

**ANALISA KEANDALAN UNIT PRODUKSI *CONTINUOUS*  
*TANDEM COLD MILL* MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY*  
*BLOCK DIAGRAM***

**(Studi Kasus: PT. KRAKATAU STEEL (Persero) Tbk)**

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh**

**Nama : Zulfikri Muhammad Ripaldi**

**NIM : 13522187**

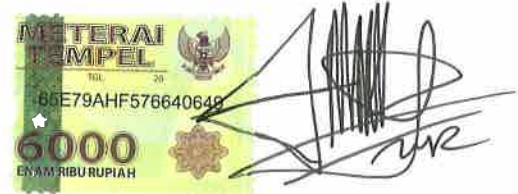
**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2020**

## LEMBAR PERNYATAAN

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

Yogyakarta, Agustus 2020



Zulfikri Muhammad Ripaldi

13 522 187

## LEMBAR PENELITIAN



Cilegon, 26 November 2019

No. :  
Hal : Penelitian tugas akhir/Skripsi

Kepada Yth.  
**Divisi Supply Chain & Improvement**  
PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk.  
Di - Cilegon

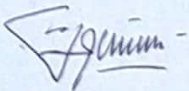
Dengan hormat,  
Menanggapi surat saudara perihal permohonan melakukan Bimbingan tugas akhir/skripsi atas nama:

No	Nama	NIM	Perguruan Tinggi Prog. Studi	Waktu Pelaksanaan	Materi Penelitian
1.	Zulfikri Muhammad Ripaldi	13522187	UII/Teknik Industri	27 November 2019 s/d 27 Desember 2019	Terlampir

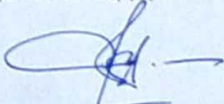
Maka dengan ini kami \*) ~~setuju~~ **setuju** menerimanya melakukan Penelitian sebagai bahan penyusunan Tugas akhir.

Demikian kami sampaikan, atas perhatiannya, diucapkan terimakasih.

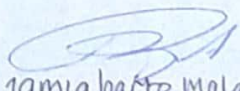
\*coret yang tidak perlu  
Nama pembimbing

  
(Sarjono)  
NIK. 9919.

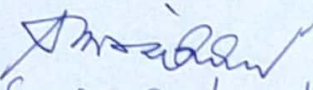
Manager Divisi Supply Chain & Improvement

  
M. Helmi Nur Widiyanto  
PLT Manager.

Koord. Pelatihan SCI

  
Jamia Harro Malau.

**Mengetahui:**  
Manager Security

  
Syarifuddin Harsat

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

### ANALISA KEANDALAN UNIT PRODUKSI *CONTINUOUS TANDEM COLD* *MILL* MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY BLOCK DIAGRAM*

(Studi Kasus: PT. KRAKATAU STEEL (Persero) Tbk)

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana S-1

Jurusan Teknik Industri – Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Disusun Oleh :

**Zulfikri Muhammad Ripaldi**

**NIM. 13 522 187**

Yogyakarta, Agustus 2020

Mengetahui,

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



**Ir. Hudaya, M. M.**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2020**

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**ANALISA KEANDALAN UNIT PRODUKSI *CONTINUOUS TANDEM COLD MILL* MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY BLOCK DIAGRAM***

(Studi Kasus: PT. KRAKATAU STEEL (Persero) Tbk)

## TUGAS AKHIR

Oleh

Nama : Zulfikri Muhammad Ripaldi

No. Mahasiswa : 13522187

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

Yogyakarta, Agustus 2020

Tim Penguji

Ir. Huda, M. M.

Ketua

Dian Janari, S.T., M.T.

Anggota I

Abdullah 'Azzam, S.T., M.T.

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri



Universitas Islam Indonesia

YOGYAKARTA

Dr. Taufiq Immawan, S.T., M. M.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Bismillahirrohmaanirrohiim  
Alhamdulillahirobbil'aalamiin*

*Karya ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya yang berdedikasi sangat  
besar dalam hidup saya*

*Bapak Rinaldo Agustino Panggabean, Alm.*

*Ibu Saripatunisa*

*Serta saya persembahkan karya ini untuk diri saya sendiri*

*Untuk Papa,*

*Meskipun kini ragamu telah tiada, aku tetap mengingat semua nasihat baik yang selalu  
engkau berikan kepadaku. Terima kasih yang sedalam – dalamnya kuucapkan padamu  
untuk mengajarkanku bagaimana menjadi sosok orang yang tegar, kuat, dan penuh  
tanggung jawab. Semoga kelak kita dipertemukan lagi di surgaNya Allah. Aamiin*

*Salam rindu dari anakmu*

*Untuk Mama,*

*Maafkan anak tunggalmu yang terlalu lama membuatmu menunggu atas kelulusan  
putra tunggalmu ini. Maafkan anak tunggalmu yang selalu mengecewakan perasaanmu  
dan membuat resah dan gelisah selama hidup. Terima kasih atas semua ajaran,  
didikan, serta kasih sayang yang selalu engkau berikan padaku tiada henti. Semoga  
putra tunggalmu bisa membuatmu bangga dan bahagia setiap saat*

*Untuk diriku sendiri,*

*Terima kasih banyak selama ini sudah menjadi sosok yang kuat, tegar, sabar, dan  
tanggung jawab dalam menyelesaikan semua ini meskipun cercaan, makian, hujatan,  
hinaan dan gunjingan yang menerpa diri ini. Jangan pernah padamkan semangat dan  
tanggung jawabmu sedikitpun, serta jangan lengah dalam menjalani semua urusan  
hingga ajalmu menjemput. Ingat, kamu adalah orang yang berharga dan bermanfaat*

*bagi orang lain baik kini maupun kelak!*



## HALAMAN MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan

(Q.S. Al-Insyirah : 5)

عَنْ عَبْدِ اللَّهِ بْنِ عَمْرٍو بْنِ الْعَاصِ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُمَا: عَنِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ:  
رِضَا اللَّهِ فِي رِضَا الْوَالِدَيْنِ

Ridho Allah berada pada ridho kedua orang tuanya, dan murka Allah (akibat) murka kedua orang tuanya.

(HR. At-Tarmizi)

“If you don’t take risks, you can’t create a future!”

(Monkey D. Luffy – One Piece)

“No matter how hard or impossible it is, never lose sight of your goal!”

(Monkey D. Luffy – One Piece)

“When you lose sight of your path, listen for the destination in your heart”

(Allen Walker – D.Gray-man)

## KATA PENGANTAR



*Assalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillah rabbil'alamiin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya, tidak lupa juga shalawat serta salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. Sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini di PT Yamaha Indonesia ini yang berjudul "Analisa Keandalan Unit Produksi *Continuous Tandem Cold Mill* menggunakan Metode *Reliability Block Diagram*".

Laporan Tugas Akhir ini dibuat dalam rangka memenuhi salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar sarjana Strata Satu pada jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Dengan pelaksanaan Tugas Akhir ini diharapkan mahasiswa dapat mengetahui sejauh mana penerapan teori yang telah didapatkan di bangku kuliah dan pengetahuan lapangan dalam suatu industri.

Dalam pelaksanaan Tugas Akhir di PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, penulis banyak mendapatkan pengetahuan, bimbingan, arahan, koreksi, dan saran dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak M. Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Taufiq Immawan, S.T., M. M. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Hudaya, M.M., selaku dosen pembimbing penulis yang selalu memberikan masukan dan dukungan kepada penulis.
5. Ibunda penulis, Saripatunisa, S.H. yang tiada hentinya memberikan semangat, dukungan, dan selalu mendoakan dan mengingatkan penulis setiap saat.
6. Ayahanda penulis, Rinaldo Agustino Panggabean (Alm.) yang selama hidupnya memberikan pelajaran hidup bagi penulis walaupun secara tidak langsung, serta kasih sayang dan dukungan untuk penulis.
7. PT Krakatau Steel (Persero) Tbk yang telah memberikan kesempatan untuk menimba ilmu secara langsung mengenai teknik industri
8. Bapak Sardjono, selaku pembimbing lapangan di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk yang memberikan masukan, arahan, serta diskusi yang menyenangkan selama penelitian berlangsung.
9. Semua jajaran *staff Supply Chain & Improvement* PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk yang berkenan membantu dalam pengambilan data untuk penyusunan Tugas Akhir.
10. Bapak Ade Irman dan Bapak Putro Ferro Ferdinant yang membantu penulis dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan Tugas Akhir.
11. Teman-teman *the Public Enemy* (Sulthan, Bagus, Dewangga, Firman, Arin, dan Destiara) yang selalu menyemangati dan mendukung penulis dan menjadi tempat untuk mencurahkan segala hal baik di kala sedih maupun senang.



12. Teman-teman Laboratorium Delsim, khususnya Gandhi, Yanyan, Bagus, Jufri, Nisa, Lia, Nurul yang menjadi tempat untuk saling bertukar informasi, pikiran, dan cerita semasa kuliah dan mengabdikan di Laboratorium Delsim.
13. Teman-teman Jurusan Teknik Industri UII, khususnya angkatan 2013, yang menjadi teman seperjuangan dalam menuntut ilmu di kampus.
14. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis tuliskan namanya satu-persatu, penulis ucapkan terima kasih dan semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa dalam serangkaian penulisan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan dan kelemahan. Oleh karena itu, segala macam kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan demi perbaikan laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini dapat digunakan sebagai mana mestinya serta berguna bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca yang berminat pada umumnya. Amiin Yaa Robbal 'Aalamin.

*Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, Agustus 2020

Zulfikri Muhammad Ripaldi

## ABSTRAK

*Kelancaran suatu proses produksi didukung oleh banyak faktor, salah satunya adalah aspek keandalan (reliability) mesin yang ada di dalam rantai produksi. Semakin tinggi penggunaan mesin serta fasilitas produksi, maka kebutuhan akan pemeliharaan dan perawatan semakin bertambah. PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk merupakan pabrik industri baja yang perkembangannya diawali dengan timbulnya ide tentang perlunya industri baja di negara berkembang seperti Indonesia. Pabrik CRM merupakan salah satu pabrik yang ada di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk yang memproduksi lembaran baja dengan perlakuan dingin. Strategi bisnis yang diterapkan oleh PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk adalah make to order. Salah satu unit produksi yang beroperasi di pabrik CRM adalah unit produksi Continuous Tandem Cold Mill (CTCM). Unit produksi ini melakukan proses tarik dan tekan terhadap strip baja dengan perlakuan dingin hingga ketebalan tereduksi sebesar 92% dari ketebalan awal (sesuai spesifikasi konsumen). Sebagai salah satu unit produksi yang penting dan kritis, unit produksi CTCM memiliki downtime yang tinggi dibandingkan unit produksi lainnya, yaitu sebesar 19177 menit. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisa reliability pada unit produksi CTCM menggunakan metode Reliability Block Diagram (RBD) dan menghitung nilai reliability usulan sebagai bahan pertimbangan perusahaan dalam melakukan perbaikan dan pengembangan lebih lanjut. Berdasarkan hasil pengolahan data, didapat dua komponen kritis pada unit produksi CTCM yaitu lokasi Mill dan Exit dengan nilai keandalan masing – masing sebesar 32,171% dan 13,123%, sementara untuk nilai reliability secara keseluruhan sebesar 0,3883% menggunakan RBD dengan hubungan antar komponen yang bersifat seri. Perhitungan reliability usulan yang dilakukan yaitu dengan menaikkan nilai reliability sebesar 10% pada komponen kritis pada lokasi Mill dan Exit menjadi 42,171% dan 13,123%. Sehingga nilai reliability usulan untuk unit produksi CTCM sebesar 0,897%. Rekomendasi yang dapat diberikan ke perusahaan untuk meningkatkan keandalan pada unit produksi CTCM yaitu dengan menerapkan kebijakan perawatan secara preventif agar mengurangi kerusakan yang timbul pada unit produksi CTCM serta melakukan pemeriksaan mesin secara intensif sebelum dan setelah penggunaan mesin untuk setiap shift kerja.*

**Kata Kunci** : Keandalan, Downtime, Komponen Kritis, Reliability Block Diagram,

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
HALAMAN MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Kajian Deduktif.....	7
2.1.1. Definisi Keandalan.....	7
2.1.2. Waktu Kerusakan.....	8
2.1.3. Identifikasi dan Parameter Distribusi.....	9
2.1.4. Identifikasi Distribusi Awal.....	9
2.1.5. Uji Hipotesa .....	10
2.1.6. Estimasi Parameter.....	13
2.1.7. Distribusi Statistik Laju Kerusakan dan Keandalan .....	14
2.1.7.1. Distribusi Normal .....	14
2.1.7.2. Distribusi Weibull.....	15
2.1.7.3. Distribusi Eksponensial .....	17
2.1.7.4. Distribusi Lognormal.....	19
2.1.8. Laju Kerusakan dan Nilai Keandalan .....	20
2.1.9. Diagram Pareto ( <i>Pareto Chart</i> ) .....	23
2.1.10. <i>Reliability Block Diagram</i> .....	24
2.2 Kajian Induktif.....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1. Rancangan Penelitian.....	31
3.2. Objek Penelitian.....	32
3.3. Metode Pengumpulan Data.....	32
3.4. Pengumpulan Data.....	33
3.5. Metode Pengolahan Data .....	33
3.6. Alur Penelitian .....	33
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>	<b>40</b>
4.1. Gambaran Umum Perusahaan.....	40
4.1.1. Sejarah Singkat Perusahaan .....	40
4.1.2. Visi & Misi .....	42

4.2. Pengumpulan Data .....	43
4.2.1. Profil Singkat <i>Cold Rolling Mill</i> .....	43
4.2.2. Hasil Produksi <i>Cold Rolling Mill</i> .....	44
4.2.3. <i>Continuous Tandem Cold Mill (CTCM)</i> .....	45
4.2.4. Skema Proses Produksi CTCM .....	46
4.2.5. Data Waktu Kerusakan Unit Produksi CTCM .....	47
4.2.6. Diagram Blok Unit Produksi CTCM .....	48
4.3. Pengolahan Data .....	49
4.3.1. Penentuan Komponen Kritis Unit Produksi CTCM .....	49
4.3.2. Perhitungan Waktu Kerusakan Komponen Kritis .....	50
4.3.3. Perhitungan <i>Index of Fit</i> .....	52
4.3.4. Uji <i>Goodness of Fit</i> .....	61
4.3.5. Perhitungan Parameter Distribusi .....	63
4.3.6. Perhitungan Keandalan dan Laju Kerusakan .....	64
4.3.7. Perhitungan <i>Mean Time Before Failure</i> .....	67
4.3.8. Perhitungan <i>Reliability</i> Komponen dan <i>Reliability Block Diagram</i> .....	67
BAB V PEMBAHASAN .....	71
5.1. Analisa Komponen Kritis Unit Produksi CTCM .....	71
5.2. Analisa Distribusi Statistik Unit Produksi CTCM .....	72
5.3. Analisa Laju Kerusakan Unit Produksi CTCM .....	73
5.4. Analisa <i>Reliability</i> Awal Unit Produksi CTCM .....	77
5.5. Analisa <i>Reliability</i> Usulan Unit Produksi CTCM dan Rekomendasi Perbaikan .....	78
BAB VI PENUTUP .....	80
6.1. Kesimpulan .....	80
6.2. Saran .....	81
DAFTAR PUSTAKA .....	82

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Waktu Kerusakan Unit Produksi CTCM .....	47
Tabel 4. 2 Perhitungan Komponen Kritis Unit Produksi CTCM .....	50
Tabel 4. 3 Perhitungan <i>Time to Failure</i> Lokasi <i>Mill</i> pada Unit Produksi CTCM .....	51
Tabel 4. 4 Least Square Curve Fitting Lokasi <i>Mill</i> untuk Distribusi Normal .....	53
Tabel 4. 5 Least Square Curve Fitting Lokasi <i>Mill</i> untuk Distribusi Eksponensial .....	54
Tabel 4. 6 Least Square Curve Fitting Lokasi <i>Mill</i> untuk Distribusi <i>Lognormal</i> .....	56
Tabel 4. 7 Least Square Curve Fitting Lokasi <i>Mill</i> untuk Distribusi <i>Weibull</i> .....	57
Tabel 4. 8 Hasil <i>Least Square Curve Fitting</i> Lokasi <i>Mill</i> .....	59
Tabel 4. 9 Rekapitulasi Perhitungan <i>Least-Square Curve Fitting</i> Unit Produksi CTCM .....	60
Tabel 4. 10 Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Lokasi <i>Mill</i> .....	61
Tabel 4. 11 Rekapitulasi <i>Goodness of Fit</i> .....	63
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter Distribusi .....	64
Tabel 4. 13 Perhitungan Keandalan dan Laju Kerusakan Lokasi <i>Mill</i> .....	64
Tabel 4. 14 Rekapitulasi <i>Mean Time Before Failure</i> Unit Produksi CTCM .....	67
Tabel 4. 15 Rekapitulasi Nilai <i>Reliability</i> Semua Lokasi pada Unit Produksi CTCM .....	68
Tabel 4. 16 Rekapitulasi Nilai <i>Reliability</i> Usulan pada Unit Produksi CTCM .....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Downtime</i> Pabrik <i>Cold Rolling Mill</i> PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk Tahun 2019 .....	2
Gambar 2. 1 Laju Kerusakan Distribusi Normal .....	15
Gambar 2. 2 Laju Kerusakan Distribusi <i>Weibull</i> .....	17
Gambar 2. 3 Laju Kerusakan Distribusi Eksponensial .....	18
Gambar 2. 4 Laju Kerusakan Distribusi <i>Lognormal</i> .....	20
Gambar 2. 5 <i>Bathtub Curve</i> .....	21
Gambar 2. 6 Diagram <i>Pareto</i> .....	24
Gambar 2. 7 Rangkaian Paralel .....	25
Gambar 2. 8 Rangkaian Seri .....	26
Gambar 2. 9 Rangkaian Gabungan .....	26
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	34
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> Perhitungan dan Pengujian Statistik .....	37
Gambar 3. 3 <i>Flowchart Reliability Block Diagram</i> .....	38
Gambar 4. 1 Skema Proses Unit Produksi <i>Continuous Tandem Cold Mill</i> (CTCM) .....	46
Gambar 4. 2 Diagram Blok Unit Produksi CTCM .....	49
Gambar 4. 3 Diagram <i>Pareto</i> Lokasi Unit Produksi CTCM .....	50
Gambar 4. 4 Hasil <i>Perhitungan Least-Square Curve Fitting</i> dengan <i>Minitab</i> .....	59
Gambar 4. 5 Kurva Keandalan Lokasi <i>Mill</i> .....	66
Gambar 4. 6 Kurva Laju Kerusakan Lokasi <i>Mill</i> .....	66
Gambar 4. 7 <i>Reliability Block Diagram</i> Unit Produksi (CTCM) .....	68
Gambar 4. 8 <i>Reliability Block Diagram</i> Usulan Unit Produksi (CTCM) .....	69
Gambar 5. 1 <i>Hazard Plot</i> Setiap Distribusi Statistik .....	74
Gambar 5. 2 Kurva Laju Kerusakan Lokasi <i>Exit</i> .....	75
Gambar 5. 3 Kurva Laju Kerusakan Lokasi <i>Welder</i> .....	76
Gambar 5. 4 Kurva Laju Kerusakan Lokasi <i>Entry</i> .....	76

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam proses produksi di suatu industri manufaktur, pemeliharaan dan perawatan mesin memiliki peran yang sangat penting. Fungsi pemeliharaan adalah agar dapat memperpanjang umur ekonomis dari mesin dan peralatan produksi yang ada serta mengusahakan agar mesin dan peralatan produksi tersebut selalu dalam keadaan optimal dan siap pakai untuk pelaksanaan proses produksi (Ahyari, 2002). Untuk menjamin agar mesin bisa beroperasi dengan optimal diperlukan adanya system perawatan yang baik pula. Sistem perawatan yang kurang baik akan menyebabkan mesin mudah rusak dan proses produksi akan terganggu (Djunaidi & Sufa, 2007). Kelancaran suatu proses produksi didukung oleh banyak faktor, salah satunya adalah aspek keandalan (*reliability*) mesin yang ada di dalam rantai produksi tersebut. Semakin tinggi penggunaan mesin serta fasilitas produksi, maka kebutuhan akan pemeliharaan dan perawatan semakin bertambah.

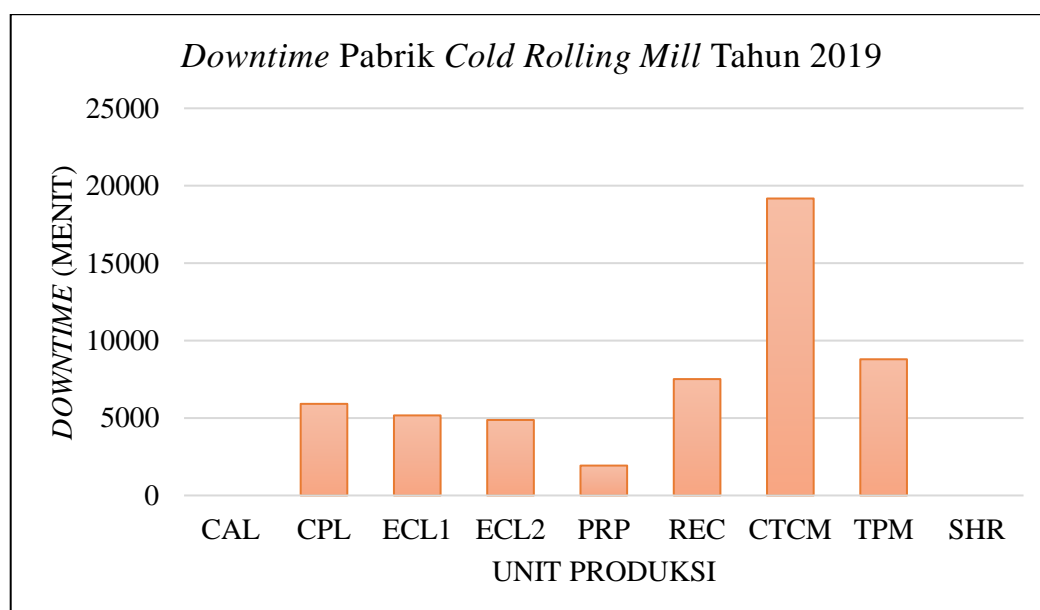
Ebeling (1997) mengemukakan bahwa keandalan (*reliability*) merupakan probabilitas sebuah komponen dapat beroperasi sesuai fungsi yang diinginkan untuk suatu periode waktu tertentu. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mempertahankan dan meningkatkan nilai reliabilitas dari sebuah mesin salah satunya yaitu dengan menentukan selang waktu perawatan yang paling optimal bagi mesin tersebut. Untuk menghindari terjadinya penurunan reliabilitas maka perlu dilakukannya penjadwalan perawatan mesin dengan melakukan penentuan penjadwalan yang optimal dan tindakan perawatan yang tepat dapat mempertahankan kinerja dan utilitas mesin yang ada.

PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk merupakan pabrik industri baja yang perkembangannya diawali dengan timbulnya ide tentang perlunya industri baja di negara



berkembang seperti Indonesia. Salah satu produk yang dihasilkan oleh perusahaan ini yaitu baja lembaran dingin. Baja lembaran dingin biasanya digunakan untuk pembuatan produk otomotif, peralatan rumah tangga, kaleng, *galvanized sheets* (lembaran baja galvanis) dan sebagainya. Bagian perusahaan yang mengelola baja jenis tersebut adalah Pabrik *Cold Rolling Mill* (CRM). Pabrik CRM merupakan salah satu pabrik yang ada di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk yang memproduksi lembaran baja dengan perlakuan dingin. Strategi bisnis yang diterapkan oleh PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk adalah *make to order*. CRM memproduksi baja lembaran dingin sesuai dengan spesifikasi dari pelanggan dengan minimum pesanan adalah lima ton.

Salah satu unit produksi yang beroperasi di pabrik CRM adalah unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM). Unit produksi ini melakukan proses tarik dan tekan terhadap strip baja dengan perlakuan dingin hingga ketebalan tereduksi sebesar 92% dari ketebalan awal (sesuai spesifikasi konsumen). Kapasitas dari unit produksi CTCM adalah 907.346 ton per tahun. Pabrik CRM memiliki waktu proses produksi dalam satu hari terdiri dari tiga *shift* dengan durasi kerja 8 jam dalam satu *shift*. Oleh karena itu, proses reduksi ketebalan *coil* yang berjalan di mesin CTCM berjalan selama 24 jam. Sebagai salah satu unit produksi yang penting dan kritis, unit produksi CTCM memiliki *downtime* yang tinggi dibandingkan dengan unit produksi lainnya. Berikut adalah grafik jumlah *downtime* yang terjadi di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk pada tahun 2019 :



Gambar 1. 1 *Downtime* Pabrik *Cold Rolling Mill* PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk Tahun 2019

(Sumber : PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk)

Tercatat bahwa pada tahun 2019, *downtime* yang terjadi pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) di tahun 2019 adalah sebesar 19177 menit atau setara dengan 320 jam dan merupakan unit produksi dengan *Downtime* terbesar di pabrik *Cold Rolling Mill* (CRM). Hal tersebut menyebabkan kehilangan waktu produksi yang cukup besar dan menimbulkan kerugian yang cukup besar pula. Selain itu, usia unit produksi CTCM sudah melewati masa usia produktif mesin yaitu 32 tahun, sedangkan usia produktif CTCM adalah 20 tahun. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa keandalan pada unit produksi tersebut agar selain mengetahui keandalan pada kondisi nyata, perusahaan dapat mengambil tindakan untuk meningkatkan kinerja unit produksi tersebut untuk mencegah timbulnya kegagalan – kegagalan yang tidak dapat diprediksi baik secara mekanik, elektrik, ataupun aspek lainnya.

Dalam penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Aldi Alpiandi (2019), menggunakan *Reliability Centered Maintenance II* pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) dan *Continuous Pickling Line* (CPL) untuk menentukan apakah strategi perbaikan yang dilakukan di perusahaan sudah tepat sasaran atau belum. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa terdapat 5 mode kegagalan yang dapat ditangani oleh *Schedule On-Condition* dengan total interval waktu usulan sebesar 50.285 menit, 7 mode kegagalan yang dapat ditangani oleh *Schedule Restoration* dengan total interval sebesar 126.100 menit, dan 7 mode kegagalan yang dapat ditangani oleh *Failure Finding Interval* dengan total interval sebesar 63.933 menit.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, masalah yang terjadi pada PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk adalah terjadinya kerusakan pada Unit Produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) di departemen *Cold Rolling Mill* (CRM). Dari masalah tersebut menghasilkan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Komponen apa saja yang termasuk ke dalam komponen kritis pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) di departemen *Cold Rolling Mill*?
2. Berapa nilai *reliability* komponen kritis dan sistem pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM)?

3. Berapa nilai *reliability* usulan komponen kritis dan sistem pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) dan bagaimana rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan *reliability* dari unit produksi CTCM?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pertanyaan penelitian di atas maka dapat disusun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dan mengetahui komponen kritis pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM)
2. Mengetahui nilai *reliability* sistem dan komponen kritis pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM)
3. Mengetahui nilai *reliability* usulan komponen kritis dan sistem pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) dan rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan *reliability* dari unit produksi CTCM

### 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian yang dilakukan memerlukan ruang lingkup dan fokus kajian yang terarah. Oleh karena itu, sebuah penelitian perlu diberi batasan agar kajian dapat terfokus dan menghasilkan penelitian yang baik. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Departemen *Cold Rolling Mill* PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk.
2. Unit Produksi yang diteliti adalah *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) dari keseluruhan Unit Produksi yang ada di Pabrik *Cold Rolling Mill* (CRM) PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk.
3. Penelitian ini berfokus pada *downtime* yang diakibatkan oleh faktor *Maintenance* dan tidak mempertimbangkan total biaya perawatan.
4. Data historis yang digunakan adalah data *breakdown* dari 01 Januari 2019 sampai Oktober 2019.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, diharapkan dapat bermanfaat sebagai berikut :

1. Dapat memberikan usulan tindakan *preventive maintenance* terhadap mesin CTCM pada pabrik CRM di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk.
2. Dengan mempertimbangkan hasil perhitungan dengan metode *Reliability Block Diagram* (RBD) dan dilanjutkan dengan simulasi *Monte Carlo*, perusahaan memiliki jadwal *preventive maintenance* untuk meminimalisir terjadinya *downtime* pada CTCM.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penelitian ini penulis membuat sistematika penulisan gambaran jelas dan lengkap tentang masalah yang akan dibahas, tersusun pada sistematika penulisan laporan ini sebagai berikut :

### **BAB I            PENDAHULUAN**

Bab ini mendeskripsikan mengenai pendahuluan kegiatan penelitian, mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan yang akan dicapai, serta mengenai sistematika penulisan.

### **BAB II           KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan beberapa teori-teori dari referensi buku maupun jurnal serta hasil penelitian terdahulu berkaitan dengan masalah penelitian yang digunakan sebagai acuan penyelesaian masalah.

### **BAB III          METODE PENELITIAN**

Pada bab ini berisikan mengenai uraian kerangka dan alur penelitian, objek penelitian yang akan diteliti dan juga metode yang digunakan dalam penelitian.

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

Bab ini membahas tentang data yang diperoleh selama penelitian dan bagaimana menganalisa data tersebut. Hasil pengolahan data ditampilkan

baik dalam bentuk tabel maupun grafik. Dalam pengolahan data juga termasuk analisis yang dilakukan terhadap hasil yang diperoleh. Pada sub bab ini merupakan acuan untuk pembahasan hasil yang akan ditulis pada bab V.

## **BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang pembahasan hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan dalam penelitian. Kesesuaian hasil dengan tujuan penelitian sehingga menghasilkan sebuah rekomendasi ataupun usulan.

## **BAB VI PENUTUP**

Berisi tentang kesimpulan terhadap analisis yang dibuat dan rekomendasi atau saran-saran atas hasil yang dicapai dalam permasalahan yang ditemukan selama penelitian, sehingga perlu dilakukan rekomendasi untuk dikaji pada penelitian selanjutnya.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Deduktif

Kajian deduktif berisi penjelasan mengenai teori-teori penunjang yang digunakan sebagai landasan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada dan menjawab rumusan masalah yang diajukan.

##### 2.1.1. Definisi Keandalan

Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas komponen, peralatan, mesin, atau system tetap beroperasi dengan baik sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam interval waktu dan kondisi tertentu (Govil, 1993). Ebeling (1997) juga mengemukakan bahwa *reliability* atau keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau system akan menginformasikan suatu fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi.

Ada beberapa macam usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan dari suatu system (Kudin, 2012) :

1. Membuat desain sistem dengan komponen – komponen yang mempunyai keandalan lebih baik.
2. Membuat desain sistem sedemikian rupa sehingga mudah melakukan perawatan yaitu untuk perbaikan dan inspeksi.
3. Menggunakan komponen yang parallel dalam *stage* tertentu.
4. Mempersiapkan persediaan diantara *stage* yang penting.

5. Merencanakan pencegahan seperti apakah suatu komponen kritis hanya diperbaiki saja atau perlu diganti sebelum mengalami kerusakan yang lebih parah.

