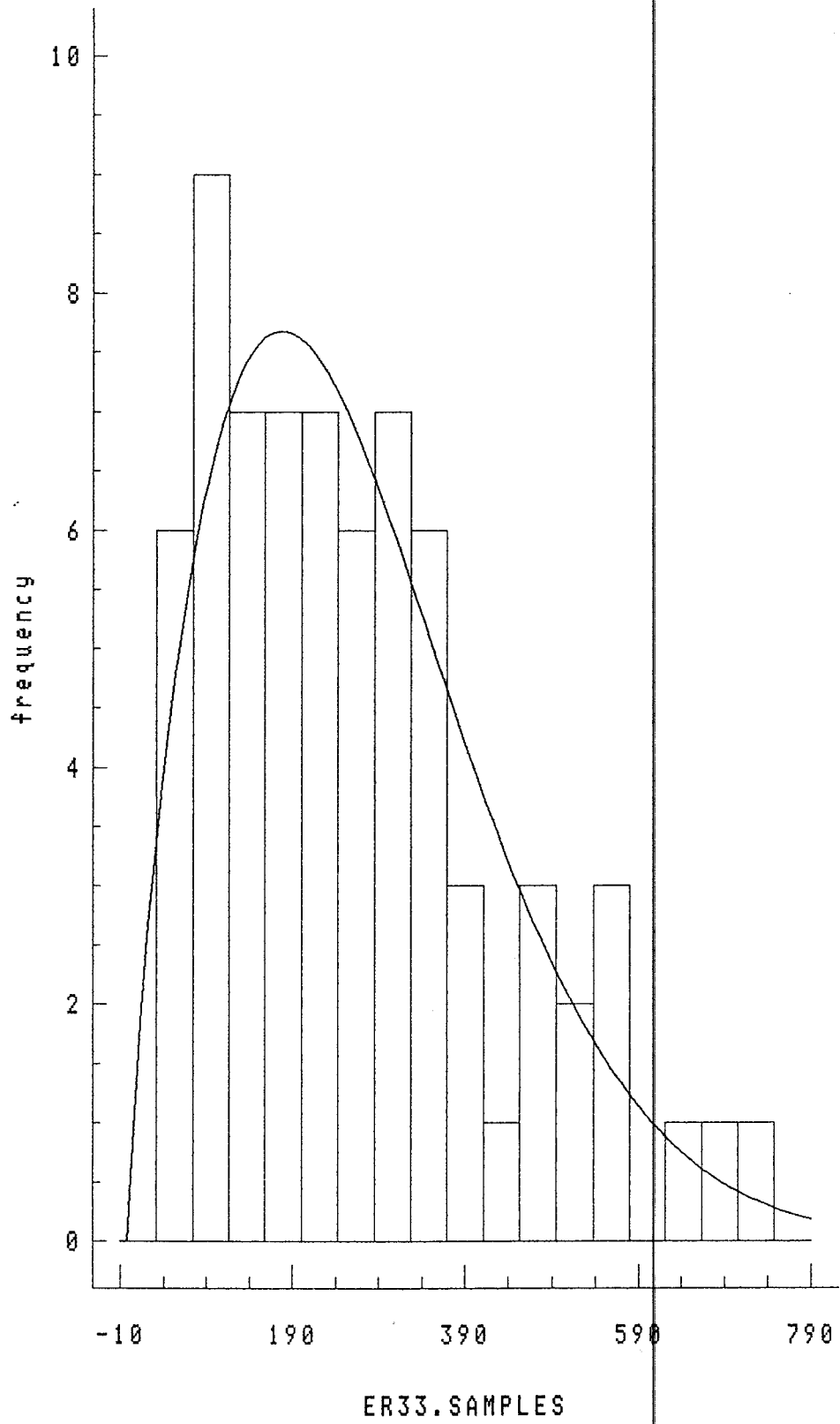
Frequency Histogram