### 2.1.2. Waktu Kerusakan

Menurut Soesatyo dan Bendatu (2014), waktu kerusakan dikategorikan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. *Mean Time to Failure* (MTTF)

*Mean Time to Failure* merupakan nilai rata – rata interval antar kerusakan dari sebuah distribusi data kerusakan. MTTF bermanfaat untuk mengetahui kinerja dan kemampuan dari peralatan yang digunakan. Perhitungan MTTF memerlukan parameter yang telah dihitung sebelumnya. Cara perhitungan setiap MTTF juga berbeda tergantung dengan parameter yang sesuai dengan distribusi data yang ada.

2. *Mean Time to Repair* (MTTR)

*Mean Time to Repair* merupakan nilai rata – rata waktu perbaikan kerusakan yang terjadi. Perhitungan MTTR memerlukan parameter yang telah dihitung sebelumnya. Cara perhitungan setiap MTTR juga berbeda tergantung dengan parameter yang sesuai dengan distribusi data yang ada.

3. *Mean Time Between Failure* (MTBF)

*Mean Time Between Failure* adalah suatu ukuran seberapa keandalan suatu produk atau komponen. Karena kebanyakan komponen mempunyai tingkat kegagalan dalam ribuan atau bahkan sepuluh ribu jam antar kegagalan. MTBF dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (2.1)$$

*Time Failure* adalah waktu kerusakan mesin yang dipakai untuk mengetahui besarnya nilai kehandalan (*reliability*) dan pertimbangan untuk menentukan strategi perawatan (*maintainability*) pada suatu mesin (Ebeling, 1997). *Time Failure* terdiri atas TTF (*Time to Failure*), TTR (*Time to Repair*) dan TBF (*Time Between Failure*). TTR (*Time to Repair*) adalah waktu untuk perbaikan, merupakan selisih waktu yang dihitung



dari awal kerusakan mesin terjadi hingga mesin tersebut diperbaiki dan dapat beroperasi Normal kembali. TTF (*Time to Failure*) adalah waktu menuju kerusakan yang merupakan selisih waktu yang dihitung dari awal mesin kembali dalam kondisi Normal setelah diperbaiki hingga awal mesin mengalami kerusakan kembali. TBF (*Time Between Failure*) adalah waktu antar kerusakan yang merupakan selisih waktu yang dihitung dari awal mesin terjadi kerusakan hingga terjadi kerusakan selanjutnya.

### 2.1.3. Identifikasi dan Parameter Distribusi

Identifikasi dan parameter distribusi dapat dilakukan dalam dua tahap yaitu identifikasi distribusi awal dan estimasi parameter (Ebeling, 1997). Perhitungan tersebut menggunakan metode *least square* yang membutuhkan perhitungan :

1. Nilai tengah (*median rank*)

$$F(t_i) = \frac{(i - 0.3)}{(n + 0.4)} \quad (2.2)$$

Keterangan :

- i : data waktu ke -t  
n : jumlah data

2. *Index of Fit*

$$\frac{n \sum x_i y_i - n \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \times [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (2.3)$$

### 2.1.4. Identifikasi Distribusi Awal

Pada identifikasi distribusi awal terdapat 4 macam distribusi, yaitu distribusi Normal, distribusi *Lognormal*, distribusi *Exponential*, dan distribusi *Weibull* (Ebeling, 1997). Berikut merupakan rumus distribusi awal dari keempat distribusi tersebut :

## a. Distribusi Normal

$$x_i = (t_i) \quad (2.4)$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \quad (2.5)$$

Di mana :  $t_i$  = waktu ke -  $i$

$z_i$  = invers dari distribusi normal

b. Distribusi *Weibull*

$$x_i = \ln(t_i) \quad (2.6)$$

$$y_i = \ln\left(\frac{1}{1 - F(t_i)}\right) \quad (2.7)$$

Di mana :  $t_i$  = waktu ke -  $i$

c. Distribusi *Eksponential*

$$x_i = (t_i)$$

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

Di mana :  $t_i$  = waktu ke -  $i$

d. Distribusi *Lognormal*

$$x_i = \ln(t_i)$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$$

Di mana :  $t_i$  = waktu ke -  $i$

## 2.1.5. Uji Hipotesa

Uji hipotesa dilakukan untuk mengetahui apakah distribusi yang telah ditentukan sesuai dengan data yang ada. Uji hipotesa dapat dilakukan dengan uji kecocokan distribusi (*goodness of fit*). Uji kecocokan distribusi dimaksudkan untuk mengetahui bahwa distribusi data yang telah dipilih benar-benar mewakili data. Karena uji ini memiliki

probabilitas yang lebih besar dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai (Ebeling, 1997).

Terdapat 3 jenis pengujian dalam uji hipotesa berdasarkan distribusi statistic yang ditentukan. Pengujian tersebut adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997) :

1. Uji *Kolmogrov-smirnov*

$H_0$  = Data berdistribusi Normal/*Lognormal*

$H_1$  = Data tidak berdistribusi Normal/*Lognormal*

$$D_n = \left\{ \Phi \left( \frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\}, \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left( \frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} \quad (2.8)$$

Dengan

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \quad (2.9)$$

dan

$$s = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}}{n-1} \quad (2.10)$$

$t_i$  adalah waktu,  $\bar{t}$  adalah waktu rata-rata,  $s$  adalah standar deviasi dan  $n$  adalah banyaknya sampel. Wilayah kritis terdapat pada  $D_n < D_{crit}$ . Nilai  $D_{crit}$  dapat dilihat pada tabel *critical value for the Kolmogorov-Smirnov Test for normality*. Dengan demikian  $H_0$  diterima apabila nilai  $D_n$  yang didapat pada perhitungan kurang dari nilai  $D_{crit}$  pada tabel.

2. Uji *Bartlett*

$H_0$  = Data berdistribusi Eksponensial

$H_1$  = Data tidak berdistribusi Eksponensial

$$\beta = \frac{\left\{ \ln \left( \frac{1}{r} \right) \sum_i^r (t_i) - \left[ \left( \frac{1}{r} \right) \sum_i^r \ln(t_i) \right] \right\}}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad (2.11)$$

Di mana  $t_i$  adalah waktu dan  $r$  adalah jumlah kerusakan, dengan wilayah kritis  $X_{1-\frac{\alpha}{2};r-1}^2 < \beta < X_{\frac{\alpha}{2};r-1}^2$ ,  $H_0$  dapat diterima apabila nilai  $\beta$  terdapat pada wilayah kritis.

### 3. Uji Mann's

$H_0$  = Data berdistribusi *Weibull*

$H_1$  = Data tidak berdistribusi *Weibull*

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_{i+1}}^{r-1} \left[ \frac{\ln(t_i + 1)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=k_{i+1}}^{r-1} \left[ \frac{\ln(t_i + 1)}{M_i} \right]} \quad (2.12)$$

Di mana:

$$k_1 = \frac{r}{2} \quad (2.13)$$

$$Mk_2 = \frac{r-1}{2} \quad (2.14)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \quad (2.15)$$

$$Z_i = \ln \left( \ln \left[ \frac{\ln(t_i + 1)}{M_i} \right] \right) \quad (2.16)$$

Dengan  $r$  adalah jumlah kerusakan. Wilayah kritis terdapat pada  $M < F(\alpha, v, v_2)$ ,  $F_{krit}$  diperoleh dari dengan  $V_1 = 2 K_2$  dan  $V_2 = 2 K_1$ .  $H_0$  diterima apabila nilai  $M$  hitung  $< F$  tabel.

### 2.1.6. Estimasi Parameter

Menurut (Ebeling, 1997) estimasi untuk masing-masing parameter distribusi adalah:

#### 1. Distribusi Normal

Mempunyai dua parameter, yaitu  $\mu$  dan  $\sigma$

$\mu$  = nilai rata-rata dari t (waktu)

$\sigma$  = nilai standar deviasi dari t (waktu)

#### 2. Distribusi Weibull

Mempunyai parameter  $\beta$  dan  $\theta$

$$\beta = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i \sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2.17)$$

$$\theta = \exp^{\frac{-\alpha}{\beta}} \quad (2.18)$$

$$\alpha = \frac{\sum y_i - (\beta \sum x_i)}{n} \quad (2.19)$$

#### 3. Distribusi Eksponensial

Mempunyai parameter  $\lambda$

$$\lambda = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \quad (2.20)$$

parameter  $\lambda$  = laju kerusakan

#### 4. Distribusi Lognormal

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} \quad (2.21)$$

$$\hat{t}_{med} = \exp^{\hat{\mu}} \quad (2.22)$$

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \hat{\mu})^2}{n}} \quad (2.23)$$

### 2.1.7. Distribusi Statistik Laju Kerusakan dan Keandalan

Menurut Ebeling (1997), laju kerusakan biasa mengikuti *bathhtub curve*, yang terdiri dari tiga fase yaitu fase menurun, fase konstan dan fase meningkat. Distribusi yang mewakili ketiga fase tersebut adalah distribusi *Weibull*, *Exponential*, *Normal* dan *Lognormal*.

#### 2.1.7.1. Distribusi Normal

Distribusi Normal telah berhasil digunakan terhadap model kelelahan dan fenomena keausan. Distribusi ini berbentuk seperti bel atau lonceng sehingga memiliki nilai simetris terhadap dua parameter, yaitu nilai tengah ( $\mu$ ) dan sebaran dari distribusi tersebut yang dinyatakan sebagai standar deviasi ( $\sigma$ ) (Ebellling, 1997).

Fungsi-fungsi dari distribusi normal adalah:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f_{(t)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (2.24)$$

2. Fungsi Keandalan

$$R_{(t)} = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.25)$$

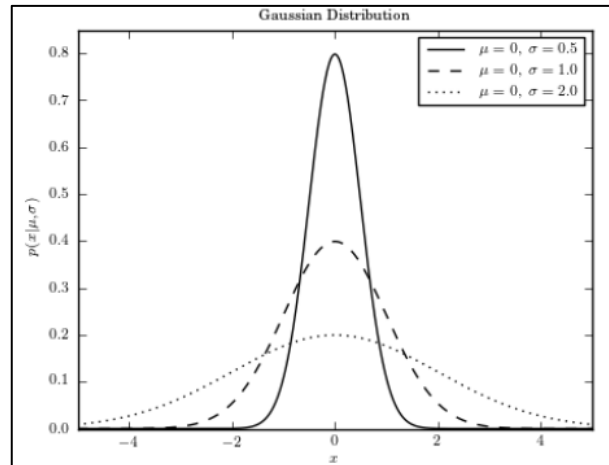
3. Fungsi Distribusi Kumulatif (*Cummulative Distribution Function*)

$$F_{(t)} = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.26)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Function*)

$$h_{(t)} = \left(\frac{f_t}{1 - f_t}\right) \quad (2.27)$$

Di mana  $\mu$  merupakan rata-rata (*mean*) dari  $t$ ,  $\sigma$  merupakan standar deviasi dari  $t$ , dan  $\Phi$  merupakan fungsi distribusi normal standar. Gambar grafik laju kerusakan pada distribusi normal dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 1 Laju Kerusakan Distribusi Normal  
(Sumber : Ebeling, 1997)

#### 2.1.7.2. Distribusi Weibull

Distribusi *weibull* merupakan perluasan dari distribusi eksponensial dan banyak digunakan untuk memodelkan fenomena kerusakan dengan laju kerusakan tergantung pada umur komponen.

Distribusi *weibull* sering dipakai sebagai pendekatan untuk mengetahui karakteristik fungsi kerusakan karena perubahan nilai akan mengakibatkan distribusi *weibull* mempunyai sifat tertentu ataupun ekuivalen dengan distribusi tertentu. Distribusi *weibull* menggunakan dua parameter, yaitu (Ebeling 1997):

1.  $\beta$  (beta) adalah parameter bentuk (*shape parameter*)
2.  $\theta$  (teta) adalah parameter skala (*scale parameter*)

Pengaruh berbagai macam harga parameter bentuk  $\beta$  terhadap fungsi kerusakan distribusi *weibull* yang terjadi dijelaskan sebagai berikut:



Tabel 2. 1 Pengaruh Nilai  $\beta$  Terhadap Fungsi Kerusakan Pada Distribusi *Weibull*  
(Sumber : Ebeling, 1997)

Nilai	Laju Kerusakan	Penyebab
$0 < \beta < 1$	Laju Kerusakan Menurun (DFR)	Kurangnya pengetahuan operator dalam Menggunakan alat, rendahnya <i>quality control</i>
$\beta = 1$	Laju Kerusakan Konstant (CFR) Distribusi Eksponensial	<i>Human Error</i>
$1 < \beta < 2$	Laju Kerusakan Meningkat (IFR) Kurva bentuk Konkaf	Kurangnya perawatan, terjadinya korosi dan terjadi perubahan fisik pada mesin.
$B > 2$	Laju Kerusakan Meningkat (IFR) Kurva bentuk Konveks	Kurangnya perawatan, terjadinya korosi dan terjadi perubahan fisik pada mesin umur mesin yang sudah cukup lama
$3 \leq \beta \leq 4$	Laju Kerusakan Meningkat (IFR) Kurva Bentuk simetris Distribusi Normal	Kurangnya perawatan, terjadinya korosi dan terjadi perubahan fisik pada mesin, umur mesin yang sudah cukup lama

Fungsi-fungsi dari distribusi Weibull adalah:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f_{(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left\{ \frac{t}{\theta} \right\}^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (2.28)$$

2. Fungsi Keandalan

$$R_{(t)} = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (2.29)$$

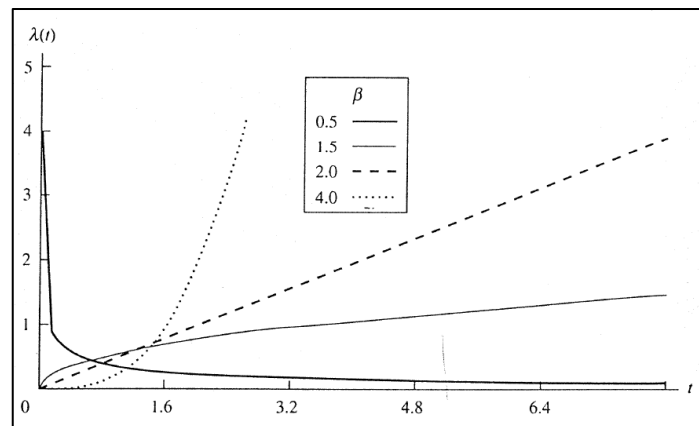
3. Fungsi Distribusi Kumulatif (*Cummulative Distribution Function*)

$$F_{(t)} = 1 - e^{-\left[\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right]} \quad (2.30)$$

#### 4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Function*)

$$h_{(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left\{ \frac{t}{\theta} \right\}^{\beta-1} \quad (2.31)$$

Berikut adalah gambar laju kerusakan distribusi *Weibull* :



Gambar 2. 2 Laju Kerusakan Distribusi *Weibull*  
(Sumber : Ebeling, 1997)

Analisa *Weibull* digunakan untuk memperkirakan probabilitas mesin peralatan yang berdasarkan atas data yang ada seperti diperkirakan oleh *Weibull*. Distribusi ini sangat berguna sekali karena kapabilitas dan sedikit sampelnya, dan kemampuannya dapat menunjukkan bentuk distribusi data yang terbaik.

#### 2.1.7.3. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu. Dengan kata lain, bahwa probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat, yang artinya tidak dipengaruhi umur komponen penyusunnya dan faktor-faktor lain dimasa lalunya. Kerusakan yang terjadi secara acak biasanya akan mengikuti distribusi ini.

Suatu komponen yang mempunyai laju kerusakan konstan atau distribusi umurnya sesuai dengan distribusi eksponensial, mempunyai sifat pelupa. Artinya peluang komponen tersebut akan rusak tidak bergantung pada umur komponen. (komponen baru dan lama mempunyai peluang akan rusak yang sama dalam jangka waktu tertentu).

Distribusi eksponensial sering digunakan dalam berbagai bidang terutama dalam teori keandalan dan sesuai untuk menerangkan kerusakan peralatan yang disebabkan oleh

komponennya. Menurut Ebeling (1997), Parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah  $\lambda$  yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Dengan mengasumsikan  $h(t) = \lambda, t \geq 0, \lambda > 0$ .

Fungsi-fungsi dari distribusi eksponensial adalah:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f_{(t)} = \lambda e^{-\lambda} \quad (2.32)$$

2. Fungsi Keandalan

$$R_{(t)} = e^{-\lambda} \quad (2.33)$$

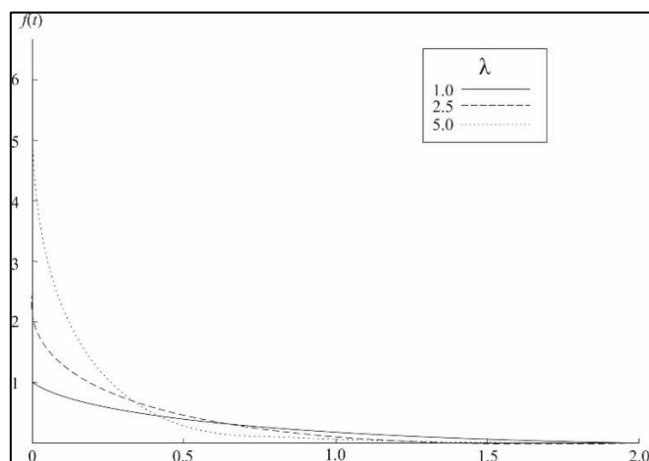
3. Fungsi Distribusi Kumulatif (*Cummulative Distribution Function*)

$$F_{(t)} = 1 - e^{-\lambda} \quad (2.34)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Function*)

$$h_{(t)} = \lambda = \frac{f_{(t)}}{R_{(t)}} \quad (2.35)$$

$\lambda$  adalah parameter distribusi eksponensial, dan  $t$  merupakan waktu mesin ketika mengalami kerusakan dan dilakukan perbaikan. Grafik kerusakan pada distribusi eksponensial dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. 3 Laju Kerusakan Distribusi Eksponensial  
(Sumber : Ebeling, 1997)

#### 2.1.7.4. Distribusi *Lognormal*

Distribusi *Lognormal* merupakan distribusi yang berguna untuk menggambarkan distribusi kerusakan untuk situasi yang bervariasi. Distribusi lognormal banyak digunakan di bidang teknik, khususnya sebagai model untuk berbagai jenis sifat material dan kelelahan material. Distribusi lognormal didefinisikan hanya untuk nilai  $t$  positif sehingga lebih sesuai daripada distribusi normal sebagai distribusi kerusakan (Pratama, 2011).

Fungsi-fungsi dari distribusi lognormal adalah:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f_{(t)} = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\mu}} e^{\left(\frac{-(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (2.36)$$

2. Fungsi Keandalan

$$R_{(t)} = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t - \mu)}{\sigma}\right) \quad (2.37)$$

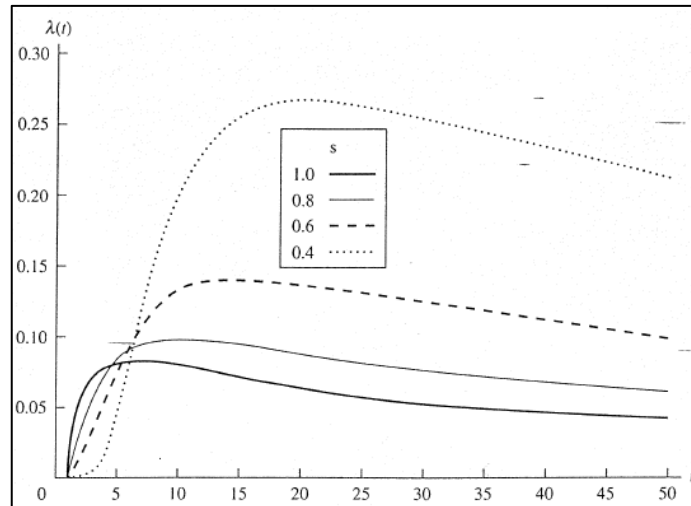
3. Fungsi Distribusi Kumulatif (*Cummulative Distribution Function*)

$$F_{(t)} = \Phi\left(\frac{\ln(t - \mu)}{\sigma}\right) \quad (2.38)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Function*)

$$h_{(t)} = \left(\frac{f_{(t)}}{1 - F_{(t)}}\right) \quad (2.39)$$

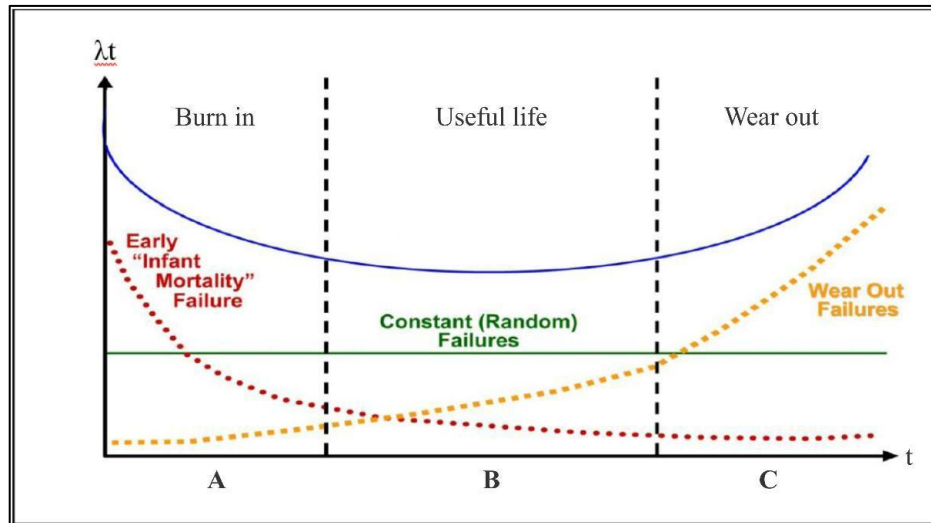
Konsep dasar *reliability* distribusi normal tergantung pada nilai  $\mu$  merupakan mean dari  $\ln(t)$ ,  $\sigma$  merupakan standar deviasi dari  $\ln(t)$ , dan  $\Phi$  adalah fungsi distribusi normal. Berikut adalah gambar laju kerusakan distribusi lognormal.



Gambar 2. 4 Laju Kerusakan Distribusi *Lognormal*  
(Sumber : Ebeling, 1997)

#### 2.1.8. Laju Kerusakan dan Nilai Keandalan

Ebeling (1997) mengemukakan bahwa laju kerusakan atau *failure rate* merupakan laju dimana suatu kerusakan dapat terjadi dalam interval waktu yang ditetapkan. Laju kerusakan dapat dikenal dengan membayangkan sebuah percobaan yang dilakukan, dalam percobaan tersebut dilakukan dalam jumlah yang besar terhadap komponen – komponen yang identik dioperasikan dan waktu untuk gagal setiap komponen dicatat. Perkiraan laju kegagalan setiap komponen untuk titik waktu adalah jumlah *item* yang gagal dalam interval waktu terhadap populasi awal pada waktu operasi dimulai. Maka laju kerusakan merupakan suatu peluang komponen yang akan gagal dalam interval waktu selanjutnya dengan syarat komponen tersebut berfungsi pada interval waktu awal. Percobaan tersebut dapat tergambar pada *bathub curve* seperti di bawah ini :



Gambar 2. 5 *Bathtub Curve*  
(Sumber : Ebeling, 1997)

Keterangan gambar *bathtub curve* :

- a. Merupakan kondisi yang terjadi pada fase awal penggunaan suatu alat, dimana laju kerusakan terus menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Kerusakan yang mungkin ditimbulkan pada fase ini yaitu kerusakan yang diakibatkan oleh kurangnya pengetahuan yang dimiliki oleh operator dalam menggunakan alat tersebut, rendahnya *quality control*, dan lain-lain.
- b. Pada fase ini, kerusakan yang timbul relatif konstan dan salah satu penyebabnya adalah akibat *human error*
- c. Merupakan fase akhir dari penggunaan suatu alat. Fase ini ditandai dengan terjadinya peningkatan kerusakan serta penurunan fungsi dari peralatan tersebut. Pada umumnya, kerusakan yang timbul pada fase ini disebabkan oleh korosi, umur, dan *fatigue* dari alat yang digunakan.

Tabel 2. 2 Penjelasan *Bathtub Curve*  
(Sumber : Ebeling, 1997)

Kondisi	Ditandai Oleh	Disebabkan Oleh	Dikurangi Dengan
<i>Early “Infant Mortality” Failure</i>	<i>Decreasing failure rate (DFR)</i>	Cacat pada manufaktur: cacat pengelasan, adanya keretakan, tidak baiknya <i>quality control</i> , salah pengerjaan.	<i>Screening, burn-in, quality control, acceptance testing.</i>
<i>Constant (Random) Failures</i>	<i>Constant Failure Rate (CFR)</i>	Lingkungan, <i>Human Error</i> , Kebetulan, Kuasa Tuhan	Redunansi, <i>Excess Strength</i>
<i>Wear Out</i>	<i>Increasing Failure Rate (IFR)</i>	Kelelahan, Korosi, Penuaan, Tergerus, Pembebanan Berulang	Penurunan daya mampu (derating), <i>Preventive Maintenance</i> , penggantian <i>sparepart</i> , penggantian teknologi

Konsep pola fungsi laju kerusakan distribusi *Weibull*, Normal, dan *Exponential* yaitu :

1. Fungsi laju kerusakan berdistribusi *Weibull* dengan  $\beta > 1$  dan fungsi laju kerusakan berdistribusi Normal adalah monoton naik.
2. Fungsi laju kerusakan berdistribusi *Weibull* dengan  $\beta = 1$  dan fungsi laju kerusakan berdistribusi *Exponential* adalah monoton tetap.
3. Fungsi laju kerusakan berdistribusi *Weibull* dengan  $\beta < 1$  adalah monoton turun.

Distribusi yang mewakili ketiga fase tersebut adalah distribusi *Weibull*, eksponensial, normal dan lognormal. Berikut adalah perhitungan fungsi laju kerusakan dan keandalan berdasarkan masing – masing dari distribusi statistik :

- a. Distribusi Normal

Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.40)$$



Fungsi laju kerusakan

$$h_{(t)} = \left( \frac{f_t}{1 - f_t} \right) \quad (2.41)$$

b. Distribusi Eksponensial

Fungsi keandalan

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t} \quad (2.42)$$

Fungsi laju kerusakan

$$h_{(t)} = \lambda = \frac{f_{(t)}}{R_{(t)}} \quad (2.43)$$

c. Distribusi *Weibull*

Fungsi keandalan

$$R_{(t)} = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.44)$$

Fungsi laju kerusakan

$$h_{(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left\{ \frac{t}{\theta} \right\}^{\beta-1} \quad (2.45)$$

d. Distribusi Lognormal

Fungsi keandalan

$$R_{(t)} = 1 - F_{(t)} \quad (2.46)$$

Fungsi laju kerusakan

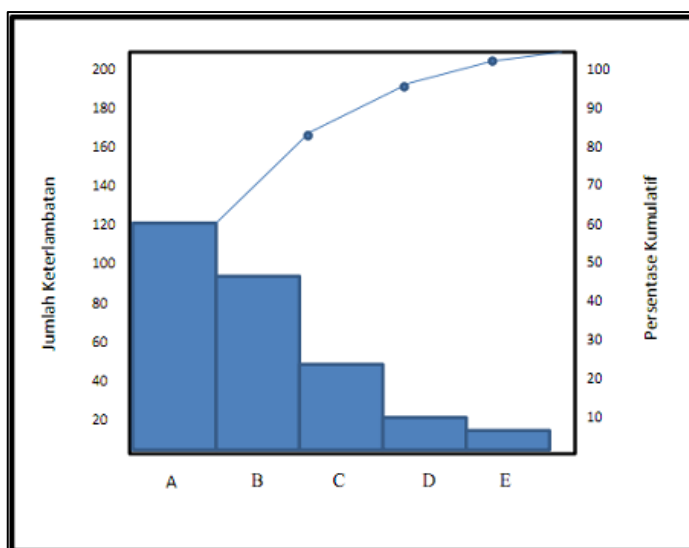
$$h_{(t)} = \left( \frac{f_{(t)}}{1 - F_{(t)}} \right) \quad (2.47)$$

#### 2.1.9. Diagram Pareto (*Pareto Chart*)

Diagram Pareto merupakan digram yang dikembangkan oleh seorang ahli ekonomi yang berasal dari Italia bernama Vilfredo Pareto pada abad ke-19. Diagram Pareto digunakan untuk membandingkan berbagai kategori kejadian yang disusun menurut ukurannya, dari

yang paling besar di sebelah kiri ke yang paling kecil berada di sebelah kanan. Susunan tersebut akan mempermudah dalam menentukan prioritas kategori kejadian – kejadian atau sebab – sebab kejadian yang dikaji atau untuk mengetahui masalah utama dalam prosesnya.

Salah satu prinsip yang digunakan dalam Diagram Pareto adalah prinsip 80-20. Prinsip ini menyatakan bahwa untuk banyak kejadian, sekitar 80 persen daripada akibatnya disebabkan oleh 20% dari penyebabnya (Juran & Godfrey, 1998). Prinsip ini sering digunakan untuk permasalahan manajemen, ekonomi dan bisnis untuk meningkatkan produktivitas dan mengambil keputusan yang baik. Berikut adalah contoh dari Diagram Pareto:

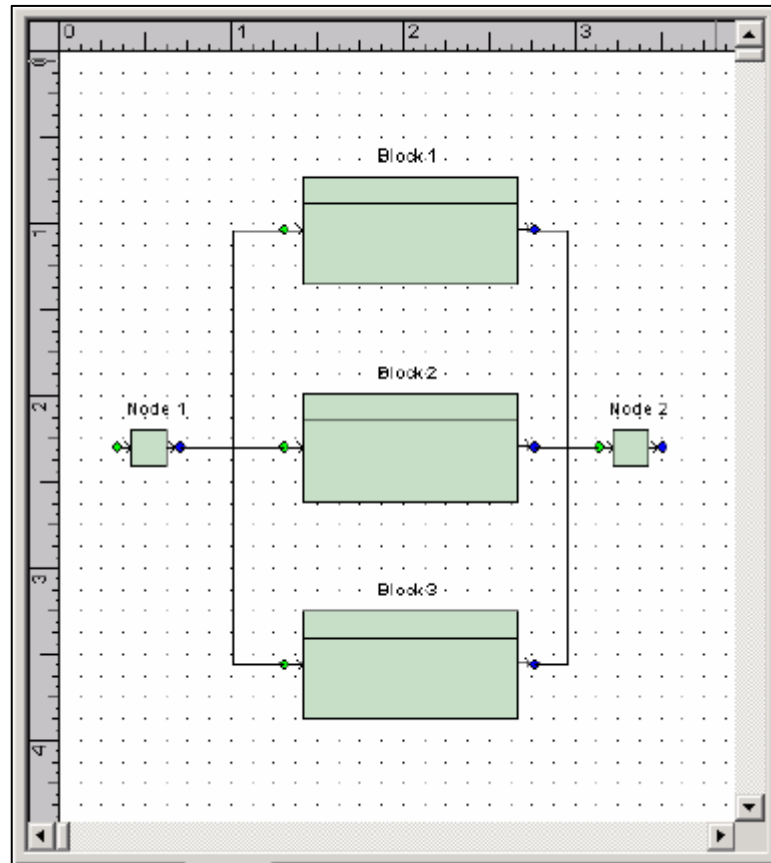


Gambar 2. 6 Diagram Pareto  
(Sumber : Nasution, 2005)

#### 2.1.10. *Reliability Block Diagram*

*Reliability Block Diagram (RBD)*. *Reliability Block Diagram* adalah metode untuk menganalisa keandalan sistem pada sistem besar dan kompleks dengan menggunakan diagram blok sistem (Ebeling, 1997).

Pembuatan *Reliability Block Diagram* dimulai dari menentukan *node* yang ditempatkan pada sisi kiri diagram sebagai *input*. Kemudian dibuat rangkaian seri atau parallel komponen yang berakhir pada *output node* pada sisi kanan diagram. Sebuah diagram hanya terdiri dari satu *input node* dan satu *output node*.



Gambar 2. 7 Rangkaian Paralel

Rangkaian paralel digunakan untuk menunjukkan komponen yang redundan (berulang) atau tergabung dari komponen-komponen yang saling berkaitan. Apabila salah satu komponen yang tergabung dalam sistem paralel rusak, maka sistem masih dapat berfungsi. Tetapi jika seluruh komponen yang tergabung dalam sistem paralel rusak, maka sistem tidak dapat berfungsi. Jadi, jika ada jalur di antara *start node* dan *end node* yang berisi satu atau lebih komponen yang berfungsi, maka seluruh sistem dapat berfungsi.

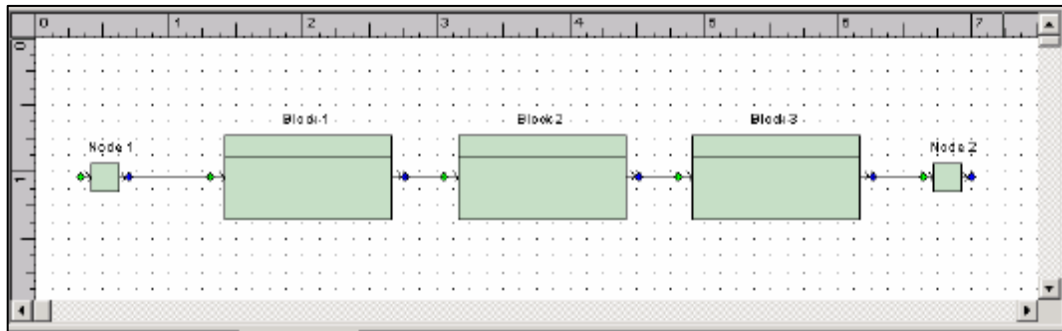
Rumus pada rangkaian paralel adalah:

$$R_p = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)] \quad (2.48)$$

Di mana:

$R_p$  = RBD paralel

$R_1, R_2, R_n$  = Reliability Komponen



Gambar 2. 8 Rangkaian Seri

Rangkaian seri merupakan suatu rangkaian yang berkelanjutan (*continuous link*) dari *start node* hingga *end node*.

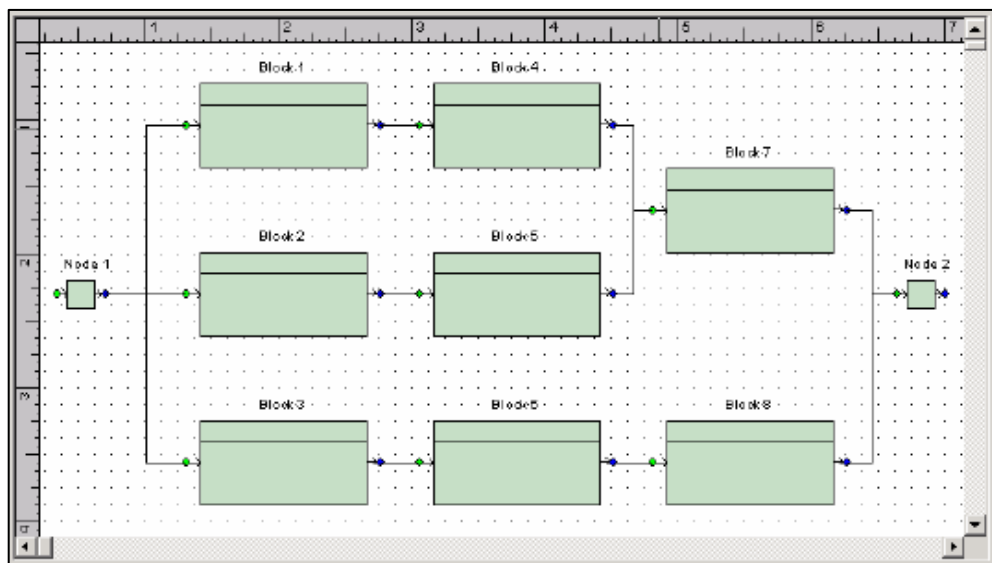
Rumus pada rangkaian seri adalah:

$$R_s = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \quad (2.49)$$

Di mana:

$R_s$  = RBD seri

$R_1, R_2, R_n$  = Reliability Komponen



Gambar 2. 9 Rangkaian Gabungan

Sebuah sistem dapat terdiri dari rangkaian seri, parallel atau gabungan dari rangkaian seri dan parallel.

## 2.2 Kajian Induktif

Dalam penulisan sebuah penelitian, dibutuhkan beberapa sumber yang dijadikan acuan dalam penelitian yang dilakukan. Penelitian terdahulu digunakan sebagai pembandingan dalam penelitian, maksudnya adalah penelitian terdahulu menunjukkan perbedaan dari penelitian yang sejenis.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Aldi Alpiandi (2019) mengenai upaya *preventive maintenance* terhadap unit produksi CPL dan CTM menggunakan *Reliability Centered Maintenance*. Tujuannya yaitu mengidentifikasi fungsi, kegagalan fungsi, penyebab dan dampak kegagalan pada komponen kritis pada mesin CPL dan CTCM serta menentukan upaya aktivitas perawatan yang tepat beserta usulan interval waktu aktivitas perawatannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan identifikasi dengan FMEA, didapatkan 9 komponen kritis yang menjadi objek pengamatan, 19 kegagalan fungsi, mode kegagalan dan dampak kegagalan pada komponen kritis yang menjadi fokus perhitungan. Kemudian, hasil analisis RCM II menunjukkan bahwa terdapat 5 mode kegagalan yang dapat ditangani oleh Schedule On-Condition dengan total interval waktu usulan sebesar 50.285 menit, 7 mode kegagalan yang dapat ditangani oleh Schedule Restoration dengan total interval sebesar 126.100 menit, dan 7 mode kegagalan yang dapat ditangani oleh Failure Finding Interval dengan total interval sebesar 63.933 menit.

Penelitian yang dilakukan oleh Langga dan Sabri (2019) mengenai analisa keandalan Pompa Sentrifugal PDAM menggunakan ANOVA dan *Reliability Block Diagram* (RBD). Tujuan penelitiannya yaitu mengidentifikasi kegagalan yang terdapat pada pompa sentrifugal dan melihat apakah kerusakan yang terjadi dapat dikurangi atau tidak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 6 kegagalan pada komponen yang ada pada pompa sentrifugal. Nilai keandalan sistem pada pompa tersebut adalah sebesar 53.52% jika digunakan selama 200 jam operasi, 39.16% selama 300 jam operasi, 28.65% selama 400 jam operasi, dan 20.96% jika digunakan selama 500 jam.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Arifin dkk. (2017) mengenai upaya *Preventive Maintenance* pada system *Utility*. Tujuan dari penelitiannya adalah mencegah terjadinya kerusakan mesin dengan penjadwalan *preventive maintenance*, mengoptimalkan kinerja mesin dan memperoleh biaya perawatan yang efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen TF (*Traveling Screen*) memiliki nilai RPN (*Risk Preference Number*) sebesar 336 berdasarkan hasil analisa FMEA, sedangkan

berdasarkan hasil perhitungan reliability, komponen SWRO (*Sea Water Reverse Osmosis*) memiliki nilai keandalan sebesar 0,76 dan nilai keandalan sistem sebesar 0,28. Berdasarkan hasil perhitungan jadwal baru, SWRO disarankan melakukan pemeliharaan sesuai pendekatan sistem dinamik pada waktu operasi 565 jam, sedangkan TF (Traveling Screen) pada waktu operasi 1477 jam.

Penelitian yang dilakukan oleh Sujatman dkk. (2016) mengenai *Performance Assessment* berbasis *Reliability* terhadap mesin Cincinnati Milacron yang berada di Direktorat *Aerostructure* PT. Dirgantara Indonesia. Dengan menggunakan RAM *Analysis*, COUR, dan RBD, sistem memiliki nilai *reliability* adalah 31% dan *maintainability* sebesar 99.60%. Selain itu, biaya yang disebabkan oleh ketidakhandalan sistem sebesar \$11,256.92 berdasarkan *active repair time*, dan \$19,301.95 berdasarkan *downtime*.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Budiman dkk. (2014) mengenai analisa reliabilitas pada system *Straight Run Motor-Gas Compressor*. Tujuannya adalah mengetahui keandalan pada unit serta failure modes yang terjadi pada sistem untuk mendapatkan strategi maintenance yang optimal. Hasil perhitungan manual menunjukkan nilai reliabilitas keseluruhan yaitu sebesar 0.828, kemudian di-validasi dengan menggunakan *software* BlockSim 8 dengan hasil 0,838. Peningkatan keandalan terhadap FM 4 akan meningkatkan keandalan secara keseluruhan.

Berikut adalah tabel *State of the Art* perbandingan dari penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan:

Tabel 2. 3 *State of the Art* Penelitian

No.	Penulis	Tahun	Masalah	Metode yang digunakan
1	Aldi Alpiandi	2019	Terjadi <i>downtime</i> pada mesin <i>Continuous Pickling Line</i> dan <i>Continuous Tandem Cold Mill</i> lebih dari 20% atau setara dengan 230 jam <i>downtime</i> yang menyebabkan kerugian <i>delay cost</i> sebesar 6,75 miliar rupiah.	<i>Failure Mode &amp; Effect Analysis</i> (FMEA) & II
2	K. D. Langga, M. Sabri	2019	Pompa sentrifugal yang digunakan di PDAM beroperasi hampir 24 jam untuk mendistribusikan air, sehingga kerusakan - kerusakan yang timbul tidak dapat dihindari.	ANOVA dan <i>Reliability Block Diagram</i> (RBD)
3	M. Z. Arifin, E. Haryono, N. Arumsari	2017	Perawatan yang diterapkan pada sistem <i>utility</i> yang terdapat pada kilang minyak dirasa tidak cocok karena sistem ini bekerja secara terus menerus, sehingga dapat mengganggu proses produksi perusahaan dan dapat memicu kerugian akibat produksinya terhenti.	<i>Fault Tree Analysis</i> (FTA), <i>Failure Mode &amp; Effect Analysis</i> (FMEA)
4	E. S. Sujatman, F. T. D. Atmaji, N. A. Supratman	2016	Sering terjadi kegagalan produksi atau kerusakan pada mesin <i>Cincinnati Milacron</i> yang berada di Direktorat <i>Aerostructure</i> dikarenakan mesin yang digunakan rata - rata sudah berumur sangat tua dan terus menerus digunakan.	RAM <i>Analysis</i> , <i>Cost of Unreliability</i> , <i>Reliability Block Diagram</i> (RBD)
5	H. Budiman, I. Rizki M., Y. Whulanza, Warjito	2014	Ketidakhandalan <i>Compressor</i> yang terdapat pada <i>Crude Installation Unit</i> yang berakibatkan loss produksi yang sangat mahal.	<i>Fault Tree Analysis</i> (FTA), <i>Failure Mode</i> , <i>Reliability Block Diagram</i> (RBD)
6	Usulan	2019	Terjadi <i>downtime</i> pada mesin <i>Continuous Tandem Cold Mill</i> sebesar 320 jam yang mengakibatkan kehilangan waktu produksi yang besar.	<i>Reliability Block Diagram</i>

Berdasarkan kajian induktif dengan membandingkan penelitian yang akan dilakukan saat ini dengan beberapa jurnal penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini memiliki perbedaan dengan jurnal yang dikaji, baik dari metode penelitian yang digunakan, objek pada penelitian yang dilakukan, dan latar belakang masalah yang timbul pada setiap penelitian tersebut. Sehingga, penelitian dengan latar belakang terjadinya *downtime* yang sangat besar pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* sebesar 320 jam, dan menggunakan metode *Reliability Block Diagram* untuk menganalisa keandalan dari unit produksi tersebut dapat dilakukan.



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Rancangan Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif karena penelitian ini menggunakan angka-angka sebagai data masukkan. Dikatakan metode kuantitatif sebab pendekatan yang digunakan di dalam usulan penelitian, proses, hipotesis, turun ke lapangan, analisa data dan kesimpulan data sampai dengan penulisannya menggunakan aspek pengukuran dan kepastian data numerik. Metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan (Sugiyono, 2012).

Penelitian kuantitatif merupakan upaya mengukur variabel-variabel yang ada dalam penelitian untuk kemudian dicari bagaimana korelasi atau hubungan antara variabel tersebut. Pendekatan secara kuantitatif mementingkan adanya variabel-variabel sebagai objek penelitian dan variabel-variabel tersebut harus didefinisikan dalam bentuk operasionalisasi variabel masing-masing. Realibilitas dan validitas merupakan syarat yang harus dipenuhi dalam menggunakan pendekatan ini karena kedua elemen tersebut akan menentukan kualitas penelitian. Berdasarkan keterangan dari beberapa ahli di atas, dapat disimpulkan bahwa penelitian kuantitatif merupakan kegiatan untuk memperoleh data yang bersifat numerik dimana data tersebut menunjang dalam penyelesaian masalah dalam penelitian.

Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode penelitian kuantitatif karena penelitian ini berdasarkan data-data *downtime* yang terjadi pada mesin yang diperoleh dari pihak perusahaan yang kemudian nantinya data – data tersebut akan digunakan dalam

perhitungan keandalan dari mesin tersebut beserta rekomendasi untuk meningkatkan keandalan mesin yang diteliti

### 3.2. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah hal yang menjadi sasaran penelitian (Kamus Besar Bahasa Indonesia; 1989 : 622). Objek penelitian yaitu suatu atribut atau sifat atau nilai dari orang, objek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2012).

Dalam penelitian ini yang menjadi objek penelitian merupakan mesin *Continuous Tandem Cold Mill*, departemen *Cold Rolling Mill* di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk berlokasi di Kawasan Industri Krakatau Steel, Cilegon, Banten. *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) merupakan proses reduksi strip baja sesuai ketebalan yang ditentukan dengan cara proses tarik dan tekan perlakuan dingin. Kapasitas dari mesin CTCM adalah 907.346 ton per tahun.

### 3.3. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan informasi atau data yang diperlukan pada penelitian ini adalah:

1. Metode kepustakaan/studi pustaka

Metode kepustakaan adalah metode pengumpulan data dengan cara menggunakan buku, jurnal, paper, prosiding atau referensi lainnya yang berkaitan dengan topik yang sedang dibahas. Dalam hal ini, peneliti memperoleh data dengan membaca literature yang terkait dengan pemeliharaan dan perawatan, *reliability*, dan metode *Reliability Block Diagram*.

2. Metode observasi

Metode ini dilakukan dengan melakukan pengumpulan data dan informasi secara langsung terhadap objek penelitian. Dalam penelitian ini, metode tersebut digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai mesin CTCM beserta cara kerja mesin tersebut, serta data *downtime* dari mesin CTCM yang ada pada pabrik *Cold Rolling Mill* di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk.

### **3.4. Pengumpulan Data**

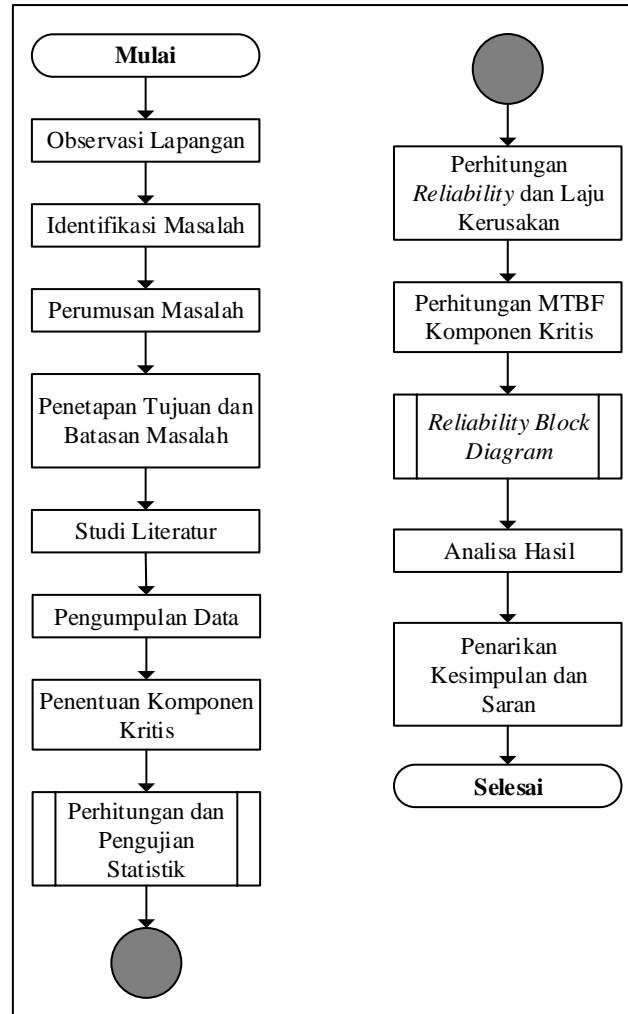
Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini yaitu data *downtime* yang terjadi pada mesin *Continuous Tandem Cold Mill* yang ada pada pabrik *Cold Rolling Mill* di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk. Data *downtime* yang akan digunakan adalah mulai dari bulan Januari tahun 2019 hingga Oktober tahun 2019.

### **3.5. Metode Pengolahan Data**

Pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan *Reliability Block Diagram*. Metode *Reliability Block Diagram* digunakan untuk menentukan komponen kritis dari mesin atau unit yang diteliti beserta nilai keandalan dari komponen kritis tersebut. Nilai keandalan tersebut diperoleh berdasarkan data *downtime* yang terjadi pada mesin CTCM di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk.

### **3.6. Alur Penelitian**

Alur penelitian mendeskripsikan tentang gambaran keseluruhan penelitian yang dilakukan secara sistematis. Berikut adalah diagram alur (*flowchart*) dari penelitian yang dilakukan saat ini :



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

Berdasarkan gambar 3.1, alur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Observasi Lapangan

Tahapan ini dilakukan untuk mengamati dan memahami kondisi nyata di lapangan sebagai objek penelitian dan mendapatkan informasi awal yang akan digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

2. Identifikasi Masalah

Tahap ini dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan yang ada berdasarkan hasil observasi lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa keandalan sistem pada unit produksi CTCM dan memberikan rekomendasi perbaikan yang dapat diberikan untuk meningkatkan keandalan sistem pada unit produksi tersebut.

### 3. Perumusan Masalah

Setelah identifikasi masalah dilakukan, kemudian dilakukan perumusan masalah agar penelitian terfokus untuk menyelesaikan masalah yang didapatkan dari hasil observasi.

### 4. Penetapan Tujuan dan Batasan Masalah

Tahap ini berkaitan dengan tahap perumusan masalah dikarenakan tujuan yang ditetapkan harus berdasarkan rumusan masalah sebagai acuan dalam penarikan kesimpulan pada penelitian. Selain tujuan, batasan masalah ditetapkan untuk membuat penelitian lebih terfokus terhadap masalah yang ingin diselesaikan.

### 5. Studi Literatur

Tahapan ini merupakan tahapan tentang mempelajari dan mencari literatur dan referensi dengan kajian deduktif sebagai teori-teori yang menunjang penelitian berlangsung serta kajian induktif dengan membandingkan posisi penelitian yang sedang dilakukan dengan beberapa penelitian terdahulu. Kajian deduktif yang digunakan meliputi keandalan dan *Reliability Block Diagram*.

### 6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan pada objek penelitian berdasarkan sumber dan jenis data dengan teknik pengumpulan data yang sudah dijelaskan pada subbab sebelumnya.

### 7. Penentuan Komponen Kritis

Setelah data dikumpulkan, kemudian data tersebut dituangkan ke dalam Diagram *Pareto* untuk mengetahui komponen mana sajakah yang termasuk ke dalam komponen kritis dalam objek yang diteliti (dalam hal ini, objeknya adalah unit produksi CTCM).

### 8. Perhitungan dan Pengujian Statistik

Tahapan ini dilakukan setelah komponen kritis, kemudian dihitung dan diuji statistik yang akan dijabarkan pada *flowchart* berikutnya.

### 9. Perhitungan *Reliability* dan Laju Kerusakan

Pada tahapan ini, perhitungan dilakukan berdasarkan distribusi terpilih dari komponen yang terdapat pada mesin untuk mengetahui fungsi keandalan secara matematis dan menggambarkan laju kerusakannya. Setiap distribusi statistik memiliki karakteristik laju kerusakan yang berbeda.

#### 10. Perhitungan MTBF dan *Reliability* pada Komponen Kritis

Tahapan ini merupakan tahap perhitungan rata-rata waktu kerusakan dan keandalan pada komponen kritis yang terdapat pada mesin yang nantinya digunakan untuk menghitung keandalan keseluruhan (keandalan sistem).

#### 11. *Reliability Block Diagram*

Tahapan ini merupakan tahapan penentuan diagram blok pada unit produksi CTCM beserta perhitungan nilai keandalan secara matematis pada kondisi awalan dan usulan yang akan dibahas pada *flowchart* selanjutnya.

#### 12. Analisa Hasil

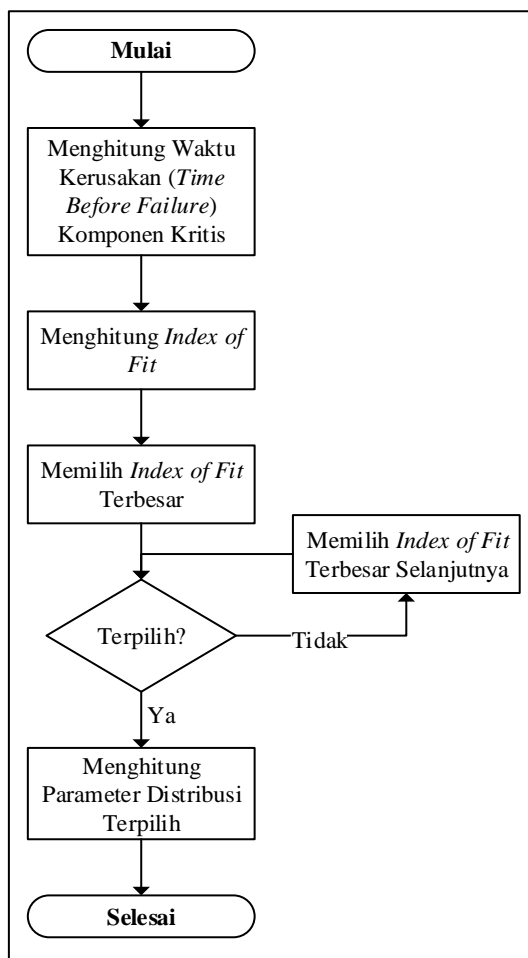
Tahapan ini merupakan analisa dari hasil pengolahan dan perhitungan data *downtime* unit produksi CTCM yang menggunakan *Reliability Block Diagram* untuk nilai *reliability* pada sistem nyata dan nilai *reliability* usulan serta memberikan rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan oleh perusahaan agar dapat meningkatkan keandalan unit produksi CTCM

#### 13. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Tahapan ini menjawab rumusan masalah yang sudah dirumuskan dalam penelitian ini. Kesimpulan dan saran yang dipaparkan dalam penelitian ini dapat menjadi referensi bagi perusahaan untuk meningkatkan kinerja di pabrik CRM dalam penjadwalan perawatan dan dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya agar dapat jauh lebih baik lagi.

Berdasarkan *flowchart* penelitian di atas, terdapat tiga entitas yang menggunakan simbol sub-proses, yang artinya di dalam entitas tersebut terdapat proses-proses yang dijelaskan pada alur terpisah. Berikut adalah alur proses yang terdapat pada entitas-entitas tersebut:

## 1. Perhitungan dan Pengujian Statistik



Gambar 3. 2 Flowchart Perhitungan dan Pengujian Statistik

Flowchart di atas merupakan alur proses perhitungan dan pengujian statistik terhadap komponen kritis yang sebelumnya diperoleh dari Diagram Pareto. Berikut adalah tahapan dari alur perhitungan dan pengujian statistik:

a. Menghitung Waktu Kerusakan (*Time Before Failure*) Komponen Kritis

Tahapan ini merupakan perhitungan waktu kerusakan dari komponen kritis yang didapat berdasarkan hasil pemetaan dari Diagram Pareto. *Time Before Failure* merupakan waktu antar kerusakan yang merupakan selisih waktu yang dihitung dari awal mesin terjadi kerusakan hingga terjadi kerusakan selanjutnya.

b. Menghitung *Index of Fit*

Tahapan ini dilakukan setelah menghitung *Time Before Failure* dari komponen kritis untuk memperoleh nilai estimasi terhadap distribusi statistik. Perhitungan manual yang dilakukan di tahap ini adalah *Least-square curve fitting* untuk

memperoleh nilai estimasi berdasarkan distribusi Normal, *Lognormal*, Eksponensial, dan distribusi *Weibull*.

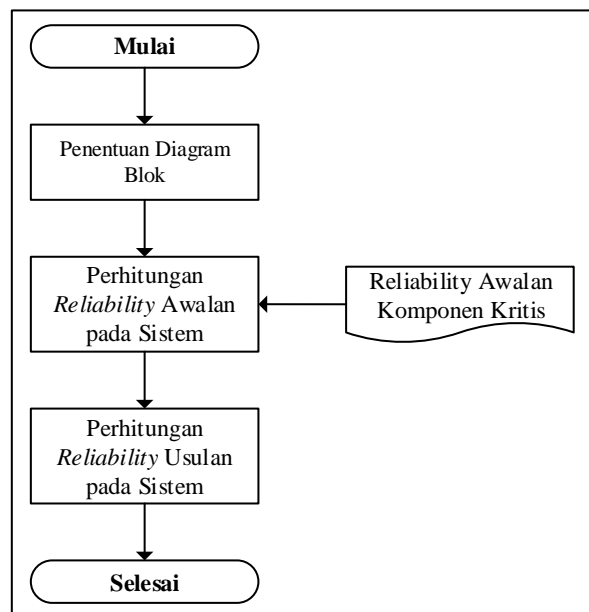
c. Memilih *Index of Fit* Terbesar

Pada tahapan ini, dari hasil perhitungan *Index of Fit* yang diperoleh, kemudian dilakukan uji *Goodness of Fit*. Pengujian manual dalam tahapan ini adalah uji Kolmogorov-Smirnov untuk Distribusi Normal dan *Lognormal*, uji *Mann Test* untuk distribusi *Weibull*, dan uji *Barlett* untuk distribusi Eksponensial. Jika nilai *Index of Fit* itu terpilih (berdasarkan hasil uji), maka dilanjutkan ke perhitungan parameter distribusi terpilih. Tetapi jika tidak, maka memilih ulang nilai *Index of Fit* terbesar lainnya jika yang pertama tidak terpilih.

d. Menghitung Parameter Distribusi Terpilih

Setelah distribusi terpilih, maka selanjutnya dilakukan perhitungan estimasi parameter untuk masing – masing distribusi yang nantinya digunakan untuk perhitungan *reliability* dan laju kerusakan komponen.

## 2. *Reliability Block Diagram*



Gambar 3. 3 *Flowchart Reliability Block Diagram*

*Flowchart* di atas merupakan alur proses *Reliability Block Diagram* yang meliputi penentuan Diagram Blok dan perhitungan *reliability* system keseluruhan dari kondisi awalan dan perhitungan untuk kondisi usulan. Berikut adalah tahapan dari proses *Reliability Block Diagram*:



a. Penentuan Diagram Blok

Tahap ini merupakan tahap penentuan diagram blok untuk mesin *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM). Penentuan ini berdasarkan keterkaitan antar komponen kritis pada mesin tersebut. Keterkaitan tersebut dibagi menjadi 2 rangkaian, yaitu rangkaian seri dan rangkaian parallel tergantung keadaan mesin di tempat penelitian.

b. Perhitungan *Reliability* Awalan pada Sistem

Pada tahapan ini, perhitungan *reliability* kondisi awalan pada system berdasarkan komponen kritis yang dirangkai sesuai dengan keterkaitan antar komponen lainnya yang terdapat pada mesin tersebut.

c. Perhitungan *Reliability* Usulan pada Sistem

Perhitungan *reliability* usulan dilakukan oleh peneliti berdasarkan dari usulan kehandalan yang didasari dari hasil perhitungan *reliability* kondisi awalan pada sistem.

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1. Gambaran Umum Perusahaan

##### 4.1.1. Sejarah Singkat Perusahaan

PT Krakatau Steel (Persero) Tbk merupakan industri baja *steel* terbesar di Indonesia yang perkembangannya diawali dengan munculnya gagasan tentang perlunya industri baja di negara berkembang seperti Indonesia oleh Menteri Perindustrian & Pertambangan Chaerul Saleh dan Dirjen Biro Perancang Negara Ir. H. Juanda. Pembangunan pabrik baja Cilegon merupakan salah satu realisasi dari persetujuan pokok kerja sama dalam lapangan ekonomi dan teknik antara pemerintah Indonesia dengan pemerintah Uni Soviet yang ditanda tangani tanggal 15 September 1956. Pembentukan Team Proyek Besi Baja, dikepalai Drs. Soetjipto dibantu Ir.A. Sayoeti, Ir. Tan Boen Liam, dan RJK Wiriasoeganda. Penelitian sumber bijih besi di Kalimantan dipimpin RJK Wiriasuganda, bekerja sama Konsultan Jerman Barat WEDEXRO (*West Deutche Ingenieur Bureau*) yang dipimpin DR. Walter Rohland.

Pada tahun 1959, pemerintah melalui Menteri Deperdatam memutuskan Cilegon sebagai lokasi pabrik baja kapasitas produksi baja 100.000 ton/tahun, menggunakan proses Tanur Siemens Martin (*Open Hearth Furnace*), dengan pertimbangan :

1. Bahan baku 70% *scrap* dan 30% *pig iron* (Lampung).
2. Air dari daerah Cidanau (Cinangka).
3. Pelabuhan Merak.

Tahun 1960 ditandatangani kontrak pembangunan Pabrik Baja Cilegon antara Republik Indonesia dengan *All Union export-import Corporation (Tjazzpromex Pert) of Moscow* dengan kontrak No. 080 tanggal 7 Juni 1960. Peresmian pembangunan Proyek Besi Baja Trikora Cilegon di area  $\pm$  616 Ha pada tanggal 20 Mei 1962, dan berdasarkan Ketetapan MPRS No. 2/1960 proyek diharuskan selesai sebelum tahun 1968. Penetapan status Proyek Besi Baja Trikora Cilegon menjadi Proyek Vital berdasarkan Keputusan Presiden RI No. 123 Tahun 1963 tanggal 25 Juni 1963. Proyek ini terhenti total pada tahun 1965 karena krisis politik (pemberontakan G30S/PKI), yang kemudian diikuti dengan merosotnya secara drastic perekonomian Indonesia. Hal ini ikut mempengaruhi hubungan Indonesia – Uni Soviet yang akhirnya setelah melalui pertimbangan yang cukup matang, pemerintah Indonesia menunda penyelesaian pembangunan Proyek Besi Baja Trikora untuk sementara waktu.