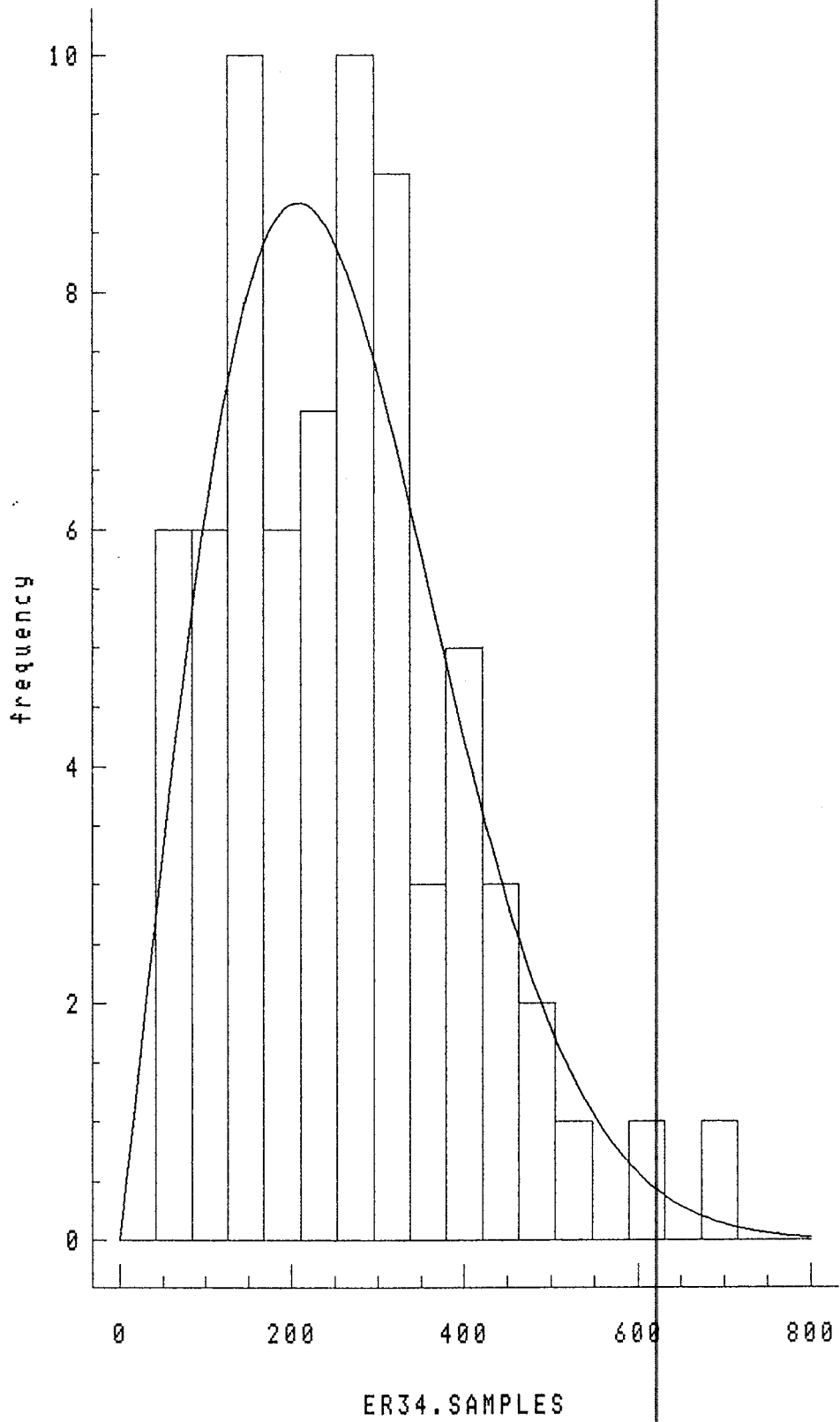
Frequency Histogram



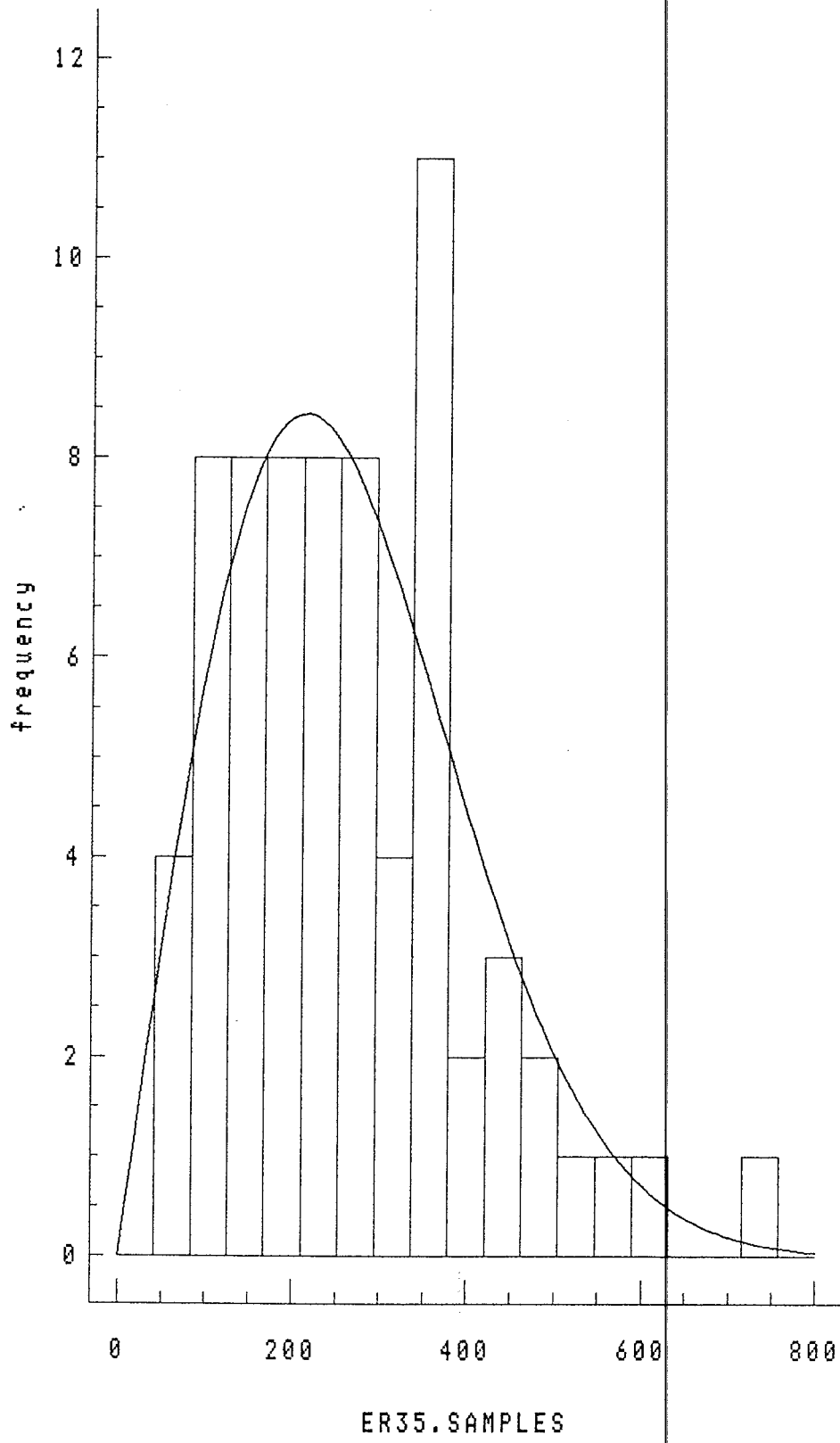