Pada awal tahun 1970 pemerintah Indonesia kembali mengadakan survei lapangan tentang kelanjutan pembangunan Proyek Besi Baja Trikora. Dari hasil survei tersebut disimpulkan bahwa pembangunan Proyek Besi Baja Trikora akan dilanjutkan tetapi Proyek Besi Baja Trikora berubah menjadi bentuk Perseroan Terbatas (PT) berdasarkan Instruksi Presiden Republik Indonesia nomor 17 tanggal 28 Desember 1967. Keputusan akan dilanjutkannya pembangunan perusahaan didasarkan pada pertimbangan bahwa kondisi mesin-mesin pabrik yang ada masih dapat dimanfaatkan, diamping kebutuhan akan besi baja di dalam negeri setiap tahunnya semakin meningkat.

PT Krakatau Steel (Persero) Tbk resmi berdiri berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 35 tanggal 31 Agustus 1970 tentang Penyertaan Modal Negara Republik Indonesia untuk Pendirian Perusahaan Perseroan (Persero) PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, dengan maksud dan tujuan untuk menyelenggarakan penyelesaian pembangunan Proyek Baja Trikora serta mengembangkan industri baja dalam arti luas seperti pabrik kawat baja, pabrik baja tulangan, dan pabrik baja profil.

Pembangunan PT Krakatau Steel (Persero) Tbk tahap I dengan kapasitas produksi 0,5 Juta ton/tahun berdasarkan Keppres nomor 30 tanggal 27 Agustus 1975. Tanggal 27 Juli 1977 Presiden Soeharto meresmikan Pabrik Besi Beton, Pabrik Besi Profil, dan Pelabuhan Khusus Cigading PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, disusul kemudian Peresmian Pabrik Besi Spons model Hylsa (50%), Pabrik Bilet Baja, *Wire Rod*, PLTU 400 MW, dan Pusat Penjernihan Air (kapasitas 2000 liter/detik) serta KHI Pipe oleh Presiden Soeharto tanggal 9 Oktober 1979.

Selesainya pembangunan tahap II ditandai pada tanggal 24 Februari 1983 Presiden Soeharto meresmikan Pabrik Slab Baja, *Hot Strip Mill*, dan Pabrik Besi Spons unit 2 PT Krakatau Steel (Persero) Tbk. Sementara pembangunan pada tahap III dilakukan dengan adanya pembangunan enam anak perusahaan berupa pabrik kimia (PT Hoecthts Cilegon Kimia), pabrik mesin perkakas (PT Industri Perkakas Indonesia), pabrik baja dan plat timah (PT Latinusa), pabrik baja fabrikasi (PT Garuda Mahakam Prahasta), pabrik baja lembaran dingin (*Cold Rolling Mill*) dan pabrik baja H-Beam (PT Cigading H-Beam Centre).

Dalam upaya peningkatan kualitas dan efisiensi produksi maka dilakukan penggabungan usaha (merger) PT *Cold Rolling Mill* Indonesia Utama (PT CRMIU) dan PT Krakatau Baja Permata (PT KBP) menjadi unit operasi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, tanggal 1 Oktober 1991 (CRM didirikan 23 Februari 1983, dan diresmikan 1987) serta PT *Cold Rolling Mill* Indonesia Utama (PT CRMIU) dan PT Krakatau Baja Permata (PT KBP) menjadi unit operasi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, tanggal 1 Oktober 1991. Sejak dari awal tahun, kemampuan teknis PT Krakatau Steel (Persero) Tbk yang tinggi sudah diakui menurut standar internasional. Bahkan pada 1973, Perusahaan sudah memperoleh sertifikat ASTM A252 dan AWWA C200, serta pada 1977 memperoleh sertifikat API 5L untuk produksi pipa spiral. Sertifikat ISO 9001 diperoleh PT Krakatau Steel (Persero) Tbk (Persero) pada 1993 dan telah ditingkatkan menjadi ISO 9001:2000 pada tahun 2003. Sementara itu, SGS (*societe generale de surveillance*) *International* memberikan sertifikat ISO 14001 pada 1997 atas komitmen perusahaan pada kesadaran lingkungan dan keselamatan kerja.

#### 4.1.2. Visi & Misi

1. Visi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk :

“Perusahaan baja terpadu dengan keunggulan kompetitif untuk tumbuh dan berkembang secara berkesinambungan menjadi perusahaan terkemuka di dunia”

2. Misi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk :

“Menyediakan produk baja bermutu dan jasa terkait bagi kemakmuran bangsa”.

PT Krakatau Steel (Persero) Tbk menerapkan sistem kendali mutu yang ketat dan selalu berusaha meningkatkan kualitas produknya serta ketepatan dalam pengiriman barang kepada pelanggan. Terbukti dengan sistem manajemen mutu produk PT Krakatau Steel (Persero) Tbk telah diakui secara nasional maupun internasional. Selain itu juga dibuktikan dengan diperolehnya berbagai sertifikasi mutu produk seperti ISO 9002, JIS, dan standar SII. Disamping itu pula sistem manajemen mutu lingkungan PT Krakatau Steel (Persero) Tbk juga telah mendapat pengakuan secara nasional maupun internasional yaitu dengan diperolehnya standar ISO 14001 mengenai standar manajemen mutu lingkungan.

## **4.2. Pengumpulan Data**

### **4.2.1. Profil Singkat *Cold Rolling Mill***

*Cold Rolling Mill* (CRM) adalah bagian dari PT Krakatau Steel (Persero) Tbk yang berdiri pada tanggal 19 Februari 1983 dengan nama PT *Cold Rolling Mill* Indonesia Utama (CRMIU). Luas Pabrik adalah 101.392 m<sup>2</sup> di atas tanah yang luasnya 400.000 m<sup>2</sup>. Peletakan batu pertama untuk pabrik CRM adalah pada tanggal 14 Februari 1984 oleh menteri Perindustrian Indonesia, Ir. Hartanto dan diresmikan oleh Presiden Soeharto pada tanggal 23 Februari 1987 sebagai pabrik baja lembaran dingin pertama yang terdapat di Indonesia.

Awal terealisasinya pabrik ini dapat berdiri atas kerjasama tiga perusahaan induk, yaitu PT Krakatau Steel (Persero) Tbk (40%), PT Kaulin Indah (40%), dan salah satu lagi perusahaan asing yang berasal dari Prancis SestiCIE (20%). Salah satu tujuannya untuk memenuhi kebutuhan akan lembar baja tipis yang setiap tahun terus meningkat. Adapun Visi dan Misi Pabrik *Cold Rolling Mill* adalah :

1. Visi *Cold Rolling Mill Plant* :  
”Menjadikan Cold Rolling Mill mampu menjadi kinerja unggul”.
2. Misi *Cold Rolling Mill Plant* :  
”Memberdayakan kemampuan seluruh karyawan untuk bersinergi demi kepuasan pelanggan”.

Pabrik ini diselesaikan tahun 1986 dengan menggunakan teknologi CLECIM dari Perancis. Pabrik Pengerolan Baja Lembaran Dingin atau *Cold Rolling Mill* (CRM) merupakan pabrik yang menghasilkan baja lembaran tipis seperti divisi HSM, tetapi hasil produksinya berdimensi lebih tipis, dengan proses tarik dan tekan yang merupakan pemrosesan lanjutan dari baja produksi HSM. Pabrik CRM memiliki proses pendinginan pada tandem *Cold Reduction Mill* sampai dengan 92% dari ukuran ketebalan semula dari HSM. Proses awal sebelum di tipiskan, baja slab harus dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan tangki yang berisi dengan HCl, dan kemudian dilakukan proses pemanasan dengan menggunakan BAF dan CAL hingga menghasilkan produk yang diinginkan sesuai permintaan konsumen (*make to order*).

#### 4.2.2. Hasil Produksi *Cold Rolling Mill*

*Output* utama dari pabrik CRM ini ada 2 macam produk baja, yaitu:

1. CRC (*cold roll coil*) yang bentuk akhirnya berupa gulungan baja.
  2. CRS (*cold roll sheet*) yang bentuk akhirnya berupa lembaran – lembaran.
- Jika berdasarkan ukurannya, *output* CRM bisa dibagi menjadi 3 bagian yaitu:
1. *Lite*, yaitu baja dengan ukuran ketebalan  $\leq 0,2$  mm dengan kapasitas produksi 500 ton / *shift*.
  2. *Medium*, yaitu baja dengan ukuran ketebalan 0,21 – 0,59 mm dengan kapasitas produksi 700 ton / *shift*.
  3. *Heavy*, yaitu baja dengan ukuran ketebalan  $\geq 0,6$  mm ke atas dengan kapasitas produksi 1300 ton / *shift*.

Pembuatan produk akhir CRM ini tergantung pada *demand*/permintaan konsumen, jadi tidak tetap perbulannya jumlah CRC dan CRS yang akan diproduksi. Selain itu, tidak semua *output* akhir CRM harus melewati keseluruhan unit proses produksi yang ada di CRM, karena setiap *quality code* mempunyai *flow*/alur proses masing-masing. Ada produk yang setelah di proses di CPL lalu masuk ke CTCM, setelah itu masuk ke dalam *warehouse* (*finished good*) dan siap untuk dijual atau dikirim ke konsumen dan ada pula yang masuk ke CPL lalu ke TCM, BAF, TPM, PRP baru kemudian masuk ke *warehouse* (*finished good*).

#### 4.2.3. *Continuous Tandem Cold Mill (CTCM)*

*Continuous Tandem Cold Mill*, atau CTCM merupakan salah satu unit produksi yang ada di pabrik CRM PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk yang berfungsi untuk mereduksi ketebalan lembaran baja sesuai dengan pesanan yang diinginkan konsumen dan permukaan yang halus dan padat dengan perlakuan dingin, serta dapat memunculkan kembali sifat mekanik yang dapat dikontrol. Pada unit produksi ini terdapat 5 mesin penipis yang memiliki kekuatan tekanan penipisan serta tegangan listrik yang berbeda. Mesin pertama yang digunakan untuk menipiskan lembaran besi memiliki kekuatan penipisan yang kuat dan semakin lama tekanan mesin yang diberikan kepada lembaran besi akan semakin kecil. Keuntungan dari poses penipisan pada CTCM adalah :

1. Mutu *coil* yang didapatkan akan lebih baik, karena seluruh proses reduksi ketebalan baja dilakukan langsung pada satu proses.
2. Pembebanan kerja yang lebih optimal pada alat pemutar rol pada masing-masing unit pengerolan, karena setiap unit hanya diproses untuk ketebalan tertentu.
3. Penambahan dan pengurangan kecepatan pada setiap *coil*-nya hanya dilakukan satu kali saja, karena mengurangi atau menambah kecepatan yang dilakukan berulang kali dapat menyebabkan putusnya lembaran baja.

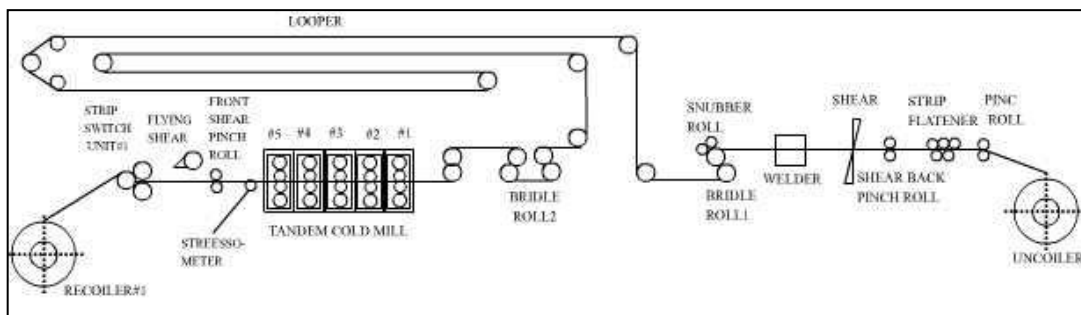
Spesifikasi yang dimiliki oleh mesin CTCM adalah :

1. Kecepatan *rolling* maksimum: 1980 rpm
2. Tenaga *rolling* maksimum : 2500 MT
3. Tekanan maksimum : 215 bar
4. Berat *coil* maksimum untuk diproses : 23,4 MT
5. Motor Penggerak
  - Stand 1 : 2 x 1900 kW = 3.800 kW
  - Stand 2-5 : 3x 1.900 kW = 5.700 kW
6. *Tension reel* : 8,8 MT
7. Rasio pengurangan ketebalan maks : 92%
8. Ketebalan strip
  - Entry Side* : 1,8 – 6 mm
  - Delivery Side* : 0,18 – 3 mm
  - Lebar Strip : 600 – 1300 mm

9. Ukuran *Coil*
- |                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| <i>Entry Side I.D</i>    | : 610 mm         |
| <i>Entry Side O.D</i>    | : 1000 – 2000 mm |
| <i>Delivery Side I.D</i> | : 420 - 508 mm   |
| <i>Delivery Side O.D</i> | : 1000- 2000 mm  |
10. Kapasitas *Mill*
- |                  |                             |
|------------------|-----------------------------|
| 907.575 MT/tahun | : 64.830 <i>coil</i> /tahun |
| 75.630 MT/bulan  | : 5.400 <i>coil</i> /bulan  |
| 1.000 MT/shift   | : 70 <i>coil</i> /shift     |

#### 4.2.4. Skema Proses Produksi CTCM

Berikut adalah gambar dari skema proses produksi yang dilakukan di unit produksi CTCM :



Gambar 4. 1 Skema Proses Unit Produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM)  
(Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk)

Proses produksi diawali dengan membuka bahan baku baja yang berbentuk gulungan (*coil*) menjadi strip baja di *uncoiler*. Setelah bagian kepala terbuka menjadi bentuk strip, baja ditahan dan dihantarkan melalui *Pinch Roll*. Kemudian, strip baja menuju *Strip Flattener* yang berfungsi untuk meratakan strip baja yang kaku agar permukaan menjadi rata dan lebih mudah untuk diproses. Setelah strip baja diratakan, kemudian strip baja melewati *Shear* untuk proses pemotongan *head-end strip* dengan tujuan agar ujung *head-end* dari strip baja tersebut rata, sehingga dapat disambungkan dengan *tail-end* strip baja sebelumnya. Pada proses tersebut, *Shear Back Pinch Roll* berfungsi untuk menahan strip baja selama proses *shearing* berlangsung.



## 4.2.5. Data Waktu Kerusakan Unit Produksi CTCM

Berikut adalah data waktu kerusakan unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* pada bulan Januari 2019 hingga bulan oktober 2019 :

Tabel 4. 1 Data Waktu Kerusakan Unit Produksi CTCM  
(Sumber : PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk)

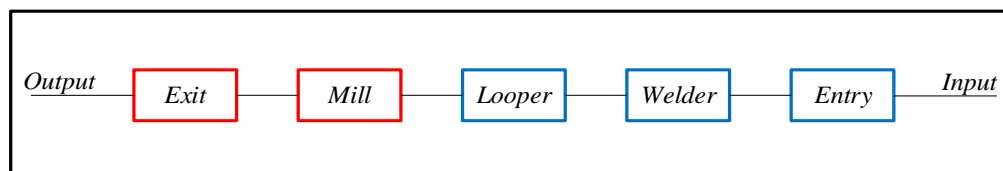
No.	<i>Delay Start</i>		<i>Delay Finish</i>		Lokasi	<i>Durasi Downtime</i> (menit)
	<i>Start Date</i>	<i>Start Time</i>	<i>Finish Date</i>	<i>Finish Time</i>		
1	1/7/2019	0:00	1/7/2019	2:24	EXIT	144
2	1/8/2019	2:50	1/9/2019	6:00	MILL	1630
3	1/9/2019	14:00	1/10/2019	13:30	MILL	1410
4	1/9/2019	6:00	1/9/2019	14:00	EXIT	480
5	1/11/2019	17:15	1/11/2019	19:25	EXIT	130
6	1/14/2019	22:58	1/15/2019	0:38	EXIT	100
7	1/20/2019	11:53	1/20/2019	15:40	MILL	227
8	1/26/2019	2:25	1/26/2019	5:45	MILL	200
9	1/28/2019	7:00	1/28/2019	12:45	ENTRY	345
10	2/1/2019	14:00	2/1/2019	21:00	MILL	420
11	2/1/2019	21:00	2/1/2019	1:25	EXIT	265
12	2/5/2019	19:00	2/5/2019	3:55	EXIT	535
13	2/6/2019	14:00	2/6/2019	19:30	MILL	330
14	2/11/2019	23:17	2/12/2019	2:15	MILL	178
15	2/13/2019	17:45	2/13/2019	20:35	LOOP	170
16	2/14/2019	17:35	2/14/2019	20:55	MILL	200
17	2/14/2019	3:35	2/14/2019	7:09	EXIT	214
18	2/19/2019	6:00	2/19/2019	8:32	MILL	152
19	3/28/2019	13:00	3/28/2019	20:43	MILL	463
20	3/30/2019	14:00	3/30/2019	17:05	ENTRY	185
21	3/31/2019	17:33	4/1/2019	0:35	MILL	422
22	4/2/2019	18:46	4/2/2019	21:46	MILL	194
23	4/20/2019	22:00	4/21/2019	3:00	EXIT	300
24	4/21/2019	23:20	4/22/2019	1:27	WELDER	127
25	4/22/2019	4:18	4/22/2019	7:55	MILL	217
26	4/23/2019	10:15	4/23/2019	12:15	MILL	120
27	4/28/2019	22:00	4/28/2019	23:45	WELDER	105
28	4/28/2019	18:40	4/28/2019	21:05	ENTRY	145
29	4/29/2019	14:53	4/29/2019	18:26	ENTRY	213
30	5/18/2019	14:00	5/19/2019	0:00	MILL	600
31	5/20/2019	6:00	5/20/2019	9:00	MILL	180

No.	<i>Delay Start</i>		<i>Delay Finish</i>		Lokasi	<i>Durasi Downtime</i> (menit)
	<i>Start Date</i>	<i>Start Time</i>	<i>Finish Date</i>	<i>Finish Time</i>		
32	6/25/2019	15:00	6/25/2019	0:08	EXIT	548
33	6/26/2019	8:10	6/26/2019	10:15	MILL	125
34	6/27/2019	10:30	6/27/2019	12:30	EXIT	120
35	7/1/2019	9:42	7/1/2019	12:15	ENTRY	153
36	7/2/2019	15:35	7/2/2019	17:52	MILL	137
37	7/16/2019	14:00	7/16/2019	16:10	EXIT	130
38	7/17/2019	10:45	7/17/2019	12:30	EXIT	105
39	7/18/2019	4:50	7/18/2019	7:26	ENTRY	156
40	7/20/2019	6:30	7/20/2019	20:13	MILL	823
41	7/23/2019	22:52	7/24/2019	1:10	EXIT	138
42	7/29/2019	6:45	7/29/2019	10:38	ENTRY	233
43	8/27/2019	6:00	8/27/2019	9:40	MILL	220
44	8/27/2019	16:44	8/27/2019	19:04	MILL	140
45	8/29/2019	6:00	8/29/2019	7:45	WELDER	105
46	9/17/2019	17:05	9/17/2019	20:05	MILL	180
47	9/19/2019	19:36	9/19/2019	4:00	MILL	504
48	9/21/2019	8:00	9/21/2019	10:45	MILL	165
49	9/23/2019	9:10	9/23/2019	12:00	MILL	170
50	9/26/2019	14:25	9/26/2019	20:55	LOOP	390
51	10/6/2019	6:00	10/6/2019	10:15	MILL	255
52	10/6/2019	19:30	10/6/2019	1:00	EXIT	330
53	10/8/2019	11:50	10/8/2019	16:00	WELDER	250
54	10/9/2019	10:35	10/9/2019	14:00	MILL	205
55	10/9/2019	14:00	10/9/2019	18:30	WELDER	270
56	10/13/2019	9:05	10/13/2019	16:15	MILL	430
57	10/15/2019	2:57	10/15/2019	17:20	MILL	863
58	10/17/2019	12:00	10/17/2019	21:20	MILL	560
59	10/17/2019	4:28	10/17/2019	7:30	WELDER	182
60	10/20/2019	4:36	10/20/2019	9:15	MILL	279
61	10/22/2019	9:40	10/22/2019	14:00	WELDER	260
62	10/27/2019	15:34	10/27/2019	18:59	MILL	205
63	10/29/2019	4:00	10/29/2019	7:25	MILL	205

#### 4.2.6. Diagram Blok Unit Produksi CTCM

Diagram blok disusun berdasarkan hubungan antara komponen kritis pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM). Komponen kritis dapat ditentukan dengan menggunakan Diagram Pareto dari waktu kerusakan setiap komponen atau lokasi.

Hubungan antara komponen tersebut didapatkan dari hasil wawancara dengan salah satu staff di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk. Berikut merupakan diagram blok dari unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill (CTCM)*:



Gambar 4. 2 Diagram Blok Unit Produksi CTCM

Pada gambar diagram blok di atas, terdapat lima lokasi yang akan dilakukan perhitungan *reliability*, yaitu lokasi *Entry*, *Welder*, *Looper*, *Mill*, dan *Exit*. Lokasi *Entry* terdiri dari *Uncoiler*, *Pinch Roll*, dan *Strip Flattener*. Lokasi *Welder* terdiri dari *Shear Back Pinch Roll*, *Crop Shear*, dan *Welder*. Lokasi *Looper* terdiri dari *Bridle Roll 1*, *Looper*, dan *Bridle Roll 2*. Lokasi *Mill* terdiri dari *Rolling Mill Stand #1* hingga *Stand #5*. Lokasi *Exit* terdiri dari *Stressometer*, *Front Shear Pinch Roll*, *Flying Shear*, *Strip Switch Unit 1* dan *2*, serta *Recoiler 1* dan *2*.

### 4.3. Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu penentuan komponen kritis berdasarkan diagram Pareto, perhitungan waktu kerusakan komponen kritis, menentukan *Index of Fit*, melakukan uji *Goodness of Fit*, mengidentifikasi distribusi untuk selang waktu kerusakan, perhitungan parameter distribusi, perhitungan *reliability* dan laju kerusakan, perhitungan MTBF, dan perhitungan *Reliability Block Diagram*.

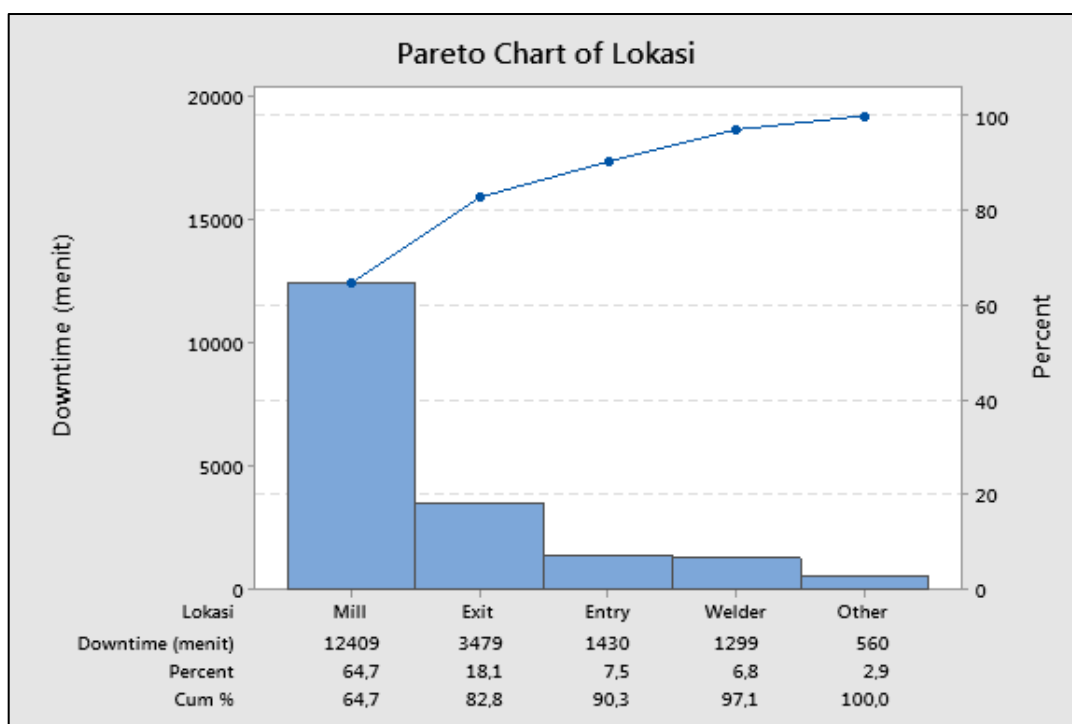
#### 4.3.1. Penentuan Komponen Kritis Unit Produksi CTCM

Berikut adalah data penentuan komponen kritis pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill (CTCM)* melalui perhitungan total waktu *downtime* dari setiap lokasi yang sudah diurutkan dari yang tertinggi hingga terendah. Data waktu yang dihitung yaitu dari bulan Januari 2019 hingga Oktober 2019.

Tabel 4. 2 Perhitungan Komponen Kritis Unit Produksi CTCM

No	Lokasi	Downtime (menit)	% Downtime	% Downtime Kumulatif
1	Mill	12409	64,71%	64,71%
2	Exit	3479	18,14%	82,85%
3	Entry	1430	7,46%	90,31%
4	Welder	1299	6,77%	97,08%
5	Looper	560	2,92%	100,00%
<b>Total</b>		<b>19177</b>	<b>100,00%</b>	

Setelah dilakukan perhitungan persentase kumulatif, selanjutnya dibuat diagram Pareto sebagai berikut :



Gambar 4. 3 Diagram Pareto Lokasi Unit Produksi CTCM

Berdasarkan diagram Pareto di atas, dapat diketahui bahwa komponen kritis pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* dengan persentase kumulatif mencapai 80% yaitu pada lokasi *Mill* dan lokasi *Exit*. Sedangkan lokasi yang tidak masuk ke dalam komponen atau lokasi kritis adalah lokasi *Welder*, *Entry*, dan *Looper*.

#### 4.3.2. Perhitungan Waktu Kerusakan Komponen Kritis

Perhitungan ini merupakan tahap perhitungan *Time to Failure* pada setiap komponen, terutama komponen kritis. *Time to Failure* merupakan selang waktu antara selesainya

perbaikan hingga komponen tersebut kembali rusak. Berikut adalah contoh salah satu perhitungan *Time to Failure* pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* :

Tabel 4. 3 Perhitungan *Time To Failure* Lokasi *Mill* pada Unit Produksi CTCM

<i>Delay start</i>		<i>Delay Finish</i>		<b>TTR</b> (menit)	<b>TTF</b> (menit)	<b>TBF</b> (menit)
1/8/2019	2:50	1/9/2019	6:00	1630		
1/9/2019	14:00	1/10/2019	13:30	1410	480	2110
1/20/2019	11:53	1/20/2019	15:40	227	14303	15713
1/26/2019	2:25	1/26/2019	5:45	200	7845	8072
2/1/2019	14:00	2/1/2019	21:00	420	9135	9335
2/6/2019	14:00	2/6/2019	19:30	330	6780	7200
2/11/2019	23:17	2/12/2019	2:15	178	7427	7757
2/14/2019	17:35	2/14/2019	20:55	200	3800	3978
2/19/2019	6:00	2/19/2019	8:32	152	6305	6505
3/28/2019	13:00	3/28/2019	20:43	463	8908	9060
3/31/2019	17:33	4/1/2019	0:35	422	4130	4593
4/2/2019	18:46	4/2/2019	21:46	194	2531	2953
4/22/2019	4:18	4/22/2019	7:55	217	27752	27946
4/23/2019	10:15	4/23/2019	12:15	120	1580	1797
5/18/2019	14:00	5/19/2019	0:00	600	36105	36225
5/20/2019	6:00	5/20/2019	9:00	180	1800	2400
6/26/2019	8:10	6/26/2019	10:15	125	8590	8770
7/2/2019	15:35	7/2/2019	17:52	137	8960	9085
7/20/2019	6:30	7/20/2019	20:13	823	25238	25375
8/27/2019	6:00	8/27/2019	9:40	220	9227	10050
8/27/2019	16:44	8/27/2019	19:04	140	424	644
9/17/2019	17:05	9/17/2019	20:05	180	30121	30261
9/19/2019	19:36	9/19/2019	4:00	504	2851	3031
9/21/2019	8:00	9/21/2019	10:45	165	1680	2184
9/23/2019	9:10	9/23/2019	12:00	170	2785	2950
10/6/2019	6:00	10/6/2019	10:15	255	18360	18530
10/9/2019	10:35	10/9/2019	14:00	205	4340	4595
10/13/2019	9:05	10/13/2019	16:15	430	5465	5670
10/15/2019	2:57	10/15/2019	17:20	863	2082	2512
10/17/2019	12:00	10/17/2019	21:20	560	2560	3423
10/20/2019	4:36	10/20/2019	9:15	279	3316	3876
10/27/2019	15:34	10/27/2019	18:59	205	10459	10738
10/29/2019	4:00	10/29/2019	7:25	205	1981	2186

Berikut merupakan contoh perhitungan waktu kerusakan untuk lokasi *Mill* pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill*:

a. *Time to Failure* (TTF)

*Time to Failure* diperoleh dari selisih antara waktu mulai terjadinya *downtime* pada hari berikutnya dengan waktu selesai *downtime*. Berikut adalah contoh perhitungan *Time to Failure*:

$$TTF = \text{Waktu Mulai Downtime}_{t_{(n+1)}} - \text{Waktu Selesai Downtime}_{t_{(n)}}$$

$$TTF = 20 \text{ Januari 2019 (11:53)} - 10 \text{ Januari 2019 (13:30)}$$

$$TTF = 14303 \text{ menit} \approx 238,38 \text{ jam} \approx 9,93 \text{ hari}$$

b. *Time to Repair* (TTR)

*Time to Repair* merupakan durasi *downtime* pada satu waktu tertentu. Nilai *Time to Repair* diperoleh dari selisih antara waktu selesai *downtime* dengan waktu mulainya *downtime* pada suatu waktu tertentu yang sama. Berikut adalah contoh perhitungan *Time to Repair*:

$$TTR = \text{Waktu Selesai Downtime}_{t_{(n)}} - \text{Waktu Mulai Downtime}_{t_{(n)}}$$

$$TTR = 10 \text{ Januari 2019 (13:30)} - 9 \text{ Januari 2019 (14:00)}$$

$$TTR = 1410 \text{ menit}$$

c. *Time Before Failure* (TBF)

*Time Before Failure* merupakan hasil penjumlahan antara *Time to Repair* sebelumnya dengan *Time to Failure* saat ini. Berikut adalah contoh perhitungan *Time Before Failure* :

$$TBF = \text{Time to Failure}_{t_{(n)}} + \text{Time to Repair}_{t_{(n-1)}}$$

$$TBF = 14303 \text{ menit} + 1410 \text{ menit}$$

$$TBF = 4812 \text{ menit}$$

#### 4.3.3. Perhitungan *Index of Fit*

Perhitungan *Index of Fit* merupakan identifikasi awal dari data yang diperoleh untuk menentukan distribusi statistik data tersebut (dalam kasus ini yaitu waktu kerusakan pada lokasi atau komponen). Perhitungan nilai *Index of Fit* ini berdasarkan metode *Least Square Curve Fitting*. Distribusi statistic yang menjadi parameter perhitungan adalah

distribusi Normal, *Lognormal*, Eksponensial, dan *Weibull*. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan nilai *Index of Fit* pada lokasi *Exit* :

1. Distribusi Normal

Tabel 4. 4 *Least Square Curve Fitting* Lokasi Mill untuk Distribusi Normal

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	644	644	0,021605	-2,022	-1301,96	414736	4,09
2	1797	1797	0,052469	-1,621	-2913,6	3229209	2,63
3	2110	2110	0,083333	-1,383	-2918,12	4452100	1,91
4	2184	2184	0,114198	-1,205	-2630,64	4769856	1,45
5	2186	2186	0,145062	-1,058	-2312,46	4778596	1,12
6	2400	2400	0,175926	-0,931	-2234,41	5760000	0,87
7	2512	2512	0,20679	-0,818	-2053,83	6310144	0,67
8	2950	2950	0,237654	-0,714	-2105,91	8702500	0,51
9	2953	2953	0,268519	-0,617	-1822,89	8720209	0,38
10	3031	3031	0,299383	-0,526	-1594,84	9186961	0,28
11	3423	3423	0,330247	-0,439	-1503,49	11716929	0,19
12	3876	3876	0,361111	-0,355	-1377,88	15023376	0,13
13	3978	3978	0,391975	-0,274	-1090,67	15824484	0,08
14	4593	4593	0,42284	-0,195	-893,957	21095649	0,04
15	4595	4595	0,453704	-0,116	-534,441	21114025	0,01
16	5670	5670	0,484568	-0,039	-219,385	32148900	0,00
17	6505	6505	0,515432	0,039	251,6927	42315025	0,00
18	7200	7200	0,546296	0,116	837,427	51840000	0,01
19	7757	7757	0,57716	0,195	1509,781	60171049	0,04
20	8072	8072	0,608025	0,274	2213,136	65157184	0,08
21	8770	8770	0,638889	0,355	3117,651	76912900	0,13
22	9060	9060	0,669753	0,439	3979,437	82083600	0,19
23	9085	9085	0,700617	0,526	4780,315	82537225	0,28
24	9335	9335	0,731481	0,617	5762,493	87142225	0,38
25	10050	10050	0,762346	0,714	7174,376	1,01E+08	0,51
26	10738	10738	0,79321	0,818	8779,49	1,15E+08	0,67
27	15713	15713	0,824074	0,931	14628,86	2,47E+08	0,87
28	18530	18530	0,854938	1,058	19601,98	3,43E+08	1,12
29	25375	25375	0,885802	1,205	30564,27	6,44E+08	1,45
30	27946	27946	0,916667	1,383	38649,15	7,81E+08	1,91
31	30261	30261	0,947531	1,621	49064,28	9,16E+08	2,63
32	36225	36225	0,978395	2,022	73235,2	1,31E+09	4,09
<b>Total</b>	<b>289524</b>	<b>289524</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>236641,1</b>	<b>5,18E+09</b>	<b>28,69744</b>
<b><i>Index of Fit</i></b>				<b>0,87284443</b>			

Contoh perhitungan :

a.  $x_i$  adalah  $t_i$ ; dimana  $t_i$  adalah *Time Between Failure* ke- $n$

b. Perhitungan:

$$1. F_{t(i)} = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)}$$

$$F_{t(i)} = \frac{(1-0,3)}{(32+0,4)} = 0,021605$$

2.  $y_i = z_i = \Phi^{-1}\{F(t_i)\}$  (nilai  $Z_i$  dapat dilihat di tabel distribusi normal standar)

3.  $n$  = jumlah sampel = 32

c. Perhitungan *Index of Fit*

$$\text{Index of Fit} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2) \times (n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)]}}$$

$$\text{Index of Fit} = \frac{(32 \times 236647,1) - (289524 \times 0)}{\sqrt{\{(32 \times (5,18 \times 10^9) - (289524)^2\} - \{(32 \times (28,69744) - (0)^2)\}}}}$$

$$\text{Index of Fit} = \mathbf{0,87284443}$$

2. Distribusi Eksponensial

Tabel 4. 5 *Least Square Curve Fitting* Lokasi Mill untuk Distribusi Eksponensial

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	644	644	0,021605	0,021842	14,06608	414736	0,00
2	1797	1797	0,052469	0,053896	96,8507	3229209	0,00
3	2110	2110	0,083333	0,087011	183,594	4452100	0,01
4	2184	2184	0,114198	0,121261	264,8347	4769856	0,01
5	2186	2186	0,145062	0,156726	342,6031	4778596	0,02
6	2400	2400	0,175926	0,193495	464,3877	5760000	0,04
7	2512	2512	0,20679	0,231667	581,9486	6310144	0,05
8	2950	2950	0,237654	0,271355	800,4978	8702500	0,07
9	2953	2953	0,268519	0,312683	923,354	8720209	0,10
10	3031	3031	0,299383	0,355793	1078,41	9186961	0,13
11	3423	3423	0,330247	0,400846	1372,096	11716929	0,16
12	3876	3876	0,361111	0,448025	1736,544	15023376	0,20
13	3978	3978	0,391975	0,49754	1979,213	15824484	0,25
14	4593	4593	0,42284	0,549635	2524,473	21095649	0,30
15	4595	4595	0,453704	0,604594	2778,108	21114025	0,37
16	5670	5670	0,484568	0,66275	3757,791	32148900	0,44
17	6505	6505	0,515432	0,724498	4712,858	42315025	0,52
18	7200	7200	0,546296	0,790311	5690,239	51840000	0,62



No.	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> ·y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
19	7757	7757	0,57716	0,860763	6676,935	60171049	0,74
20	8072	8072	0,608025	0,936556	7559,883	65157184	0,88
21	8770	8770	0,638889	1,01857	8932,855	76912900	1,04
22	9060	9060	0,669753	1,107915	10037,71	82083600	1,23
23	9085	9085	0,700617	1,206033	10956,81	82537225	1,45
24	9335	9335	0,731481	1,314835	12273,99	87142225	1,73
25	10050	10050	0,762346	1,436938	14441,23	1,01E+08	2,06
26	10738	10738	0,79321	1,576051	16923,63	1,15E+08	2,48
27	15713	15713	0,824074	1,737692	27304,36	2,47E+08	3,02
28	18530	18530	0,854938	1,930596	35773,94	3,43E+08	3,73
29	25375	25375	0,885802	2,169826	55059,32	6,44E+08	4,71
30	27946	27946	0,916667	2,484907	69443,2	7,81E+08	6,17
31	30261	30261	0,947531	2,94753	89195,21	9,16E+08	8,69
32	36225	36225	0,978395	3,834833	138916,8	1,31E+09	14,71
<b>Total</b>	<b>289524</b>	<b>289524</b>	<b>16</b>	<b>31,04697</b>	<b>532797,8</b>	<b>5,18E+09</b>	<b>55,94323</b>
<b>Index of Fit</b>				<b>0,979500324</b>			

Contoh perhitungan :

a. x<sub>i</sub> adalah t<sub>i</sub>; dimana t<sub>i</sub> adalah *Time Between Failure* ke-n

b. Perhitungan:

$$1. F_{t(i)} = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)}$$

$$F_{t(i)} = \frac{(1-0,3)}{(32+0,4)} = 0,021605$$

$$2. y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F_{t(i)}}\right)$$

$$y_i = \ln\left(\frac{1}{1-0,021605}\right) = 0,021842$$

3. n = jumlah sampel = 32

c. Perhitungan *Index of Fit*

$$\text{Index of Fit} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \times [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

$$\text{Index of Fit} = \frac{(32 \times 532797,8) - (289524 \times 31,04697)}{\sqrt{\{(32 \times (5,18 \times 10^9)) - (289524)^2\} - \{(32 \times (55,94323)) - (31,04697)^2\}}}$$

$$\text{Index of Fit} = \mathbf{0,979500324}$$

## 3. Distribusi Lognormal

Tabel 4. 6 *Least Square Curve Fitting* Lokasi Mill untuk Distribusi Lognormal

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	644	6,467699	0,021605	-2,022	-13,0756	41,83113	4,09
2	1797	7,493874	0,052469	-1,621	-12,1503	56,15815	2,63
3	2110	7,654443	0,083333	-1,383	-10,5861	58,5905	1,91
4	2184	7,688913	0,114198	-1,205	-9,26132	59,11939	1,45
5	2186	7,689829	0,145062	-1,058	-8,13469	59,13346	1,12
6	2400	7,783224	0,175926	-0,931	-7,24621	60,57858	0,87
7	2512	7,828835	0,20679	-0,818	-6,40093	61,29065	0,67
8	2950	7,98956	0,237654	-0,714	-5,70349	63,83308	0,51
9	2953	7,990577	0,268519	-0,617	-4,93258	63,84932	0,38
10	3031	8,016648	0,299383	-0,526	-4,21817	64,26664	0,28
11	3423	8,138273	0,330247	-0,439	-3,57459	66,23148	0,19
12	3876	8,262559	0,361111	-0,355	-2,93726	68,26988	0,13
13	3978	8,288534	0,391975	-0,274	-2,2725	68,6998	0,08
14	4593	8,432289	0,42284	-0,195	-1,64122	71,10349	0,04
15	4595	8,432724	0,453704	-0,116	-0,9808	71,11083	0,01
16	5670	8,642944	0,484568	-0,039	-0,33441	74,70049	0,00
17	6505	8,780326	0,515432	0,039	0,33973	77,09413	0,00
18	7200	8,881836	0,546296	0,116	1,03304	78,88702	0,01
19	7757	8,956351	0,57716	0,195	1,743216	80,21622	0,04
20	8072	8,996157	0,608025	0,274	2,466516	80,93083	0,08
21	8770	9,079092	0,638889	0,355	3,22753	82,42991	0,13
22	9060	9,111624	0,669753	0,439	4,002112	83,0217	0,19
23	9085	9,11438	0,700617	0,526	4,795775	83,07192	0,28
24	9335	9,141526	0,731481	0,617	5,643062	83,5675	0,38
25	10050	9,215328	0,762346	0,714	6,57853	84,92227	0,51
26	10738	9,281544	0,79321	0,818	7,588678	86,14706	0,67
27	15713	9,662244	0,824074	0,931	8,995581	93,35895	0,87
28	18530	9,827146	0,854938	1,058	10,39565	96,5728	1,12
29	25375	10,14152	0,885802	1,205	12,2155	102,8504	1,45
30	27946	10,23803	0,916667	1,383	14,15913	104,8172	1,91
31	30261	10,31762	0,947531	1,621	16,72867	106,4532	2,63
32	36225	10,4975	0,978395	2,022	21,22255	110,1976	4,09
<b>Total</b>	<b>289524</b>	<b>278,0431</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>27,68511</b>	<b>2443,306</b>	<b>28,69744</b>
<i>Index of Fit</i>	<b>0,9867446</b>						

Contoh perhitungan :

a.  $x_i = \ln(t_i)$

$$x_i = \ln(644) = 6,467699$$

b. Perhitungan:

$$1. F_{t(i)} = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)}$$

$$F_{t(i)} = \frac{(1-0,3)}{(32+0,4)} = 0,021605$$

2.  $y_i = z_i = \Phi^{-1}\{F(t_i)\}$  (nilai Zi dapat dilihat di tabel distribusi normal standar)

3.  $n = \text{jumlah sampel} = 32$

c. Perhitungan *Index of Fit*

$$\text{Index of Fit} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \times [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

$$\text{Index of Fit} = \frac{(32 \times 27.68511) - (278.0431 \times 0)}{\sqrt{\{(32 \times 2443.306) - (278.0431)^2\} - \{(32 \times (28.69744) - (0)^2\}}}}$$

$$\text{Index of Fit} = \mathbf{0,9867446}$$

4. Distribusi *Weibull*

Tabel 4. 7 *Least Square Curve Fitting* Lokasi Mill untuk Distribusi *Weibull*

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	644	6,467699	0,021605	0,021842	0,141266	41,83113	0,00
2	1797	7,493874	0,052469	0,053896	0,403888	56,15815	0,00
3	2110	7,654443	0,083333	0,087011	0,666024	58,5905	0,01
4	2184	7,688913	0,114198	0,121261	0,932368	59,11939	0,01
5	2186	7,689829	0,145062	0,156726	1,205196	59,13346	0,02
6	2400	7,783224	0,175926	0,193495	1,506014	60,57858	0,04
7	2512	7,828835	0,20679	0,231667	1,813686	61,29065	0,05
8	2950	7,98956	0,237654	0,271355	2,168009	63,83308	0,07
9	2953	7,990577	0,268519	0,312683	2,498521	63,84932	0,10
10	3031	8,016648	0,299383	0,355793	2,852271	64,26664	0,13
11	3423	8,138273	0,330247	0,400846	3,262195	66,23148	0,16
12	3876	8,262559	0,361111	0,448025	3,701831	68,26988	0,20
13	3978	8,288534	0,391975	0,49754	4,123876	68,6998	0,25
14	4593	8,432289	0,42284	0,549635	4,63468	71,10349	0,30
15	4595	8,432724	0,453704	0,604594	5,098373	71,11083	0,37
16	5670	8,642944	0,484568	0,66275	5,728109	74,70049	0,44
17	6505	8,780326	0,515432	0,724498	6,361326	77,09413	0,52

No.	t <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	F(t <sub>i</sub> )	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> ·y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
18	7200	8,881836	0,546296	0,790311	7,019412	78,88702	0,62
19	7757	8,956351	0,57716	0,860763	7,709292	80,21622	0,74
20	8072	8,996157	0,608025	0,936556	8,425408	80,93083	0,88
21	8770	9,079092	0,638889	1,01857	9,247687	82,42991	1,04
22	9060	9,111624	0,669753	1,107915	10,0949	83,0217	1,23
23	9085	9,11438	0,700617	1,206033	10,99224	83,07192	1,45
24	9335	9,141526	0,731481	1,314835	12,0196	83,5675	1,73
25	10050	9,215328	0,762346	1,436938	13,24186	84,92227	2,06
26	10738	9,281544	0,79321	1,576051	14,62819	86,14706	2,48
27	15713	9,662244	0,824074	1,737692	16,79001	93,35895	3,02
28	18530	9,827146	0,854938	1,930596	18,97225	96,5728	3,73
29	25375	10,14152	0,885802	2,169826	22,00533	102,8504	4,71
30	27946	10,23803	0,916667	2,484907	25,44055	104,8172	6,17
31	30261	10,31762	0,947531	2,94753	30,41148	106,4532	8,69
32	36225	10,4975	0,978395	3,834833	40,25618	110,1976	14,71
<b>Total</b>	<b>289524</b>	<b>278,0431</b>	<b>16</b>	<b>31,04697</b>	<b>294,352</b>	<b>2443,306</b>	<b>55,94323</b>
<b>Index of Fit</b>	<b>0,923943304</b>						

Contoh perhitungan :

a.  $x_i = \ln(t_i)$

$$x_i = \ln(85) = 4,44265$$

b. hitungan:

1.  $F_{t(i)} = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)}$

$$F_{t(i)} = \frac{(1-0,3)}{(32+0,4)} = 0,021605$$

2.  $y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F_{t(i)}}\right)$

$$y_i = \ln\left(\frac{1}{1-0,021605}\right) = 0,021842$$

3. n = jumlah sampel = 32

c. Perhitungan *Index of Fit*

$$\text{Index of Fit} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{\{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \times [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]\}}}$$

$$\text{Index of Fit} = \frac{(32 \times 294,352) - (278,0431 \times 31,04697)}{\sqrt{\{(32 \times (2443,306)) - (278,0431)^2\} - \{(32 \times (55,94323)) - (31,04697)^2\}}}$$

$$\text{Index of Fit} = \mathbf{0,923943304}$$

Dari hasil perhitungan *Least Square Curve Fitting* untuk masing-masing distribusi, didapatkan nilai *Index of Fit* untuk lokasi Mill sebagai berikut:

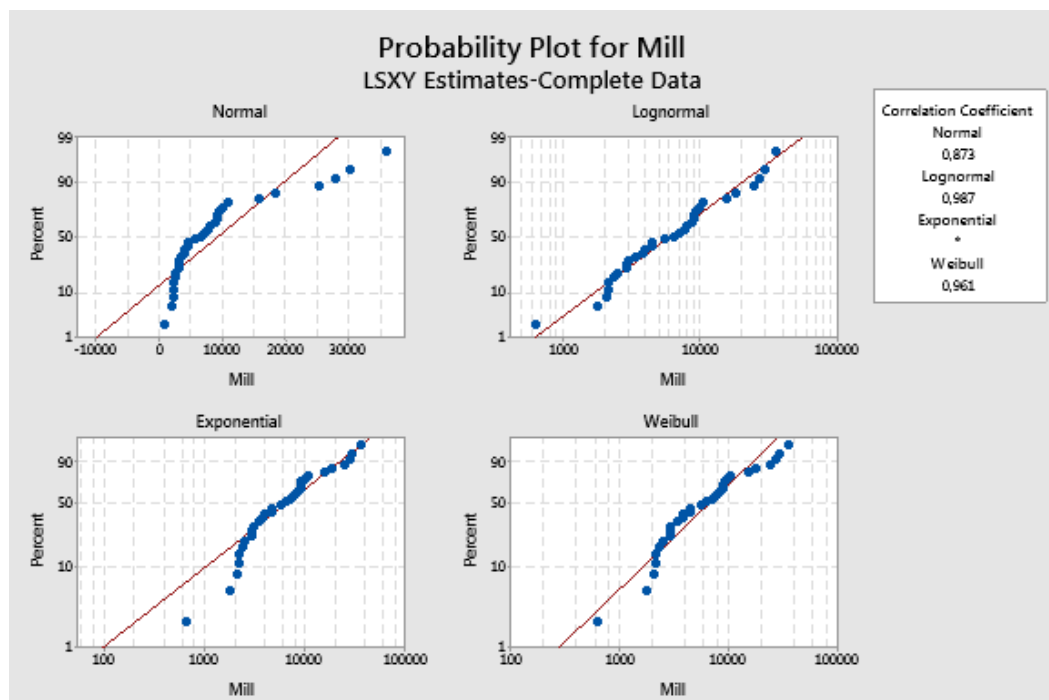
Tabel 4. 8 Hasil *Least Square Curve Fitting* Lokasi Mill

Distribusi	Index of Fit
Normal	0,87284443
Eksponensial	0,979500324
Lognormal	0,9867446
Weibull	0,923943304

Berdasarkan tabel di atas, maka diketahui dengan menggunakan perhitungan manual, distribusi statistik dengan nilai *Index of Fit* terbesar adalah distribusi Lognormal sebesar 0,9867446, kemudian Eksponensial, *Weibull*, dan Normal.

#### 5. *Least-Square Curve Fitting* menggunakan Software Minitab

Selain menggunakan perhitungan manual, dilakukan juga perhitungan *Goodness of Fit* dengan menggunakan perangkat lunak Minitab untuk membandingkan perhitungan yang dilakukan secara manual dengan menggunakan perangkat lunak. Berikut adalah hasil perhitungan *Least-Square Curve Fitting* menggunakan perangkat lunak Minitab :



Gambar 4. 4 Hasil Perhitungan *Least-Square Curve Fitting* dengan Minitab

Berdasarkan gambar di atas, dapat diketahui bahwa nilai koefisien korelasi terbesar dari pengujian *Least-Square Curve Fitting* untuk lokasi *Mill* adalah distribusi Lognormal dengan nilai koefisien sebesar 0,987. Jika dibandingkan dengan perhitungan manual, maka nilai koefisien atau nilai *Index of Fit* tidak jauh berbeda, namun hal tersebut harus dibuktikan dengan uji *Goodness of Fit* untuk menentukan apakah distribusi statistik tersebut layak digunakan untuk perhitungan *reliability* atau tidak.

#### 6. Rekapitulasi perhitungan *Least-Square Curve Fitting*

Masing-masing lokasi yang terdapat pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* yang mengalami kerusakan dilakukan perhitungan *Index of Fit* menggunakan metode perhitungan *Least-Square Curve Fitting* dengan parameter distribusi Normal, Lognormal, Eksponensial, dan *Weibull*. Berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan *Least-Square Curve Fitting* di semua lokasi pada unit produksi CTCM:

Tabel 4. 9 Rekapitulasi Perhitungan *Least-Square Curve Fitting* Unit Produksi CTCM

Lokasi	Distribusi			
	Normal	Eksponensial	Lognormal	Weibull
<i>Mill</i>	0,87284443	0,979500324	0,9867446	0,923943304
<i>Exit</i>	0,913582843	0,970400949	0,987863896	0,913582843
<i>Welder</i>	0,960276875	0,900957852	0,91455222	0,808011612
<i>Entry</i>	0,93618151	0,990876159	0,91455222	0,925754621

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, hasil perhitungan pada lokasi *Exit* yang merupakan lokasi kritis menunjukkan bahwa distribusi dengan nilai terbesar adalah *Lognormal* dengan nilai koefisien sebesar 0,987935287. Pada lokasi *Welder*, distribusi dengan nilai koefisien terbesar adalah Normal yaitu sebesar 0,960276875, sementara pada lokasi *Entry* yaitu distribusi Eksponensial dengan nilai koefisien sebesar 0,990876159. Pada lokasi yang memiliki kerusakan kurang dari 3 (yaitu pada lokasi *Looper*), tidak dilakukan pengujian dengan distribusi melainkan dengan pendekatan empiris, sehingga pada lokasi tersebut diasumsikan berdistribusi Eksponensial.

#### 4.3.4. Uji *Goodness of Fit*

Setelah dilakukan perhitungan *Index of Fit* pada keseluruhan lokasi, maka dilakukan pengujian terlebih dahulu berdasarkan distribusi statistik dengan nilai koefisien terbesar.

Pengujian-pengujian yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Mann's Test*;  $\alpha = 0,05$  untuk menguji distribusi *Weibull*
- Kolmogorov-Smirnov Test*,  $\alpha = 0,05$  untuk menguji distribusi Normal dan *Lognormal*
- Barlett Test*;  $\alpha = 0,05$  untuk menguji distribusi Eksponensial

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan uji *Goodness of Fit* pada lokasi *Mill* yang terduga memiliki distribusi *Lognormal* :

Tabel 4. 10 Uji *Kolmogorov-Smirnov* Lokasi *Mill*

No	$t_i$	$t_i - \text{trataan}$	$(i-1)/n$	$Z_i$	$\Phi_{Z_i}$	$d_1$	$d_2$
1	644	-8403,625	0	-0,92451901	0,177608	0,177608	-0,13413
2	1797	-7250,625	0,03125	-0,79767251	0,21253	0,18128	-0,16905
3	2110	-6937,625	0,0625	-0,76323803	0,222661	0,160161	-0,17918
4	2184	-6863,625	0,09375	-0,75509697	0,225095	0,131345	-0,18162
5	2186	-6861,625	0,125	-0,75487694	0,225161	0,100161	-0,18168
6	2400	-6647,625	0,15625	-0,73133388	0,232288	0,076038	-0,18881
7	2512	-6535,625	0,1875	-0,71901228	0,236067	0,048567	-0,19259
8	2950	-6097,625	0,21875	-0,67082601	0,251166	0,032416	-0,20769
9	2953	-6094,625	0,25	-0,67049597	0,251271	0,001271	-0,20779
10	3031	-6016,625	0,28125	-0,66191485	0,254013	-0,02724	-0,21053
11	3423	-5624,625	0,3125	-0,61878924	0,268028	-0,04447	-0,22455
12	3876	-5171,625	0,34375	-0,56895276	0,284694	-0,05906	-0,24122
13	3978	-5069,625	0,375	-0,5577313	0,288514	-0,08649	-0,24504
14	4593	-4454,625	0,40625	-0,4900725	0,312041	-0,09421	-0,26856
15	4595	-4452,625	0,4375	-0,48985247	0,312119	-0,12538	-0,26864
16	5670	-3377,625	0,46875	-0,37158709	0,3551	-0,11365	-0,31162
17	6505	-2542,625	0,5	-0,27972514	0,389844	-0,11016	-0,34637
18	7200	-1847,625	0,53125	-0,20326519	0,419464	-0,11179	-0,37599
19	7757	-1290,625	0,5625	-0,14198722	0,443545	-0,11895	-0,40007
20	8072	-975,625	0,59375	-0,10733271	0,457263	-0,13649	-0,41378
21	8770	-277,625	0,625	-0,03054272	0,487817	-0,13718	-0,44434
22	9060	12,375	0,65625	0,001361427	0,500543	-0,15571	-0,45706
23	9085	37,375	0,6875	0,004111785	0,50164	-0,18586	-0,45816
24	9335	287,375	0,71875	0,031615362	0,512611	-0,20614	-0,46913
25	10050	1002,375	0,75	0,110275594	0,543905	-0,2061	-0,50043

No	t <sub>i</sub>	t <sub>i</sub> - trataan	(i-1)/n	Z <sub>i</sub>	Φz <sub>i</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>
26	10738	1690,375	0,78125	0,18596544	0,573764	-0,20749	-0,53029
27	15713	6665,375	0,8125	0,733286634	0,768308	-0,04419	-0,72483
28	18530	9482,375	0,84375	1,043196946	0,851571	0,007821	-0,80809
29	25375	16327,375	0,875	1,796244901	0,963772	0,088772	-0,92029
30	27946	18898,375	0,90625	2,079091693	0,981196	0,074946	-0,93772
31	30261	21213,375	0,9375	2,333774822	0,990196	0,052696	-0,94672
32	36225	27177,375	0,96875	2,989900169	0,998605	0,029855	-0,95513

Hipotesis :

H<sub>0</sub> : Data berdistribusi *Lognormal*

H<sub>1</sub> : Data tidak berdistribusi *Lognormal*

α = 0,05

Wilayah kritis : H<sub>0</sub> ditolak bila D<sub>n</sub> > D<sub>crit</sub>

(nilai D<sub>crit</sub> diperoleh dari tabel *Kolmogorov-Smirnov* dengan n = 32 dan α = 0,05 yaitu sebesar 0,23)

Perhitungan :

$$1. Z_i = \left( \frac{t_i - \bar{t}}{s} \right)$$

$$Z_i = \left( \frac{644 - 9047,625}{9089,727} \right) = -0,924519009$$

$$2. D_1 = \left\{ \Phi \left( \frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \left( \frac{i-1}{n} \right) \right\}$$

$$D_1 = \left\{ \Phi \left( \frac{644 - 9047,625}{9089,727} \right) - \left( \frac{1-1}{32} \right) \right\}$$

$$D_1 = 0,177608 - 0 = 0,177608$$

$$3. D_2 = \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left( \frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\}$$

$$D_2 = \left\{ \frac{1}{32} - \Phi \left( \frac{644 - 9047,625}{9089,727} \right) \right\}$$

$$D_2 = 0,03125 - 0,177608 = -0,13413$$

$$4. D_n = \text{maximum} \{D_1 : D_2\}$$

$$D_n = 0,18128$$

Kesimpulan : karena nilai D<sub>n</sub> (0,18128) < D<sub>crit</sub> (0,23), maka H<sub>0</sub> diterima. Sehingga perhitungan *reliability* pada lokasi *Mill* berdasarkan distribusi *Lognormal*.