Frequency Histogram



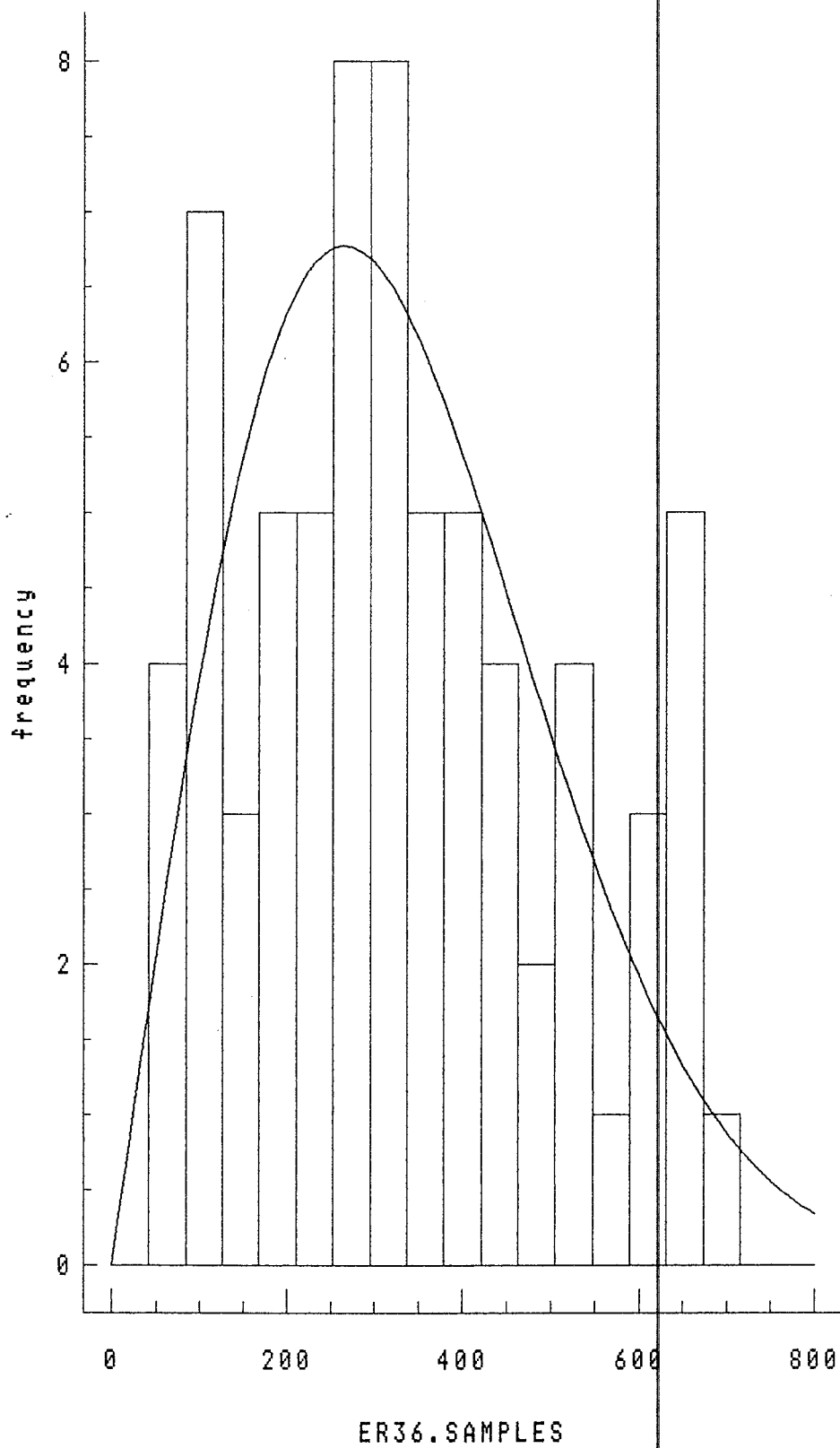
Frequency Histogram



Frequency Histogram



Frequency Histogram



Frequency Histogram