Berikut adalah rekapitulasi uji *Goodness of Fit* pada semua lokasi di Unit Produksi *Continuous Tandem Cold Mill* :

Tabel 4. 11 Rekapitulasi *Goodness of Fit*

Lokasi	Dugaan Distribusi Awal	Hasil	Dugaan Distribusi Selanjutnya	Hasil	Keputusan Akhir
<i>Mill</i>	<i>Lognormal</i>	Diterima			<i>Lognormal</i>
<i>Exit</i>	<i>Lognormal</i>	Diterima			<i>Lognormal</i>
<i>Welder</i>	Normal	Diterima			Normal
<i>Entry</i>	Eksponensial	Ditolak	Normal	Diterima	Normal
<i>Looper</i>	Eksponensial	Diterima			Eksponensial

#### 4.3.5. Perhitungan Parameter Distribusi

Perhitungan parameter untuk setiap lokasi berdasarkan distribusi statistik yang diperoleh dari uji *Goodness of Fit*. Parameter untuk lokasi *Mill* yang berdistribusi statistic *Lognormal* adalah  $\hat{s}$  dan  $t_{med}$ . Berikut adalah perhitungan parameter untuk lokasi *Mill* :

Berdasarkan *Index of Fit* distribusi *Lognormal*, diketahui bahwa :

$$\sum x_i = \sum \ln t_i = 115,272$$

Perhitungan :

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n}$$

$$\hat{\mu} = \frac{278,043}{32} = \mathbf{8,689}$$

$$t_{med} = e^{\hat{\mu}}$$

$$t_{med} = e^{(8,689)} = \mathbf{5936,342}$$

Salah satu contoh perhitungan untuk mencari nilai  $\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \hat{\mu})^2$  :

$$(\ln t_i - \hat{\mu})^2 = (6,468 - 8,689)^2 = \mathbf{4,9935}$$

Maka :

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

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{27,431}{32}} = \mathbf{0,925859188}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka parameter distribusi untuk lokasi *Mill* adalah  $t_{med} = 5936,342$  dan  $\hat{s} = 0,925859188$ . Berikut adalah nilai parameter distribusi untuk semua lokasi pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* :

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter Distribusi

Lokasi	Distribusi	$\lambda$	$\mu$	$\sigma$	$t_{med}$	$\hat{s}$
<i>Mill</i>	<i>Lognormal</i>	-	-	-	<b>5936,342</b>	<b>0,925859188</b>
<i>Exit</i>	<i>Lognormal</i>	-	-	-	<b>7089,778</b>	<b>2,241177693</b>
<i>Welder</i>	Normal	-	7543,333	4861,789	-	-
<i>Entry</i>	Normal	-	14877,5	16124,18	-	-
<i>Looper</i>	Ekspensial	4,05824E-05	-	-	-	-

#### 4.3.6. Perhitungan Keandalan dan Laju Kerusakan

Perhitungan keandalan dan laju kerusakan dilakukan untuk mengetahui fungsi keandalan dari setiap lokasi pada unit produksi secara matematis sekaligus menggambarkan fungsi laju kerusakannya. setiap jenis distribusi statistik memiliki perhitungan yang berbeda sehingga harus menyesuaikan dengan jenis distribusi statistiknya terlebih dahulu beserta parameter perhitungan yang digunakan. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan keandalan (*reliability*) dan laju kerusakan pada lokasi *Mill* yang memiliki distribusi statistik *Lognormal* :

Tabel 4. 13 Perhitungan Keandalan dan Laju Kerusakan Lokasi *Mill*

No	ti	$t_{med}$	$\hat{s}$	$R(t)$	$h(t)$	$f(t)$	$F(t)$
1	644			0,99178	4,7E-05	4,65916E-05	0,00822
2	1797			0,90159	0,000123	0,000110872	0,09841
3	2110			0,868054	0,000132	0,000114563	0,131946
4	2184			0,859931	0,000134	0,000114953	0,140069
5	2186			0,85971	0,000134	0,000114961	0,14029
6	2400			0,835999	0,000138	0,000115268	0,164001
7	2512			0,823525	0,00014	0,000115024	0,176475
8	2950	5936,342	0,925859188	0,774961	0,000145	0,000112142	0,225039
9	2953			0,774632	0,000145	0,000112114	0,225368
10	3031			0,766089	0,000145	0,000111357	0,233911
11	3423			0,723966	0,000148	0,00010685	0,276034
12	3876			0,677395	0,000149	0,000100757	0,322605
13	3978			0,667264	0,000149	9,93181E-05	0,332736
14	4593			0,60915	0,000149	9,05198E-05	0,39085
15	4595			0,60897	0,000149	9,04913E-05	0,39103

No	ti	t <sub>med</sub>	ŝ	R <sub>(t)</sub>	h <sub>(t)</sub>	f <sub>(t)</sub>	F <sub>(t)</sub>
16	5670			0,519771	0,000146	7,58928E-05	0,480229
17	6505			0,460647	0,000143	6,59277E-05	0,539353
18	7200			0,417442	0,00014	5,86422E-05	0,582558
19	7757			0,38632	0,000138	5,3432E-05	0,61368
20	8072			0,369976	0,000137	5,07163E-05	0,630024
21	8770			0,336697	0,000134	4,5244E-05	0,663303
22	9060			0,323968	0,000133	4,31746E-05	0,676032
23	9085			0,322899	0,000133	4,30015E-05	0,677101
24	9335			0,312447	0,000132	4,13145E-05	0,687553
25	10050	5936,342	0,925859188	0,284801	0,00013	3,69065E-05	0,715199
26	10738			0,261035	0,000127	3,31867E-05	0,738965
27	15713			0,146551	0,000112	1,6436E-05	0,853449
28	18530			0,109451	0,000106	1,15481E-05	0,890549
29	25375			0,058324	9,31E-05	5,43177E-06	0,941676
30	27946			0,04714	8,95E-05	4,21775E-06	0,95286
31	30261			0,039272	8,65E-05	3,39781E-06	0,960728
32	36225			0,025381	8,01E-05	2,03257E-06	0,974619

Contoh perhitungan :

$$F_{(t)} = \Phi \left\{ \frac{1}{\hat{s}} \ln \left( \frac{t}{t_{med}} \right) \right\}$$

$$F_{(1)} = \Phi \left\{ \frac{1}{0,9259} \ln \left( \frac{644}{5936,342} \right) \right\} = \mathbf{0,00822}$$

$$f_{(t)} = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}\hat{s}t} \right) e^{\left[ \left\{ -\frac{1}{2\hat{s}^2} \left\{ \ln \left( \frac{t}{t_{med}} \right) \right\}^2 \right. \right]}$$

$$f_{(1)} = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,9259 \times 644} \right) e^{\left[ \left\{ -\frac{1}{2 \times 0,9259^2} \left\{ \ln \left( \frac{644}{5936,342} \right) \right\}^2 \right. \right]}$$

$$f_{(1)} = \mathbf{4,659 \times 10^{-5}}$$

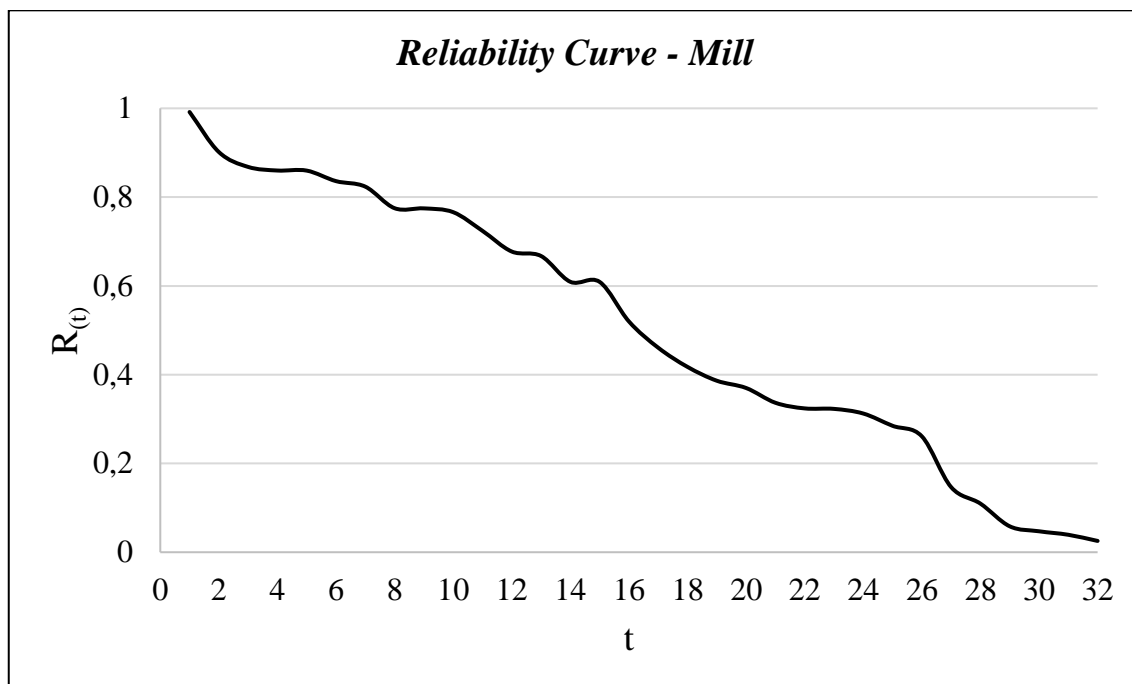
$$h_{(t)} = \frac{f_{(t)}}{(1-F_{(t)})}$$

$$h_{(1)} = \frac{4,659 \times 10^{-5}}{0,00822} = \mathbf{4,7 \times 10^{-5}}$$

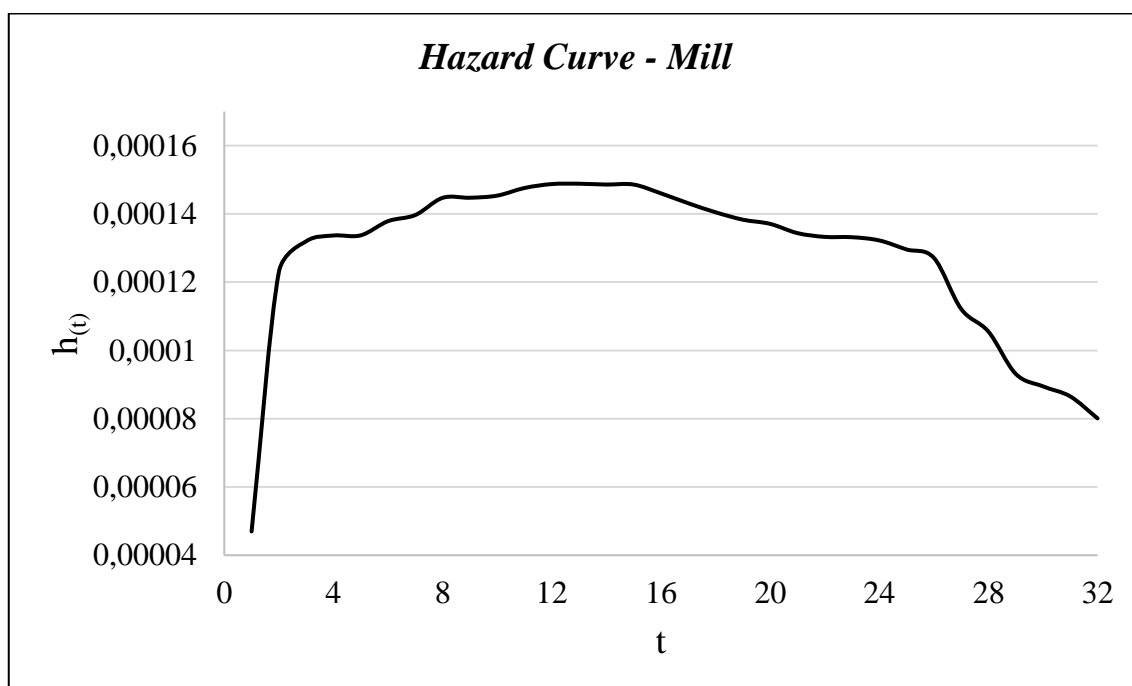
$$R_{(t)} = 1 - h_{(t)}$$

$$R_{(1)} = 1 - 4,7 \times 10^{-5} = \mathbf{0,99178}$$

Berikut ini merupakan kurva keandalan dan kurva laju kerusakan lokasi *Mill* pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* :



Gambar 4. 5 Kurva Keandalan Lokasi *Mill*



Gambar 4. 6 Kurva Laju Kerusakan Lokasi *Mill*

#### 4.3.7. Perhitungan *Mean Time Before Failure*

*Mean Time Before Failure* (MTBF) merupakan rata-rata dari waktu antar kerusakan dari setiap komponen mesin (dalam kasus ini yaitu lokasi pada unit produksi). Perhitungan MTBF disesuaikan dengan jenis distribusi dan parameter yang sudah ditentukan sebelumnya. Berikut adalah rekapitulasi nilai MTBF untuk semua lokasi pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) :

Tabel 4. 14 Rekapitulasi *Mean Time Before Failure* Unit Produksi CTCM

No	Lokasi	Waktu Kegagalan	
		t (menit)	Hari
1	<i>Mill</i>	9112,989	6,328464
2	<i>Exit</i>	87364,83	60,67002
3	<i>Welder</i>	7543,333	5,238426
4	<i>Entry</i>	14877,5	10,3316
5	<i>Looper</i>	24641,23	17,11197

Contoh perhitungan :

Diketahui lokasi *Mill* memiliki distribusi statistik *Lognormal*, maka :

$$MTBF = t_{med} e^{\left(\frac{s^2}{2}\right)}$$

$$MTBF = 5936,342 \times e^{\left(\frac{(0,9259)^2}{2}\right)} = \mathbf{9112,919 \text{ menit} \approx 6 \text{ hari}}$$

Berdasarkan contoh perhitungan di atas, didapatkan bahwa nilai rata-rata waktu antar kerusakan pada lokasi *Mill* sebesar 9112,919 menit atau setara dengan 6 hari umur pakai dari lokasi tersebut.

#### 4.3.8. Perhitungan *Reliability* Komponen dan *Reliability Block Diagram*

Setelah melakukan perhitungan MTBF, kemudian dilakukan perhitungan *Reliability* dari setiap lokasi berdasarkan masing-masing distribusi statistik dan parameter, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan *reliability* keseluruhan unit produksi dengan menggunakan *Reliability Block Diagram*. Berikut adalah rekapitulasi perhitungan *reliability* untuk semua lokasi pada Unit Produksi *Continuous Tandem Cold Mill* :

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Nilai *Reliability* Semua Lokasi pada Unit Produksi CTCM

Lokasi	Distribusi	Waktu Kegagalan		<i>Reliability</i>
		t <sub>(menit)</sub>	Hari	
<i>Mill</i>	<i>Lognormal</i>	<b>9112,989</b>	<b>6,328464</b>	<b>32,171%</b>
<i>Exit</i>	<i>Lognormal</i>	<b>87050</b>	<b>60,45139</b>	<b>13,143%</b>
<i>Welder</i>	Normal	7543,333	5,238426	50%
<i>Entry</i>	Normal	14877,5	10,3316	50%
<i>Looper</i>	Eksponensial	24641,23	17,11197	36,788%

Contoh perhitungan :

Diketahui distribusi statistik pada lokasi *Mill* adalah *Lognormal*, maka :

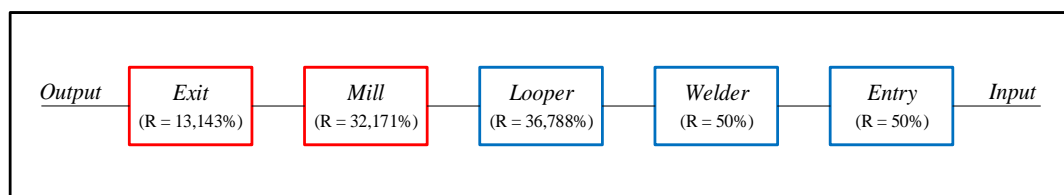
$$R_{(t)} = 1 - \Phi \left\{ \frac{1}{s} \ln \left( \frac{t}{t_{med}} \right) \right\}$$

$$R_{(t)} = 1 - \Phi \left\{ \frac{1}{0,9259} \times \ln \left( \frac{9112,989}{5936,342} \right) \right\}$$

$$R_{(t)} = 1 - \Phi(0,46293) = \mathbf{0,321707} = \mathbf{32,171\%}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, *reliability* pada lokasi *Mill* sebesar 32,171%.

Setelah menghitung *reliability* masing-masing lokasi, kemudian menghitung *reliability* keseluruhan dengan menggunakan *Reliability Block Diagram* (berdasarkan blok diagram unit produksi CTCM). Berikut adalah gambar diagram blok unit produksi CTM beserta nilai *reliability*-nya :

Gambar 4. 7 *Reliability Block Diagram* Unit Produksi (CTCM)

Pada gambar di atas, rangkaian dari setiap lokasi pada unit produksi CTCM adalah seri. Maka dari itu, perhitungan *Reliability Block Diagram* dilakukan dengan mengalikan seluruh nilai *Reliability* dari masing-masing lokasi tersebut. Berikut adalah contoh perhitungannya :

$$R_{(seri)} = R_{(Entry)} \times R_{(Welder)} \times R_{(Looper)} \times R_{(Mill)} \times R_{(Exit)}$$

$$R_{(seri)} = 50\% \times 50\% \times 36,788\% \times 32,171\% \times 13,143\% = \mathbf{0,3883\%}$$

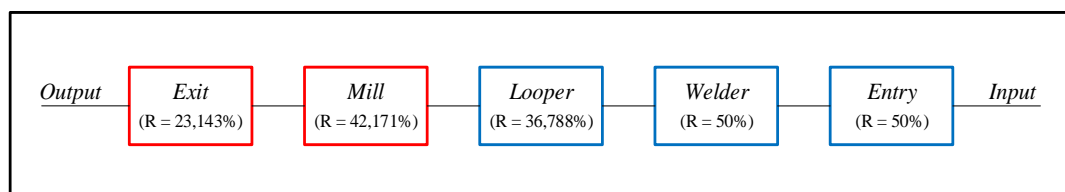
Jadi, berdasarkan perhitungan di atas dapat diketahui nilai *reliability* keseluruhan untuk unit produksi CTCM adalah sebesar 0,3883%.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka usulan yang diberikan adalah berupa peningkatan keandalan pada lokasi yang termasuk ke dalam komponen kritis sebesar 10%. Usulan kenaikan ini ditentukan dari hasil diskusi dengan pihak perusahaan dengan mempertimbangkan umur dari unit produksi CTCM yang sudah melewati umur efektif unit produksi tersebut, yaitu 32 tahun (sedangkan umur efektifnya adalah 20 tahun). Berikut ini merupakan hasil perhitungan usulan MTBF dari komponen kritis unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* :

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Nilai *Reliability* Usulan pada Unit Produksi CTCM

Lokasi	Distribusi	Waktu Kegagalan		<i>Reliability</i>
		t (menit)	Hari	
<i>Mill</i>	<i>Lognormal</i>	<b>11545,46</b>	<b>8,017679</b>	<b>42,171%</b>
<i>Exit</i>	<i>Lognormal</i>	<b>40629,61</b>	<b>28,215</b>	<b>23,123%</b>
<i>Welder</i>	Normal	7543,333	5,238426	50%
<i>Entry</i>	Normal	14877,5	10,3316	50%
<i>Looper</i>	Ekspensial	24641,23	17,11197	36,788%

Berikut adalah gambar diagram blok unit produksi CTM beserta nilai *reliability* usulan pada lokasi *Mill* dan *Exit* :



Gambar 4. 8 *Reliability Block Diagram* Usulan Unit Produksi (CTCM)

Pada gambar di atas, rangkaian untuk *reliability* usulan tidak berubah dari *reliability* awalan, hanya pada lokasi *Mill* dan *Exit* yang berubah nilai *reliability*-nya karena dinaikkan 10% untuk perhitungan *reliability* usulan secara keseluruhan. Berikut adalah contoh perhitungannya :

$$R_{(seri)} = R_{(Entry)} \times R_{(Welder)} \times R_{(Looper)} \times R_{(Mill)} \times R_{(Exit)}$$

$$R_{(seri)} = 50\% \times 50\% \times 36,788\% \times 42,171\% \times 23,143\% = \mathbf{0,897\%}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa nilai *reliability* usulan untuk unit produksi CTCM adalah sebesar 0.897%. Artinya, dengan meningkatkan reliabilitas pada lokasi *Mill* dan *Exit* hingga 10%, maka *reliability* keseluruhan meningkat hingga 0,51% dari kondisi sebenarnya. Untuk dapat meningkatkan *reliability* pada unit produksi tersebut, maka perusahaan perlu adanya kebijakan perawatan pada unit produksi CTCM yaitu perawatan secara preventif selain melakukan perawatan secara korektif (perawatan yang dilakukan saat kerusakan terjadi) serta melakukan pemeriksaan mesin secara intensif sebelum dan setelah penggunaan untuk setiap *shift* kerja.



## BAB V

### PEMBAHASAN

#### 5.1. Analisa Komponen Kritis Unit Produksi CTCM

Berdasarkan data kerusakan pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* pada bulan Januari 2019 hingga Oktober 2019, diperoleh waktu total *downtime* sebesar 19177 menit, atau setara dengan 320 jam. Penentuan komponen kritis yang ada pada unit produksi CTCM ditentukan berdasarkan kumulatif *downtime* dari lokasi produksi yang terdapat pada unit produksi tersebut yang memiliki jumlah *downtime* tertinggi hingga jumlah *downtime* terendah dan kemudian diambil 80% dari persentase kumulatif berdasarkan Diagram Pareto dari jumlah *downtime*. Berdasarkan Diagram Pareto pada gambar 4.3, terdapat 2 lokasi dari 5 lokasi produksi yang menjadi lokasi kritis pada unit produksi CTCM, yaitu lokasi *Mill* dan *Exit*.

Lokasi pertama yang menjadi komponen kritis adalah lokasi *Mill* dengan persentase kumulatif tertinggi yaitu sebesar 64,71% dari persentase kumulatif *downtime* pada unit produksi CTCM. Lokasi ini terdiri dari 5 *Milling Stand* yang berfungsi untuk mereduksi ketebalan lembaran baja sesuai dengan jenis ketebalan yang dipesan oleh konsumen. Kerusakan pada lokasi ini akan menghambat pada proses selanjutnya yang dikerjakan pada lokasi *Exit* dan proses – proses yang dikerjakan pada lokasi sebelumnya karena semua lokasi pada unit produksi CTCM memiliki rangkaian seri. Dengan demikian, jika salah satu lokasi mengalami kerusakan, maka akan menghambat pada proses pada lokasi sebelum dan lokasi setelahnya.

Lokasi kedua yang menjadi komponen kritis adalah lokasi *Exit* dengan persentase kumulatif tertinggi kedua yaitu sebesar 18.14%. Lokasi ini terdiri dari beberapa komponen yang mengerjakan proses akhir pada lembaran baja yaitu *Front Shear Pinch Roll*, *Flying Shear*, *Strip Switch Unit*, dan *Recoiler*. Sama halnya dengan lokasi *Mill*, jika

pada lokasi *Exit* terjadi kerusakan pada komponen – komponen tertentu, maka akan menghambat proses pada lokasi sebelumnya. Hal tersebut dikarenakan lembaran baja yang dikerjakan terdiri dari beberapa gulungan lembaran baja yang diproses setelah melalui proses produksi di unit produksi CPL dengan menggabungkan beberapa gulungan lembaran baja melalui proses *welding* pada lokasi *Welder*, sehingga apabila ada salah satu komponen pada suatu lokasi mengalami kerusakan, maka semua pekerjaan akan terhambat.

## 5.2. Analisa Distribusi Statistik Unit Produksi CTCM

Penentuan distribusi kerusakan dilakukan untuk mengetahui pola distribusi yang sesuai pada setiap komponen kritis pada unit produksi CTCM berdasarkan rata-rata waktu kerusakan MTBF (*Mean Time Before Failure*). Terdapat perbedaan perhitungan MTBF pada setiap distribusi statistik. Untuk distribusi eksponensial, nilai MTBF berbanding terbalik dengan parameter distribusi eksponensial yaitu berdasarkan laju kerusakan ( $\lambda$ ). Untuk distribusi normal, nilai MTBF diperoleh dari parameter distribusi normal, yaitu nilai rata-rata ( $\mu$ ). Sedangkan pada distribusi *lognormal*, nilai MTBF diperoleh dari hasil kali nilai  $t_{med}$  dengan bilangan  $\exp$  (bilangan alam) dari  $\frac{s^2}{2}$ . Nilai  $t_{med}$  pada distribusi *lognormal* adalah parameter lokasi yang merupakan nilai median dari TBF, dan nilai  $s$  merupakan parameter bentuk, menunjukkan bentuk kerusakan terhadap waktu.

Pola distribusi kerusakan ditentukan untuk mengetahui pola yang sesuai dengan data yang telah didapatkan. Penentuan pola tersebut dilakukan dengan perhitungan *Least Square Curve Fitting* untuk pendugaan distribusi awal yang dilihat dari nilai *Index of Fit* terbesar dengan menghitung nilai *Index of Fit* dari waktu kerusakan dengan 4 dugaan distribusi yaitu normal, eksponensial, *lognormal*, dan *Weibull*. Dari hasil perhitungan yang dilakukan secara manual dan pengolahan menggunakan perangkat lunak *Minitab*, dapat diketahui bahwa nilai *Index of Fit* yang diperoleh dari dua cara tersebut memiliki nilai yang berdekatan. Hal ini membuktikan bahwa tidak ada kesalahan dalam perhitungan yang dilakukan manual, sedangkan pada perangkat lunak *Minitab*, dugaan distribusi yang terpilih yaitu distribusi statistik yang memiliki sebaran data yang paling mengikuti garis lurus. Pada lokasi *Mill* dan lokasi *Exit*, dugaan distribusi yang memiliki nilai *Index of Fit* terbesar adalah distribusi *lognormal* dengan masing-masing nilai *Index of Fit* adalah 0,987 dan 0,988. Sementara untuk lokasi *Welder* dengan dugaan distribusi

normal adalah 0,960 dan *Entry* dengan dugaan distribusi eksponensial adalah 0,99. Lokasi *Looper* memiliki waktu kerusakan tidak lebih dari 3 kali. Dengan pendekatan empiris, lokasi *Looper* dianggap memiliki dugaan distribusi Eksponensial

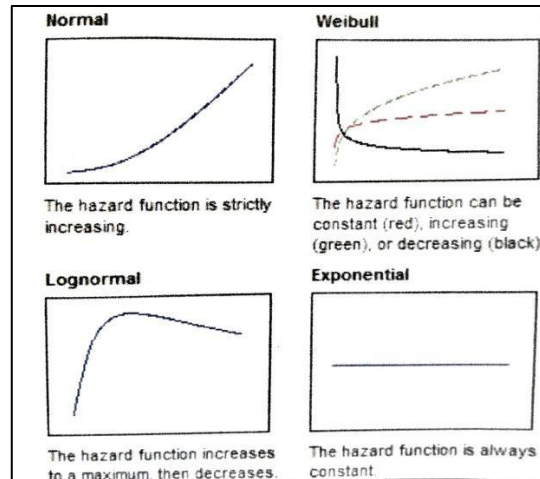
Setelah mengetahui dugaan distribusi pada komponen tersebut, kemudian dilakukan uji hipotesa dengan tujuan yaitu mengetahui apakah pola data tersebut mengikuti distribusi yang ditentukan atau tidak. Setiap distribusi statistik yang digunakan dalam pendugaan, memiliki pengujian hipotesa yang berbeda. Untuk distribusi normal dan *lognormal* dilakukan uji *Kolmogorov-smirnov*, untuk distribusi eksponensial dilakukan uji *Bartlett*, sedangkan distribusi *Weibull* dilakukan uji *Mann*. Pengujian distribusi pada perhitungan manual dilakukan dengan dugaan awal ( $H_0$ ) bahwa pola data tersebut mengikuti distribusi yang ditentukan. Jika pola tersebut ternyata tidak sesuai dengan distribusi yang ditentukan ( $H_1$ ), maka dilakukan pemilihan distribusi berdasarkan nilai *Index of Fit* terbesar selanjutnya dan dilakukan pengujian ulang. Pada lokasi *Mill* dan *Exit* yang terduga berdistribusi *lognormal*, dilakukan pengujian hipotesa dengan melakukan uji *Kolmogorov-smirnov*. Hasil yang diperoleh adalah data yang terdapat pada kedua lokasi tersebut mengikuti distribusi *lognormal* ( $H_0$  diterima). Artinya, untuk perhitungan parameter, laju kerusakan dan *reliability* pada lokasi *Mill* dan *Exit* berdasarkan distribusi *Lognormal*. Untuk lokasi *Welder* dan *Entry* dilakukan perhitungan berdasarkan distribusi normal, dikarenakan hipotesa kedua lokasi tersebut pada uji *Kolmogorov-smirnov* diterima. Lokasi *Entry* sebelumnya dilakukan uji *Bartlett* dikarenakan memiliki dugaan distribusi eksponensial, tetapi hasil pengujian ditolak. Untuk lokasi *Looper* dilakukan perhitungan berdasarkan distribusi eksponensial.

### 5.3. Analisa Laju Kerusakan Unit Produksi CTCM

Pada gambar 2. 5, terdapat 3 kondisi yang muncul pada *bathtub curve*. Kondisi yang pertama yaitu ketika fase awal penggunaan suatu alat yang ditunjukkan dengan kurva yang terus menurun seiring bertambahnya waktu. Kerusakan yang timbul pada fase ini biasanya diakibatkan oleh kurangnya pengetahuan pengguna dalam mengoperasikan alat tersebut. Kondisi yang kedua yaitu fase kegagalan *random* dengan kurva laju kerusakan konstan, yaitu kerusakan yang muncul relatif konstan yang disebabkan oleh *human error*. Kondisi ketiga yaitu fase kegagalan *wearout* atau fase akhir dari penggunaan suatu alat

dengan kurva laju kerusakan meningkat. Fase ini ditandai dengan terjadinya peningkatan kerusakan yang biasanya disebabkan oleh usia alat dan *fatigue* dari alat yang digunakan.

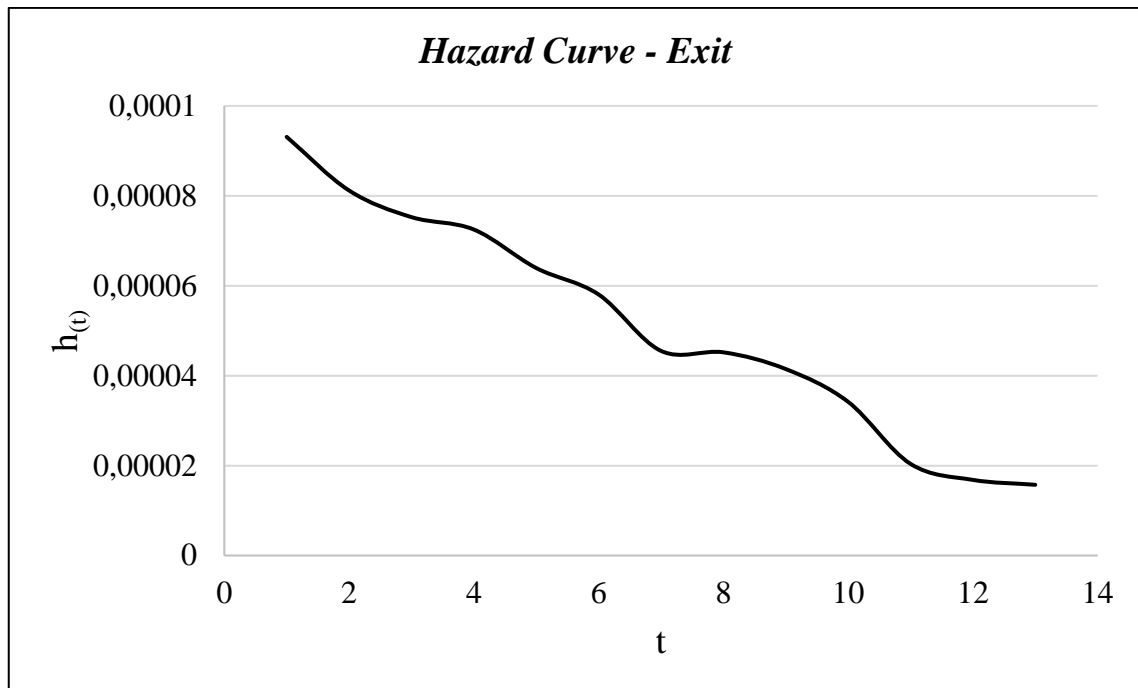
Setiap distribusi statistik memiliki laju kerusakan yang berbeda. Berikut adalah gambar mengenai laju kerusakan setiap distribusi :



Gambar 5. 1 *Hazard Plot* Setiap Distribusi Statistik  
(Sumber : Ebeling, 1997)

Lokasi *Mill* dan *Exit* merupakan 2 komponen kritis pada unit produksi CTCM yang memiliki distribusi *lognormal*. Laju kerusakan lokasi *Mill* yang terdapat pada gambar 4. 6 menunjukkan bahwa laju kerusakan mengalami peningkatan yang tinggi, kemudian mengalami fluktuasi penurunan dan peningkatan, serta mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu. Hal tersebut terjadi dikarenakan usia pada unit produksi CTCM adalah 32 tahun (usia produktif unit produksi tersebut adalah 20 tahun), serta komponen – komponen yang terdapat pada lokasi tersebut mengalami *fatigue*. Selain faktor tersebut, rendahnya *quality control* terhadap baja yang diproses dan kurangnya keterampilan operator dalam menggunakan mesin tersebut dapat menjadi faktor pada kerusakan tersebut yang ditandai dengan kurva laju kerusakan yang menurun.

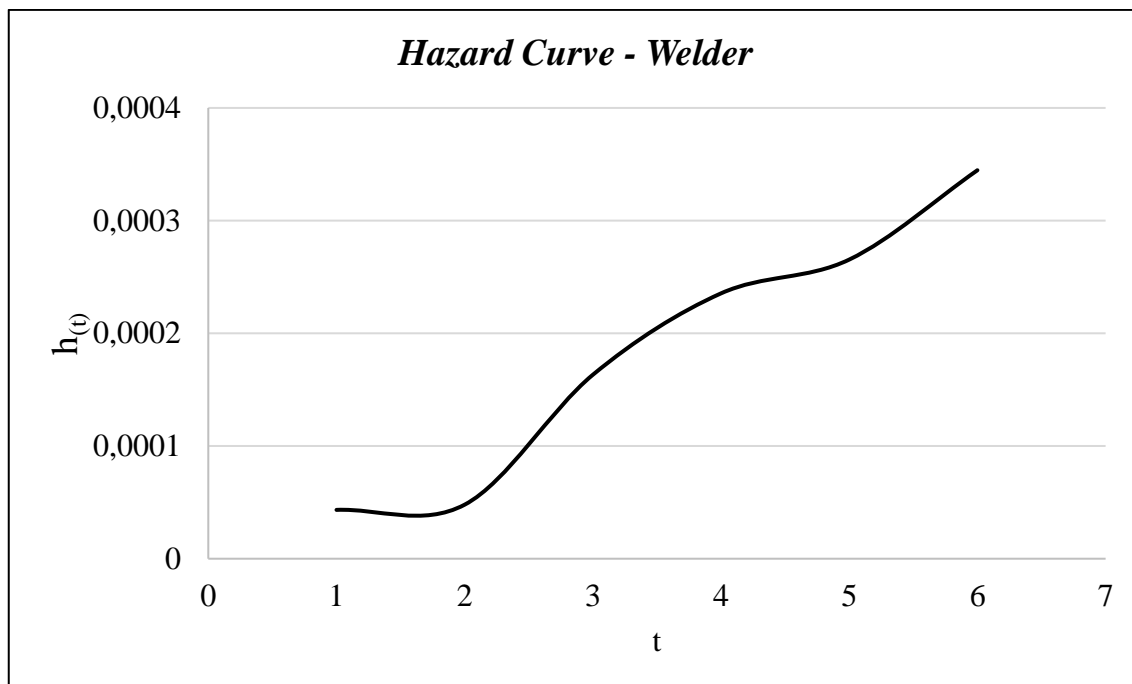
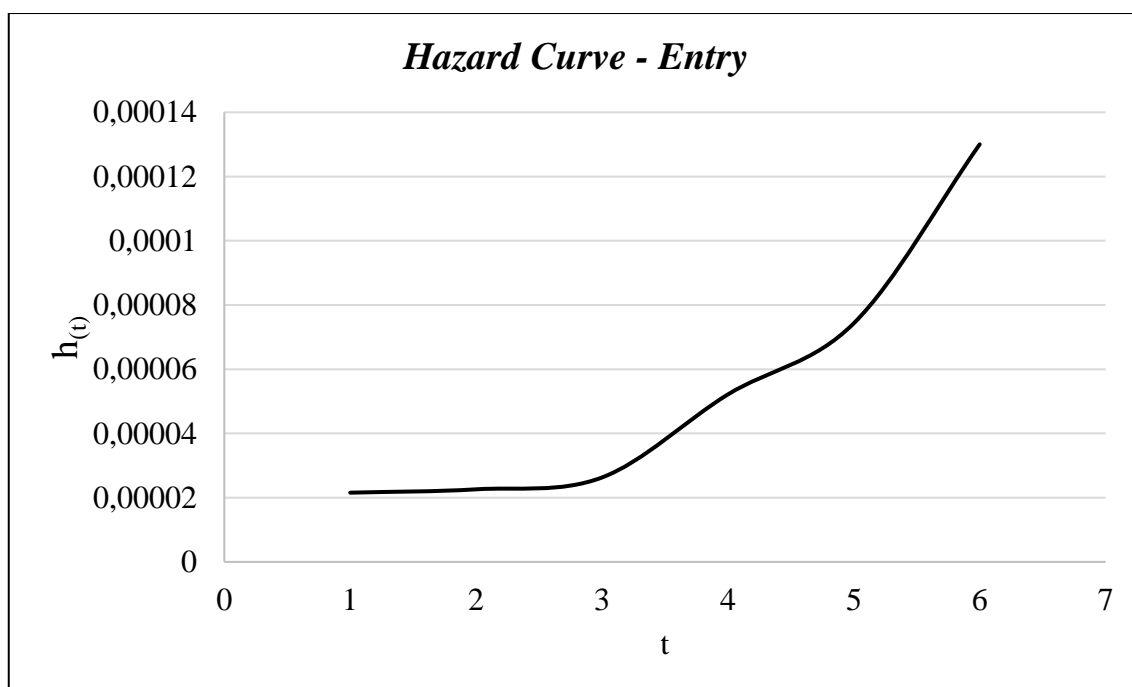
Sedangkan laju kerusakan yang terjadi pada lokasi *Exit* yaitu seperti gambar berikut :



Gambar 5. 2 Kurva Laju Kerusakan Lokasi *Exit*

Berbeda dengan laju kerusakan yang terjadi pada lokasi *Mill*, pada gambar di atas menunjukkan laju kerusakan pada lokasi *Exit* cenderung menurun seiring bertambahnya waktu dikarenakan total *downtime* yang terjadi pada lokasi *Mill* lebih besar dibandingkan pada lokasi *Exit*. Sama halnya dengan faktor penyebab pada lokasi *Mill*, rendahnya *quality control* terhadap baja yang diproses dan kurangnya keterampilan operator dalam menggunakan mesin tersebut dapat menjadi faktor penyebab rusaknya lokasi ini yang ditandai dengan menurunnya kurva laju kerusakan seiring bertambahnya waktu.

Berikut adalah laju kerusakan pada lokasi *Welder* dan *Entry* :

Gambar 5. 3 Kurva Laju Kerusakan Lokasi *Welder*Gambar 5. 4 Kurva Laju Kerusakan Lokasi *Entry*

Pada gambar 5. 3 dan 5. 4, laju kerusakan pada lokasi *Welder* dan *Entry* dengan distribusi statistik normal adalah cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena usia mesin yang sudah lama serta komponen – komponen pada kedua lokasi tersebut mengalami *fatigue*. Sedangkan laju kerusakan yang terjadi pada lokasi *Looper* adalah konstan dikarenakan distribusi statistik pada lokasi tersebut adalah eksponensial. Faktor

yang dapat menyebabkan laju kerusakan yang konstan adalah *human error* yang dilakukan oleh operator selama proses produksi berlangsung.

Selain faktor – faktor yang timbul pada setiap lokasi pada unit produksi CTCM berdasarkan laju kerusakannya, mesin melakukan penyesuaian terlebih dahulu setiap dilakukan perbaikan dikarenakan usia mesin yang sudah melewati masa produktifnya, yaitu 32 tahun (usia produktif CTCM adalah 20 tahun). Di samping laju kerusakan diakibatkan dengan faktor cacat, penyesuaian mesin akibat perbaikan, dari hasil wawancara dengan salah satu *staff* pada divisi *Supply Chain & Improvement* yang dianggap mengerti mengenai mekanisme pabrik dan unit produksi CTCM diperoleh bahwa pada tahun 2019 pabrik CRM memiliki pesanan baja yang tidak begitu banyak dan sedang melakukan efisiensi mesin secara besar – besaran.

#### **5.4. Analisa *Reliability* Awal Unit Produksi CTCM**

Nilai keandalan masing – masing lokasi dihitung setelah menghitung parameter dan *mean time between failure* (MTBF). Untuk komponen kritis, hasil perhitungan MTBF pada lokasi *Mill* adalah sebesar 9112,99 menit dan lokasi *Exit* sebesar 87364,8. Sementara untuk lokasi *Welder* adalah 7534,33 menit, lokasi *Entry* sebesar 14877,5 menit, dan lokasi *Looper* sebesar 24641,2 menit.

Setelah diperoleh nilai MTBF, kemudian menghitung nilai *reliability* atau nilai keandalan dari masing – masing lokasi pada unit produksi CTCM. Perhitungan keandalan ini dilakukan sebagai tolak ukur seberapa besar peluang komponen dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya. Untuk komponen kritis, nilai keandalan masing – masing pada lokasi *Mill* dan *Exit* adalah 32,171% dan 13,123%. Sementara untuk keandalan pada lokasi *Welder* dan *Entry* adalah 50% dan lokasi *Looper* sebesar 36,778%.

Setelah mengetahui nilai keandalan dari setiap lokasi, kemudian dilakukan perhitungan keandalan unit produksi CTCM menggunakan metode *Reliability Block Diagram* yang merupakan pendekatan yang digunakan untuk menentukan keandalan sistem dengan menggunakan diagram blok dari masing – masing komponen pada sistem mesin tersebut. Diagram blok menggambarkan interaksi antar komponen pada mesin. Hubungan parallel menunjukkan bahwa ketika salah satu komponen tidak berfungsi, maka komponen lainnya masih dapat berfungsi. Sedangkan hubungan seri menunjukkan

jika salah satu komponen tidak berfungsi, maka komponen lainnya tidak dapat berfungsi atau terhambat.

Hubungan antar lokasi pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) diperoleh berdasarkan hasil wawancara dengan salah satu *staff* pada divisi *Supply Chain & Improvement* yang dianggap mengerti mengenai mekanisme pabrik dan unit produksi CTCM. Berdasarkan gambar 4.2, semua lokasi pada unit produksi CTCM memiliki hubungan seri secara keseluruhan. Maka, jika salah satu lokasi mengalami kerusakan, lokasi lainnya tidak dapat beroperasi karena terhambat. Dari hasil perhitungan keandalan menggunakan *Reliability Block Diagram*, diperoleh nilai keandalan untuk unit produksi CTCM adalah 0,3883%. Nilai keandalan yang dihasilkan relatif kecil dikarenakan selain hubungan antar lokasi secara keseluruhan adalah seri, nilai keandalan tersebut memiliki korelasi dengan usia CTCM yang sudah cukup lama, yaitu 32 tahun dengan usia produktif mesin yaitu 20 tahun.

### **5.5. Analisa *Reliability* Usulan Unit Produksi CTCM dan Rekomendasi Perbaikan**

Pada penelitian ini, perhitungan nilai keandalan usulan pada unit produksi CTCM adalah dengan penambahan 10% dari nilai keandalan awalan pada setiap lokasi kritis. Penambahan nilai tersebut dilakukan berdasarkan hasil pertimbangan usia mesin yang sudah cukup lama (32 tahun) serta hasil diskusi dengan salah satu *staff* divisi SCI pada perusahaan ini. Hasil perhitungan *reliability* usulan untuk lokasi *Mill* adalah 42,171% dengan nilai MTBF sebesar 11545,5 menit dan untuk lokasi *Exit* adalah 23,123% dengan nilai MTBF sebesar 40629,6 menit. Sementara untuk lokasi *Welder*, *Entry*, dan *Looper* tidak dilakukan penambahan nilai keandalan. Hasil perhitungan *reliability* usulan menggunakan metode *Reliability Block Diagram* pada unit produksi CTCM adalah sebesar 0,897%. Dengan demikian, terjadi peningkatan keandalan pada unit produksi CTCM sebesar 0,5085%.

Untuk dapat meningkatkan *reliability* pada unit produksi tersebut hingga mencapai nilai keandalan usulan, maka perusahaan perlu membuat dan menerapkan kebijakan perawatan pada unit produksi CTCM yaitu perawatan secara preventif selain melakukan perawatan secara korektif (perawatan yang dilakukan saat kerusakan terjadi). Perawatan secara preventif dilakukan dengan harapan dapat mengantisipasi kerusakan yang terjadi pada waktu mendatang. Selain itu, seluruh karyawan yang bertugas sebagai



operator yang mengoperasikan unit produksi CTCM melakukan pemeriksaan mesin secara intensif sebelum dan setelah penggunaan untuk setiap *shift* kerja. Dengan adanya pemeriksaan intensif dan bertukar informasi dengan operator lain saat pergantian *shift* kerja, maka operator tersebut memiliki catatan khusus pada lokasi yang dioperasikan oleh operator tersebut dan mengambil keputusan dalam melakukan perbaikan mesin.

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terkait dengan *reliability* pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill*, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Komponen yang termasuk ke dalam komponen kritis pada unit produksi *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) di departemen *Cold Rolling Mill* yaitu lokasi *Mill* yang mereduksi lembaran baja dan *Exit* yang melakukan proses akhir dan penggulangan lembaran baja.
2. Nilai *reliability* komponen kritis pada unit produksi CTCM masing – masing adalah 32,171% untuk lokasi *Mill* dan 13,123% untuk lokasi *Exit*. Sedangkan untuk nilai *reliability* sistem keseluruhan pada kondisi nyata adalah sebesar 0,3883%.
3. Nilai *reliability* usulan komponen kritis pada unit produksi CTCM masing – masing adalah 42,171% untuk lokasi *Mill* dan 23,123% untuk lokasi *Exit*. Sedangkan untuk nilai *reliability* sistem keseluruhan pada kondisi nyata adalah sebesar 0,897%. Rekomendasi yang dapat diberikan ke perusahaan untuk meningkatkan keandalan pada unit produksi CTCM yaitu dengan menerapkan kebijakan perawatan secara preventif agar mengurangi kerusakan yang timbul pada unit produksi CTCM serta melakukan pemeriksaan mesin secara intensif sebelum dan setelah penggunaan mesin untuk setiap *shift* kerja.

## 6.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perusahaan dan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Untuk perusahaan
  - a. Diadakannya evaluasi kinerja mesin dan perancangan perawatan di luar jadwal perawatan preventif untuk mempertahankan atau meningkatkan keandalan pada unit produksi CTCM.
  - b. Memberikan arahan pada operator pada setiap lokasi produksi untuk mencatat kejadian kerusakan pada lokasi tersebut secara rinci agar mudah dalam melakukan rekapitulasi kerusakan pada unit produksi CTCM maupun unit produksi lainnya.
  
2. Untuk penelitian selanjutnya
  - a. Dapat mengembangkan penelitian mengenai keandalan mesin menggunakan metode-metode *reliability* lainnya seperti melibatkan koefisien *Redundant* atau *Reliability Centered Maintenance*.
  - b. Adanya penelitian lebih lanjut untuk evaluasi kinerja mesin menggunakan metode – metode yang dapat diterapkan secara langsung di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahyari, Agus. 2002. *Manajemen Produksi dan Pengendalian Produksi*. Yogyakarta: BPFE.
- Alpiandi, Aldi. 2019. Usulan *Preventive Maintenance* di Unit Produksi *Continuous Pickling Line* dan *Continuous Tandem Cold Mill* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* di PT. X. (skripsi). Cilegon: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Ansori, N dkk. 2013. *Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System)*. Graha Ilmu.
- Arifin, M. Z., Haryono, E., & Arumsari, N. (2017). Perawatan Pada Sistem *Utility* Dengan Metode *Preventive Maintenance*. *Proceeding 1st Conference on Marine Engineering and Its Application*, 2–7.
- Blanchard, B. S. 1997. An Enhanced Approach For Implementing Total Productive Maintenance In The Manufacturing Environment. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 3(2), 69-80.
- Budiman, H., M., I. R., Whulanza, Y., & Warjito. (2014). Analisa Reliabilitas dan Simulasi *Reliability Block Diagram* pada Sistem *Straight Run Motor-Gas Compressor*. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII)*, 155–160.
- Djunaidi, M., & Sufa, M. F. (2007). Usulan Interval Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Pencetak Botol (*Mould Gear*). *Jurnal Teknik Gelagar*, 18(1), 33–41.
- Ebeling, C. 1997. *Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Govil, A. K. 1993. *Reliability Engineering*. New Delhi: Mc Graw Hill Publishing.
- Hasibuan, Ginda B. 2009. Sistem Pemeliharaan Mesin Press di PT. Multi Mekanika Serasi (Skripsi). Jakarta: Teknik Industri Universitas Mercu Buana
- Juran, J., & Godfrey, A. (1998). *Juran's Quality Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Kudin, A. W. 2012. Analisa Penjadwalan *Maintenance* Komponen Listrik Pada Unit Stand 3 PT. XYZ Dengan *Reliability Block Diagram*. (skripsi). Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Cilegon: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Langga, K. D., & Sabri, M. (2019). ANALISA KEANDALAN POMPA SENTRIFUGAL MENGGUNAKAN *ANALYSIS OF VARIANT* DAN *RELIABILITY BLOCK DIAGRAM* BERDASARKAN IDENTIFIKASI KEGAGALAN MELALUI *FAULT TREE*. *Jurnal Dinamis*, 7(1), 106–115.
- Soesatyo, I. dan Bendatu L. Y. 2014. Penjadwalan Preventive Maintenance dan Biaya Perawatan Mesin Pallet di PT. Charoen Pokphand Indonesia – Sepanjang. *Jurnal Teknik Industri Kristen Petra*, Vol. 2 No. 2 Juni 2014 Hal 147 – 154.
- Sugiyono, 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&B*. Bandung: Alfabeta.
- Sujatman, E. S., Atmaji, F. T. D., & Supratman, N. A. (2016). *Performance Assessment* Berbasis *Reliability* Menggunakan Metode *Reliability, Availability, Maintainability (RAM) Analysis* dan *Cost of Unreliability (COUR)* pada Mesin Cincin Milacron di Direktorat *Aerostructure* PT. Dirgantara Indonesia. *E-Proceeding of Engineering*, 3(2), 2478–2484.

# LAMPIRAN

**Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk.**



Gambar 1. Tampak Depan Pabrik Cold Rolling Mill (CRM)



Gambar 2. Lokasi *Looper* pada Unit Produksi CTCM





Gambar 3. Gulungan Lembaran Baja Selesai Diproses di Lokasi *Exit*



Gambar 4. *Indoor Temporary Storage* Gulungan Lembaran Baja

**Lampiran 2. Data *Downtime* Pabrik *Cold Rolling Mill* PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk Tahun 2019.**

Tabel 1. Data *Downtime* Seluruh Unit Produksi Pabrik CRM Tahun 2019

<b>Unit Produksi</b>	<b><i>Downtime</i> (menit)</b>
CAL	0
CPL	5916
ECL1	5170
ECL2	4875
PRP	1930
REC	7515
CTCM	19177
TPM	8795
SHR	0

Keterangan :

- CAL : *Continuous Annealing Line*  
CPL : *Continuous Pickling Line*  
ECL : *Electrolytic Cleaning Line*  
PRP : *Preparation Line* (bagian dari *Temper Pass Mill*)  
REC : *Recoiling Line* (bagian dari *Temper Pass Mill*)  
CTCM : *Continuous Tandem Cold Mill*  
TPM : *Temper Pass Mill*  
SHR : *Shearing Line* (bagian dari *Temper Pass Mill*)



### Lampiran 3. Waktu Kerusakan Komponen.

#### 1. Lokasi *Exit*

Tabel 2. Perhitungan Waktu Kerusakan Lokasi *Exit*

<i>Delay start</i>		<i>Delay Finish</i>		<b>TTR</b> (menit)	<b>TTF</b> (menit)	<b>TBF</b> (menit)
1/7/2019	0:00	1/7/2019	2:24	144		
1/9/2019	6:00	1/9/2019	14:00	480	3096	3240
1/11/2019	17:15	1/11/2019	19:25	130	3075	3555
1/14/2019	22:58	1/15/2019	0:38	100	4533	4663
2/1/2019	22:00	2/1/2019	1:25	205	25762	25862
2/5/2019	19:00	2/5/2019	3:55	535	5375	5580
2/14/2019	3:35	2/14/2019	7:09	214	11500	12035
4/20/2019	22:00	4/21/2019	3:00	300	8091	8305
6/25/2019	15:00	6/25/2019	0:08	548	7920	8220
6/27/2019	10:30	6/27/2019	12:30	120	2062	2610
7/16/2019	14:00	7/16/2019	16:10	130	27450	27570
7/17/2019	10:45	7/17/2019	12:30	105	1115	1245
7/23/2019	22:52	7/24/2019	1:10	138	9262	9367
10/6/2019	19:30	10/6/2019	1:00	330	21260	21398

#### 2. Lokasi *Welder*

Tabel 3. Perhitungan Waktu Kerusakan Lokasi *Exit*

<i>Delay start</i>		<i>Delay Finish</i>		<b>TTR</b> (menit)	<b>TTF</b> (menit)	<b>TBF</b> (menit)
4/21/2019	23:20	4/22/2019	1:27	127		
4/28/2019	22:00	4/28/2019	23:45	105	9873	10000
8/29/2019	6:00	8/29/2019	7:45	105	1815	1920
10/8/2019	11:50	10/8/2019	16:00	250	13205	13310
10/9/2019	14:00	10/9/2019	18:30	270	1320	1570
10/17/2019	4:28	10/17/2019	7:30	182	10678	10948
10/22/2019	9:40	10/22/2019	14:00	260	7330	7512

### 3. Lokasi *Entry*

Tabel 4. Perhitungan Waktu Kerusakan Lokasi *Entry*

<i>Delay start</i>		<i>Delay Finish</i>		<b>TTR</b>	<b>TTF</b>	<b>TBF</b>
				<b>(menit)</b>	<b>(menit)</b>	<b>(menit)</b>
1/28/2019	7:00	1/28/2019	12:45	345		
3/30/2019	14:00	3/30/2019	17:05	185	1515	1860
4/28/2019	18:40	4/28/2019	21:05	145	41855	42040
4/29/2019	14:53	4/29/2019	18:26	213	1068	1213
7/1/2019	9:42	7/1/2019	12:15	153	3796	4009
7/18/2019	4:50	7/18/2019	7:26	156	24035	24188
7/29/2019	6:45	7/29/2019	10:38	233	15799	15955

### 4. Lokasi *Looper*

Tabel 5. Perhitungan Waktu Kerusakan Lokasi *Looper*

<i>Delay start</i>		<i>Delay Finish</i>		<b>TTR</b>	<b>TTF</b>	<b>TBF</b>
				<b>(menit)</b>	<b>(menit)</b>	<b>(menit)</b>
2/13/2019	17:45	2/13/2019	20:35	170		
9/26/2019	14:25	9/26/2019	20:55	390	16910	17080

**Lampiran 4. Perhitungan *Least-Square Curve Fitting*.**

1. Lokasi *Exit*

a. Distribusi Normal

Tabel 6. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi *Exit* – Distribusi Normal

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1245	1245	0,052239	-1,624	-2021,29	1550025	2,64
2	2610	2610	0,126866	-1,141	-2978,88	6812100	1,30
3	3240	3240	0,201493	-0,836	-2709,62	10497600	0,70
4	3555	3555	0,276119	-0,594	-2113,12	12638025	0,35
5	4663	4663	0,350746	-0,383	-1787,36	21743569	0,15
6	5580	5580	0,425373	-0,188	-1049,97	31136400	0,04
7	8220	8220	0,5	0,000	0	67568400	0,00
8	8305	8305	0,574627	0,188	1562,721	68973025	0,04
9	9367	9367	0,649254	0,383	3590,432	87740689	0,15
10	12035	12035	0,723881	0,594	7153,708	1,45E+08	0,35
11	21398	21398	0,798507	0,836	17895,19	4,58E+08	0,70
12	25862	25862	0,873134	1,141	29517,16	6,69E+08	1,30
13	27570	27570	0,947761	1,624	44760,53	7,6E+08	2,64
<b>Total</b>	<b>133650</b>	<b>133650</b>	<b>6,5</b>	<b>0</b>	<b>91819,51</b>	<b>2,34E+09</b>	<b>10,34704</b>

b. Distribusi Ekspensial

Tabel 7. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi *Exit* – Distribusi Ekspensial

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1245	1245	0,052239	0,053653	66,79763	1550025	0,00
2	2610	2610	0,126866	0,135666	354,0879	6812100	0,02
3	3240	3240	0,201493	0,225011	729,0355	10497600	0,05
4	3555	3555	0,276119	0,323129	1148,723	12638025	0,10
5	4663	4663	0,350746	0,431932	2014,097	21743569	0,19
6	5580	5580	0,425373	0,554034	3091,512	31136400	0,31
7	8220	8220	0,5	0,693147	5697,67	67568400	0,48
8	8305	8305	0,574627	0,854789	7099,019	68973025	0,73
9	9367	9367	0,649254	1,047692	9813,733	87740689	1,10
10	12035	12035	0,723881	1,286922	15488,1	1,45E+08	1,66
11	21398	21398	0,798507	1,602003	34279,66	4,58E+08	2,57
12	25862	25862	0,873134	2,064626	53395,37	6,69E+08	4,26
13	27570	27570	0,947761	2,95193	81384,7	7,6E+08	8,71
<b>Total</b>	<b>133650</b>	<b>133650</b>	<b>6,5</b>	<b>12,22453</b>	<b>214562,5</b>	<b>2,34E+09</b>	<b>20,17777</b>

c. Distribusi Lognormal

Tabel 8. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi Exit – Distribusi Lognormal

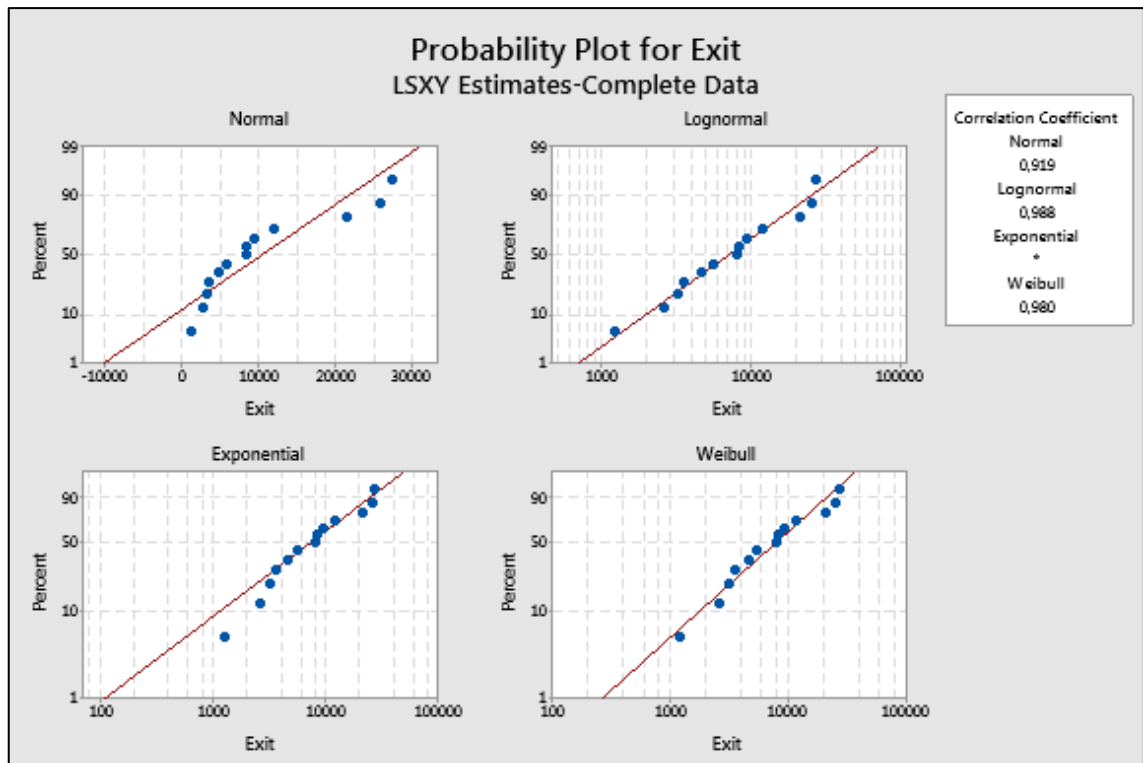
No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1245	7,126891	0,052239	-1,624	-11,5707	50,79257	2,64
2	2610	7,867106	0,126866	-1,141	-8,97899	61,89135	1,30
3	3240	8,083329	0,201493	-0,836	-6,7601	65,3402	0,70
4	3555	8,17611	0,276119	-0,594	-4,85995	66,84878	0,35
5	4663	8,447414	0,350746	-0,383	-3,23795	71,35881	0,15
6	5580	8,626944	0,425373	-0,188	-1,6233	74,42416	0,04
7	8220	9,014325	0,5	0,000	0	81,25806	0,00
8	8305	9,024613	0,574627	0,188	1,698128	81,44364	0,04
9	9367	9,144948	0,649254	0,383	3,505318	83,63008	0,15
10	12035	9,395574	0,723881	0,594	5,584811	88,27682	0,35
11	21398	9,971053	0,798507	0,836	8,338811	99,42189	0,70
12	25862	10,16053	0,873134	1,141	11,59655	103,2364	1,30
13	27570	10,22448	0,947761	1,624	16,59969	104,5401	2,64
<b>Total</b>	<b>133650</b>	<b>115,2633</b>	<b>6,5</b>	<b>0</b>	<b>10,29234</b>	<b>1032,463</b>	<b>10,34704</b>

d. Distribusi Weibull

Tabel 9. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi Exit – Distribusi Weibull

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1245	7,126891	0,052239	0,053653	0,382377	50,79257	0,00
2	2610	7,867106	0,126866	0,135666	1,067298	61,89135	0,02
3	3240	8,083329	0,201493	0,225011	1,818838	65,3402	0,05
4	3555	8,17611	0,276119	0,323129	2,641937	66,84878	0,10
5	4663	8,447414	0,350746	0,431932	3,648706	71,35881	0,19
6	5580	8,626944	0,425373	0,554034	4,779624	74,42416	0,31
7	8220	9,014325	0,5	0,693147	6,248254	81,25806	0,48
8	8305	9,024613	0,574627	0,854789	7,714136	81,44364	0,73
9	9367	9,144948	0,649254	1,047692	9,581091	83,63008	1,10
10	12035	9,395574	0,723881	1,286922	12,09137	88,27682	1,66
11	21398	9,971053	0,798507	1,602003	15,97366	99,42189	2,57
12	25862	10,16053	0,873134	2,064626	20,9777	103,2364	4,26
13	27570	10,22448	0,947761	2,95193	30,18196	104,5401	8,71
<b>Total</b>	<b>133650</b>	<b>115,2633</b>	<b>6,5</b>	<b>12,22453</b>	<b>117,1069</b>	<b>1032,463</b>	<b>20,17777</b>

e. Hasil *Least Square Curve Fitting* dengan *Minitab*



Gambar 5. Hasil *Least-Square Curve Fitting* Lokasi *Exit* dengan *Software Minitab*

2. Lokasi *Welder*

a. Distribusi Normal

Tabel 10. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi *Welder* – Distribusi Normal

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1570	1570	0,109375	-1,230	-1930,88	2464900	1,51
2	1920	1920	0,265625	-0,626	-1202,11	3686400	0,39
3	7512	7512	0,421875	-0,197	-1480,61	56430144	0,04
4	10000	10000	0,578125	0,197	1970,991	1E+08	0,04
5	10948	10948	0,734375	0,626	6854,532	1,2E+08	0,39
6	13310	13310	0,890625	1,230	16369,42	1,77E+08	1,51
<b>Total</b>	<b>45260</b>	<b>45260</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>20581,35</b>	<b>4,6E+08</b>	<b>3,886801</b>

b. Distribusi Eksponensial

Tabel 11. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi Welder – Distribusi Eksponensial

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1570	1570	0,109375	0,115832	181,856	2464900	0,01
2	1920	1920	0,265625	0,308735	592,7721	3686400	0,10
3	7512	7512	0,421875	0,547965	4116,314	56430144	0,30
4	10000	10000	0,578125	0,863046	8630,462	1E+08	0,74
5	10948	10948	0,734375	1,32567	14513,43	1,2E+08	1,76
6	13310	13310	0,890625	2,212973	29454,67	1,77E+08	4,90
<b>Total</b>	<b>45260</b>	<b>45260</b>	<b>3</b>	<b>5,374221</b>	<b>57489,51</b>	<b>4,6E+08</b>	<b>7,808499</b>

c. Distribusi Lognormal

Tabel 12. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi Welder – Distribusi Lognormal

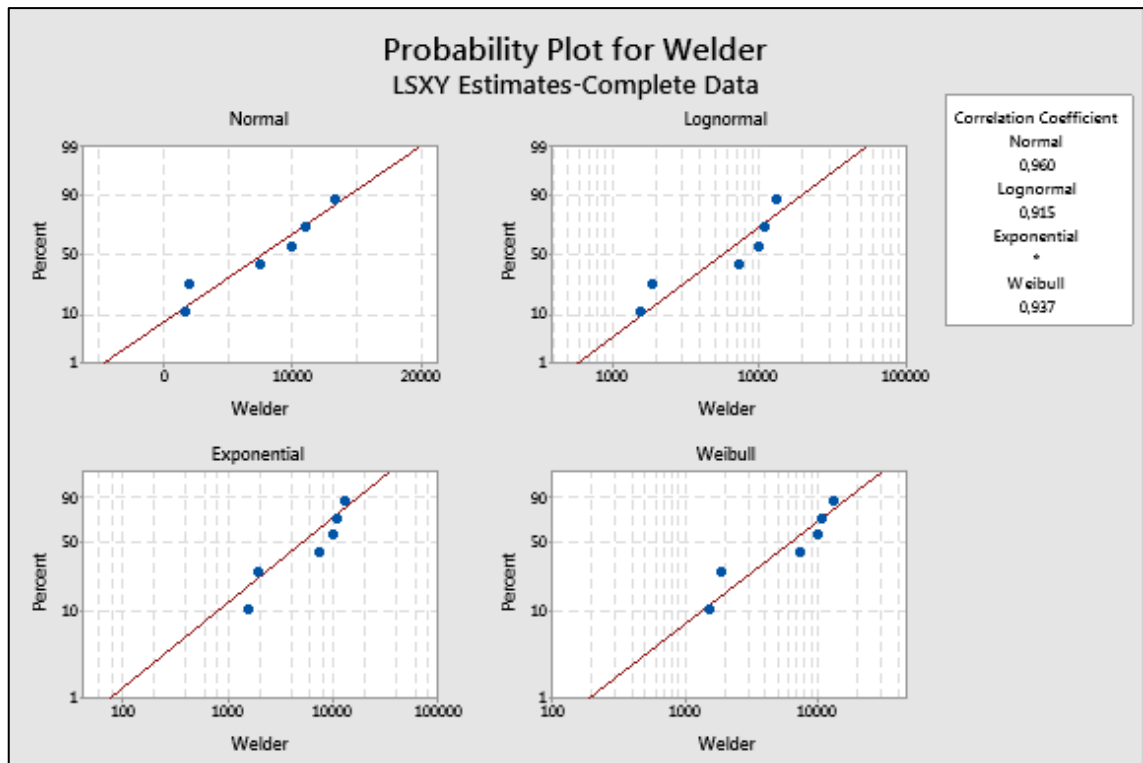
No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1570	7,358831	0,109375	-1,230	-9,05032	54,15239	1,51
2	1920	7,56008	0,265625	-0,626	-4,73336	57,15482	0,39
3	7512	8,924257	0,421875	-0,197	-1,75896	79,64236	0,04
4	10000	9,21034	0,578125	0,197	1,81535	84,83037	0,04
5	10948	9,300912	0,734375	0,626	5,823292	86,50697	0,39
6	13310	9,496271	0,890625	1,230	11,67907	90,17916	1,51
<b>Total</b>	<b>45260</b>	<b>51,85069</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>3,775069</b>	<b>452,4661</b>	<b>3,886801</b>

d. Distribusi Weibull

Tabel 13. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi Welder – Distribusi Weibull

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1570	7,358831	0,109375	0,115832	0,852387	54,15239	0,01
2	1920	7,56008	0,265625	0,308735	2,334065	57,15482	0,10
3	7512	8,924257	0,421875	0,547965	4,890182	79,64236	0,30
4	10000	9,21034	0,578125	0,863046	7,948949	84,83037	0,74
5	10948	9,300912	0,734375	1,32567	12,32994	86,50697	1,76
6	13310	9,496271	0,890625	2,212973	21,01499	90,17916	4,90
<b>Total</b>	<b>45260</b>	<b>51,85069</b>	<b>3</b>	<b>5,374221</b>	<b>49,37051</b>	<b>452,4661</b>	<b>7,808499</b>

e. Hasil *Least Square Curve Fitting* dengan *Minitab*



Gambar 6. Hasil *Least-Square Curve Fitting* Lokasi *Welder* dengan *Software Minitab*

3. Lokasi *Entry*

a. Distribusi Normal

Tabel 14. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi *Entry* – Distribusi Normal

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1213	1213	0,109375	-1,230	-1491,82	1471369	1,51
2	1860	1860	0,265625	-0,626	-1164,54	3459600	0,39
3	4009	4009	0,421875	-0,197	-790,17	16072081	0,04
4	15955	15955	0,578125	0,197	3144,716	2,55E+08	0,04
5	24188	24188	0,734375	0,626	15144,08	5,85E+08	0,39
6	42040	42040	0,890625	1,230	51703,26	1,77E+09	1,51
<b>Total</b>	<b>89265</b>	<b>89265</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>66545,53</b>	<b>2,63E+09</b>	<b>3,886801</b>

b. Distribusi Eksponensial

Tabel 15. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi Entry – Distribusi Eksponensial

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1213	1213	0,109375	0,115832	140,504	1471369	0,01
2	1860	1860	0,265625	0,308735	574,248	3459600	0,10
3	4009	4009	0,421875	0,547965	2196,792	16072081	0,30
4	15955	15955	0,578125	0,863046	13769,9	2,55E+08	0,74
5	24188	24188	0,734375	1,32567	32065,3	5,85E+08	1,76
6	42040	42040	0,890625	2,212973	93033,38	1,77E+09	4,90
<b>Total</b>	<b>89265</b>	<b>89265</b>	<b>3</b>	<b>5,374221</b>	<b>141780,1</b>	<b>2,63E+09</b>	<b>7,808499</b>

c. Distribusi Lognormal

Tabel 16. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi Entry – Distribusi Lognormal

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1213	7,100852	0,109375	-1,230	-8,73304	50,4221	1,51
2	1860	7,528332	0,265625	-0,626	-4,71348	56,67578	0,39
3	4009	8,296297	0,421875	-0,197	-1,63519	68,82855	0,04
4	15955	9,677528	0,578125	0,197	1,907432	93,65454	0,04
5	24188	10,09361	0,734375	0,626	6,3196	101,881	0,39
6	42040	10,64638	0,890625	1,230	13,09354	113,3453	1,51
<b>Total</b>	<b>89265</b>	<b>53,343</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>6,238853</b>	<b>484,8073</b>	<b>3,886801</b>

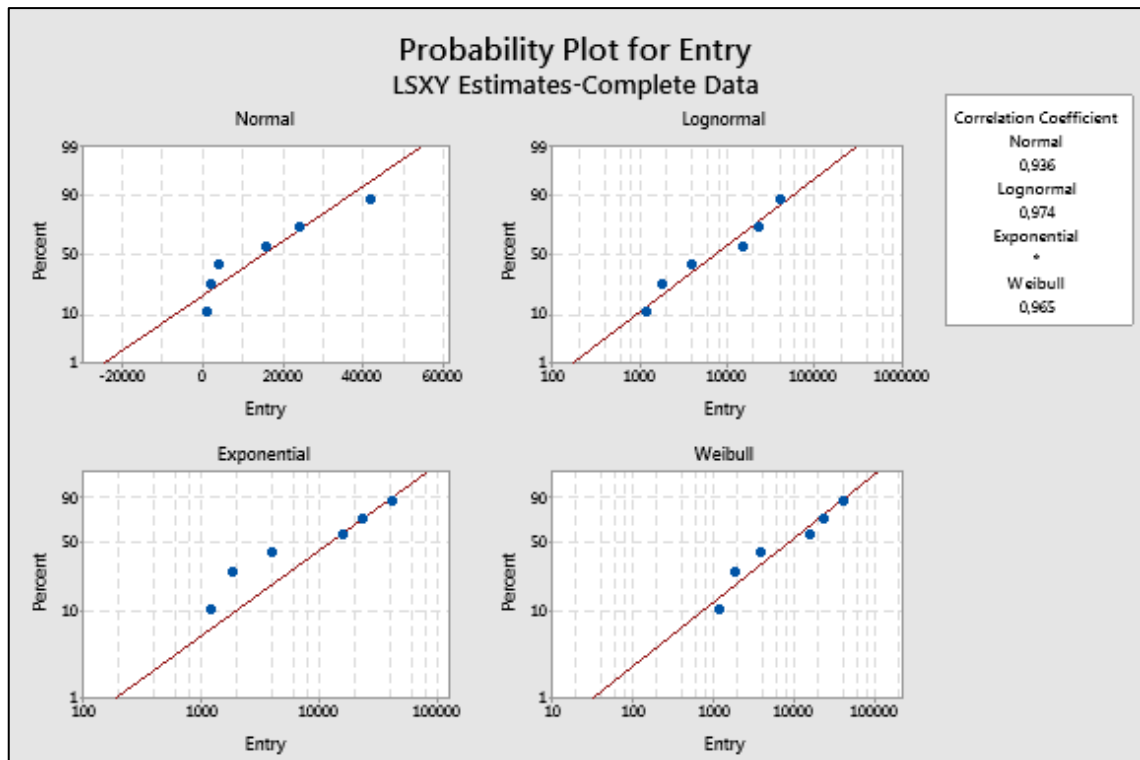
d. Distribusi Weibull

Tabel 17. *Least-Square Curve Fitting* Lokasi Entry – Distribusi Weibull

No.	$t_i$	$x_i$	$F(t_i)$	$y_i$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	1213	7,100852	0,109375	0,115832	0,822505	50,4221	0,01
2	1860	7,528332	0,265625	0,308735	2,324263	56,67578	0,10
3	4009	8,296297	0,421875	0,547965	4,546082	68,82855	0,30
4	15955	9,677528	0,578125	0,863046	8,352154	93,65454	0,74
5	24188	10,09361	0,734375	1,32567	13,3808	101,881	1,76
6	42040	10,64638	0,890625	2,212973	23,56014	113,3453	4,90
<b>Total</b>	<b>89265</b>	<b>53,343</b>	<b>3</b>	<b>5,374221</b>	<b>52,98594</b>	<b>484,8073</b>	<b>7,808499</b>



e. Hasil *Least Square Curve Fitting* dengan *Minitab*



Gambar 7. Hasil *Least-Square Curve Fitting* Lokasi *Entry* dengan *Software Minitab*

#### 4. Lokasi *Looper*

Pada lokasi *Looper* tidak dilakukan perhitungan *least-square curve fitting* dikarenakan waktu kerusakan pada lokasi ini kurang dari 3, sehingga lokasi ini diasumsikan berdistribusi eksponensial dan tidak dilakukan uji *Goodness of Fit* pada lokasi ini.

## Lampiran 5. Uji Goodness of Fit.

### 1. Lokasi Exit

#### a. Uji Kolmogorov-smirnov

Tabel 18. Uji Kolmogorov-Smirnov Lokasi Exit

No	$t_i$	$t_i - t_{rataan}$	$(i-1)/n$	$Z_i$	$\Phi Z_i$	$d_1$	$d_2$
1	1245	-9035,7692	81645125,59	0	-1,00693185	0,156984	-0,11351
2	2610	-7670,7692	58840700,59	0,076923	-0,85481841	0,196326	-0,15285
3	3240	-7040,7692	49572431,36	0,153846	-0,7846122	0,21634	-0,17286
4	3555	-6725,7692	45235971,75	0,230769	-0,7495091	0,226775	-0,1833
5	4663	-5617,7692	31559331,13	0,307692	-0,62603533	0,265646	-0,22217
6	5580	-4700,7692	22097231,36	0,384615	-0,5238463	0,300193	-0,25671
7	8220	-2060,7692	4246769,822	0,461538	-0,22964887	0,409182	-0,3657
8	8305	-1975,7692	3903664,053	0,538462	-0,2201766	0,412867	-0,36939
9	9367	-913,76923	834974,2071	0,615385	-0,101829	0,459446	-0,41597
10	12035	1754,2308	3077325,592	0,692308	0,195488706	0,577495	-0,53402
11	21398	11117,231	123592820	0,769231	1,238886638	0,892306	-0,84883
12	25862	15581,231	242774752,3	0,846154	1,736347748	0,958749	-0,91527
13	27570	17289,231	298917500,6	0,923077	1,92668457	0,972991	-0,92951

Hipotesis :

$H_0$  : Data berdistribusi *Lognormal*

$H_1$  : Data tidak berdistribusi *Lognormal*

$\alpha$  = 0,05

Wilayah kritis :  $H_0$  ditolak bila  $D_n > D_{crit}$

(nilai  $D_{crit}$  diperoleh dari tabel *Kolmogorov-Smirnov* dengan  $n = 13$  dan  $\alpha = 0,05$  yaitu sebesar 0,36)

Hasil :

$D_n$  : 0,156984

$D_{crit}$  : 0,36

Kesimpulan : karena nilai  $D_n$  (0,156984) <  $D_{crit}$  (0,36), maka  $H_0$  diterima. Sehingga perhitungan *reliability* pada lokasi *Exit* berdasarkan distribusi *Lognormal*.

## 2. Lokasi Welder

### a. Uji Kolmogorov-smirnov

Tabel 19. Uji Kolmogorov-Smirnov Lokasi Welder

No	$t_i$	$t_i - t_{rataan}$	$(i-1)/n$	$Z_i$	$\Phi_{Z_i}$	$d_1$	$d_2$
1	1570	-5973,3333	35680711,11	0	-1,22862856	0,109606	-0,06613
2	1920	-5623,3333	31621877,78	0,166667	-1,15663861	0,12371	-0,08023
3	7512	-31,333333	981,777778	0,333333	-0,00644482	0,497429	-0,45395
4	10000	2456,6667	6035211,111	0,5	0,505300921	0,693326	-0,64985
5	10948	3404,6667	11591755,11	0,666667	0,700290856	0,758127	-0,71465
6	13310	5766,6667	33254444,44	0,833333	1,186120208	0,882213	-0,83873

Hipotesis :

$H_0$  : Data berdistribusi Normal

$H_1$  : Data tidak berdistribusi Normal

$\alpha = 0,05$

Wilayah kritis :  $H_0$  ditolak bila  $D_n > D_{crit}$

(nilai  $D_{crit}$  diperoleh dari tabel Kolmogorov-Smirnov dengan  $n = 6$  dan  $\alpha = 0,05$  yaitu sebesar 0,51926)

Hasil :

$D_n$  : 0,193326

$D_{crit}$  : 0,51926

Kesimpulan : karena nilai  $D_n$  (0,193326) <  $D_{crit}$  (51926), maka  $H_0$  diterima.

Sehingga perhitungan *reliability* pada lokasi *Exit* berdasarkan distribusi Normal.

## 3. Lokasi Entry

### a. Uji Bartlett

Tabel 20. Uji Bartlett Lokasi Welder

No.	$t_i$	$x_i$
1	1213	7,100852
2	1860	7,528332
3	4009	8,296297
4	15955	9,677528
5	24188	10,09361
6	42040	10,64638
<b>Total</b>	<b>89265</b>	<b>53,343</b>

Hipotesis :

$H_0$  : Data berdistribusi Eksponensial

$H_1$  : Data tidak berdistribusi Eksponensial

$\alpha = 0,05$

Wilayah kritis :  $H_0$  diterima bila  $X_{1-\frac{\alpha}{2};r-1}^2 < \beta < X_{\frac{\alpha}{2};r-1}^2$

(nilai  $D_{crit}$  diperoleh dari tabel *Chi* kuadrat dengan  $n = 6$  dan  $\alpha = 0,05$  yaitu sebesar 0,51926)

Perhitungan :

$$\beta = \frac{\left[ \ln\left(\frac{1}{r}\right) \sum_i^r (t_i) - \left\{ \left(\frac{1}{r}\right) \sum_i^r \ln(t_i) \right\} \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}}$$

$$\beta = \frac{\left\{ \left( \ln\left(\frac{1}{6}\right) \times 89265 \right) - \left\{ \left(\frac{1}{6}\right) \times 55,343 \right\} \right\}}{1 + \frac{(6+1)}{(6 \times 6)}}$$

$$\beta = \mathbf{0,600368}$$

Hasil :

$\beta$  : 0,600368

$X_{1-\frac{\alpha}{2};r-1}^2$  : 12,8325

$X_{\frac{\alpha}{2};r-1}^2$  : 0,831212

Kesimpulan : karena nilai  $\beta$  (0,600368)  $< X_{\frac{\alpha}{2};r-1}^2$  (0,831212) , maka  $H_0$  ditolak. Sehingga data tidak berdistribusi eksponensial dan harus dilakukan pengujian ulang dengan nilai *Index of Fit* terbesar selanjutnya

b. Uji *Kolmogorov-smirnov*

Tabel 21. Uji *Kolmogorov-Smirnov* Lokasi Entry

No	$t_i$	$t_i - \text{trataan}$	$(i-1)/n$	$Z_i$	$\Phi Z_i$	$d_1$	$d_2$
1	1213	-13664,5	186718560,3	0	-0,84745392	0,198371	-0,15489
2	1860	-13017,5	169455306,3	0,166667	-0,80732785	0,209739	-0,16626
3	4009	-10868,5	118124292,3	0,333333	-0,67404976	0,25014	-0,20666
4	15955	1077,5	1161006,25	0,5	0,066825102	0,52664	-0,48316
5	24188	9310,5	86685410,25	0,666667	0,577424695	0,718174	-0,6747
6	42040	27162,5	737801406,3	0,833333	1,684581739	0,953965	-0,91049

Hipotesis :

$H_0$  : Data berdistribusi Normal

$H_1$  : Data tidak berdistribusi Normal

$\alpha$  = 0,05

Wilayah kritis :  $H_0$  ditolak bila  $D_n > D_{crit}$

(nilai  $D_{crit}$  diperoleh dari tabel *Kolmogorov-Smirnov* dengan  $n = 6$  dan  $\alpha = 0,05$  yaitu sebesar 0,51926)

Hasil :

$D_n$  : 0,198371

$D_{crit}$  : 0,51926

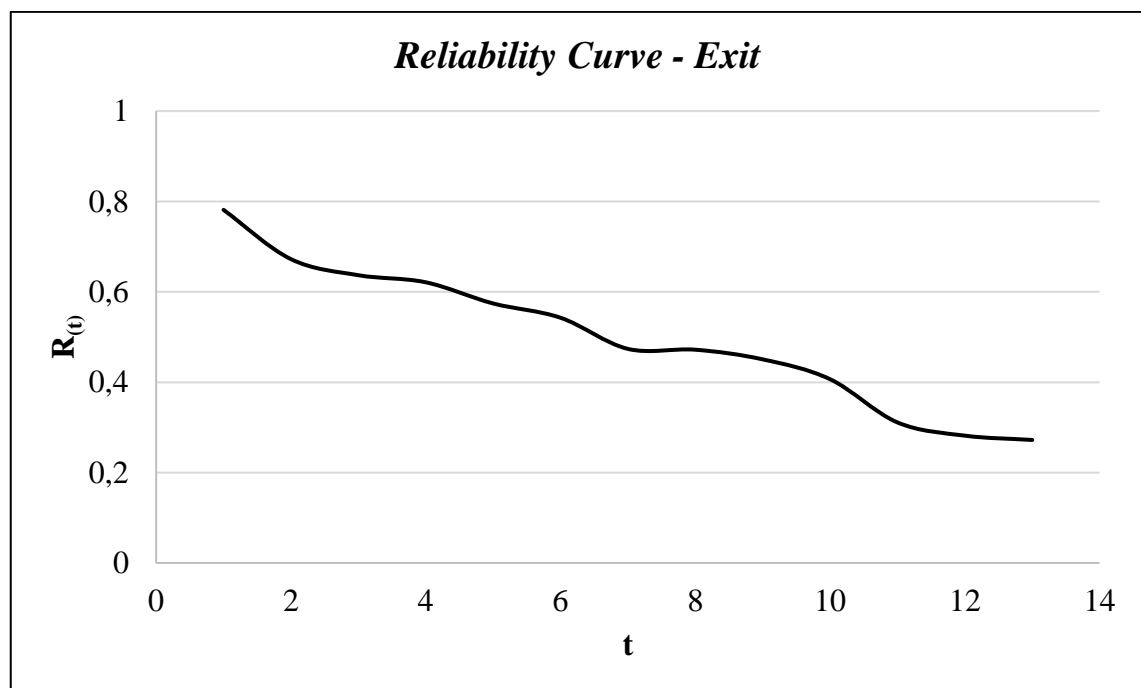
Kesimpulan : karena nilai  $D_n$  (0,198371) <  $D_{crit}$  (51926), maka  $H_0$  diterima.  
Sehingga perhitungan *reliability* pada lokasi *Exit* berdasarkan distribusi Normal.

## Lampiran 5. Perhitungan *Reliability* dan Laju Kerusakan

### 1. Lokasi *Exit*

Tabel 22. Perhitungan Keandalan dan Laju Kerusakan Lokasi *Exit*

No	$t_i$	$t_{med}$	$\hat{s}$	$R(t)$	$h(t)$	$f(t)$	$F(t)$
1	1245			0,781453	9,31E-05	7,27609E-05	0,218547
2	2610			0,6724	8,12E-05	5,45899E-05	0,3276
3	3240			0,636827	7,53E-05	4,79299E-05	0,363173
4	3555			0,62117	7,25E-05	4,50381E-05	0,37883
5	4663			0,574326	6,39E-05	3,67259E-05	0,425674
6	5580			0,542695	5,81E-05	3,1513E-05	0,457305
7	8220	7094,346	2,239278735	0,473781	4,55E-05	2,15645E-05	0,526219
8	8305			0,471953	4,52E-05	2,13289E-05	0,528047
9	9367			0,450618	4,15E-05	1,86907E-05	0,549382
10	12035			0,406707	3,42E-05	1,39053E-05	0,593293
11	21398			0,311001	2,04E-05	6,34089E-06	0,688999
12	25862			0,281757	1,68E-05	4,74035E-06	0,718243
13	27570			0,272194	1,57E-05	4,2815E-06	0,727806

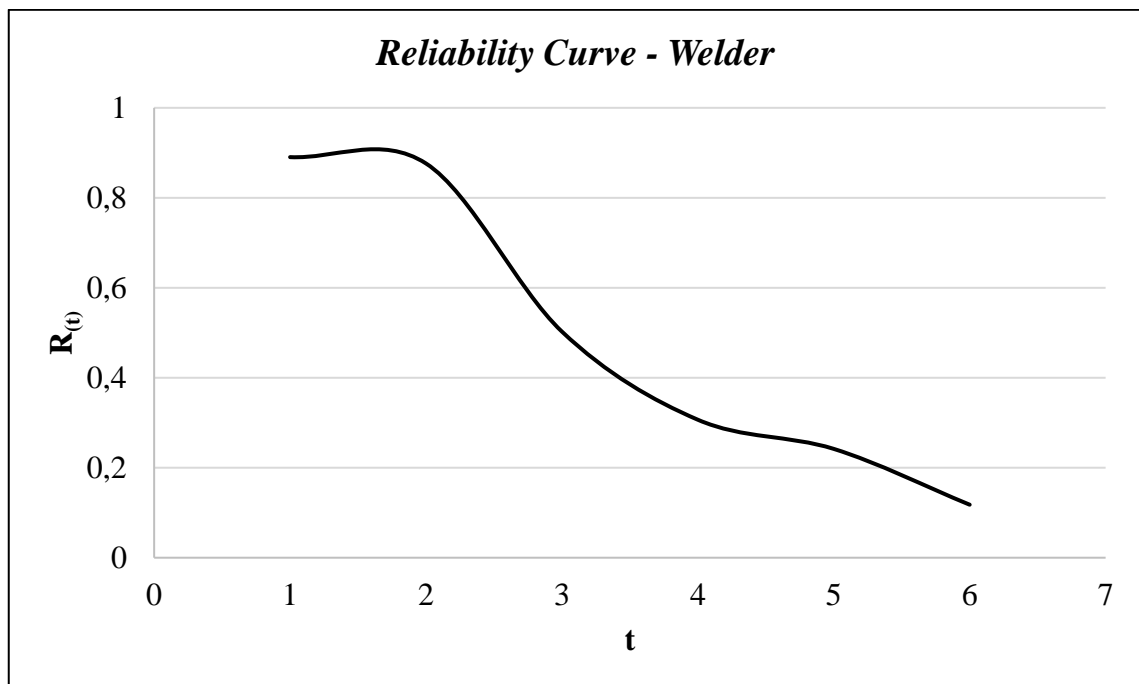


Gambar 8. Laju Keandalan Lokasi *Exit*

## 2. Lokasi Welder

Tabel 23. Perhitungan Keandalan dan Laju Kerusakan Lokasi *Welder*

No	$t_i$	$R(t)$	$h(t)$	$f(t)$	$F(t)$
1	1570	0,890394	4,33E-05	3,85688E-05	0,109606
2	1920	0,87629	4,8E-05	4,20266E-05	0,12371
3	7512	0,502571	0,000163	8,20385E-05	0,497429
4	10000	0,306674	0,000235	7,22075E-05	0,693326
5	10948	0,241873	0,000265	6,42001E-05	0,758127
6	13310	0,117787	0,000345	4,06E-05	0,882213

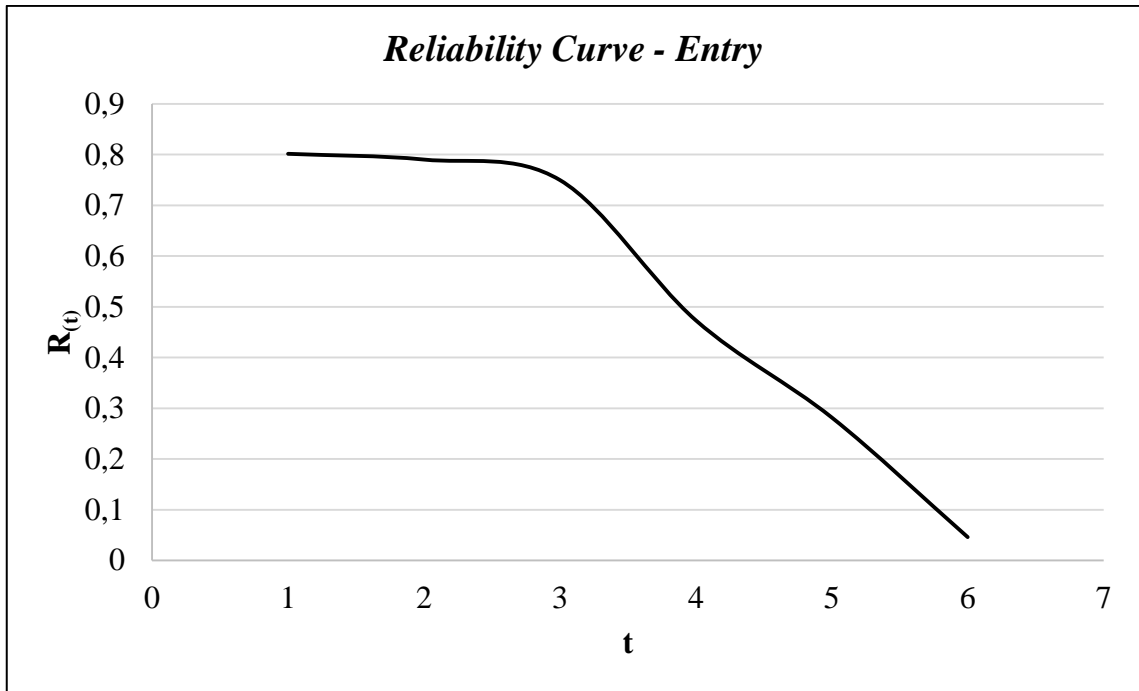


Gambar 9. Laju Keandalan Lokasi *Welder*

## 3. Lokasi Entry

Tabel 24. Perhitungan Keandalan dan Laju Kerusakan Lokasi *Entry*

No	$t_i$	$R(t)$	$h(t)$	$f(t)$	$F(t)$
1	1213	0,801629	2,15E-05	1,72741E-05	0,198371
2	1860	0,790261	2,26E-05	1,78572E-05	0,209739
3	4009	0,74986	2,63E-05	1,971E-05	0,25014
4	15955	0,47336	5,21E-05	2,46817E-05	0,52664
5	24188	0,281826	7,43E-05	2,09384E-05	0,718174
6	42040	0,046035	0,00013	5,98579E-06	0,953965



Gambar 10. Laju Keandalan Lokasi *Entry*

#### 4. Lokasi *Looper*

Dikarenakan lokasi *Looper* berdistribusi eksponensial berdasarkan pendekatan empiris, maka laju kerusakan pada lokasi ini cenderung konstan.



Lampiran 6. Tabel *Kolmogorov-smirnov*

SAMPLE SIZE (N)	LEVEL OF SIGNIFICANCE FOR D = MAXIMUM [ F <sub>0</sub> (X) - S <sub>n</sub> (X) ]				
	.20	.15	.10	.05	.01
1	.900	.925	.950	.975	.995
2	.684	.726	.776	.842	.929
3	.565	.597	.642	.708	.828
4	.494	.525	.564	.624	.733
5	.446	.474	.510	.565	.669
6	.410	.436	.470	.521	.618
7	.381	.405	.438	.486	.577
8	.358	.381	.411	.457	.543
9	.339	.360	.388	.432	.514
10	.322	.342	.368	.410	.490
11	.307	.326	.352	.391	.468
12	.295	.313	.338	.375	.450
13	.284	.302	.325	.361	.433
14	.274	.292	.314	.349	.418
15	.266	.283	.304	.338	.404
16	.258	.274	.295	.328	.392
17	.250	.266	.286	.318	.381
18	.244	.259	.278	.309	.371
19	.237	.252	.272	.301	.363
20	.231	.246	.264	.294	.356
25	.210	.220	.240	.270	.320
30	.190	.200	.220	.240	.290
35	.180	.190	.210	.230	.270
OVER 35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Gambar 11. Tabel *Kolmogorov-smirnov*

Lampiran 7. Tabel *Gamma*

$c$	$\Gamma(x)$	$c$	$\Gamma(x)$	$c$	$\Gamma(x)$	$c$	$\Gamma(x)$
1.01	0.99433	1.51	0.88659	2.01	1.00427	2.51	1.33875
1.02	0.98884	1.52	0.88704	2.02	1.00862	2.52	1.34830
1.03	0.98355	1.53	0.88757	2.03	1.01306	2.53	1.35798
1.04	0.97844	1.54	0.88818	2.04	1.01758	2.54	1.36779
1.05	0.97350	1.55	0.88887	2.05	1.02218	2.55	1.37775
1.06	0.96874	1.56	0.88964	2.06	1.02687	2.56	1.38784
1.07	0.96415	1.57	0.89049	2.07	1.03164	2.57	1.39807
1.08	0.95973	1.58	0.89142	2.08	1.03650	2.58	1.40844
1.09	0.95546	1.59	0.89243	2.09	1.04145	2.59	1.41896
1.10	0.95153	1.60	0.89352	2.10	1.04649	2.60	1.42962
1.11	0.94740	1.61	0.89468	2.11	1.05161	2.61	1.44044
1.12	0.94359	1.62	0.89592	2.12	1.05682	2.62	1.45140
1.13	0.93993	1.63	0.89724	2.13	1.06212	2.63	1.46251
1.14	0.93642	1.64	0.89864	2.14	1.06751	2.64	1.47377
1.15	0.93304	1.65	0.90012	2.15	1.07300	2.65	1.48519
1.16	0.92980	1.66	0.90167	2.16	1.07857	2.66	1.49677
1.17	0.92670	1.67	0.90330	2.17	1.08424	2.67	1.50851
1.18	0.92373	1.68	0.90500	2.18	1.09000	2.68	1.52040
1.19	0.92089	1.69	0.90678	2.19	1.09585	2.69	1.53246
1.20	0.91817	1.70	0.90864	2.20	1.10180	2.70	1.54469
1.21	0.91558	1.71	0.91057	2.21	1.10785	2.71	1.55708
1.22	0.91311	1.72	0.91258	2.22	1.11399	2.72	1.56964
1.23	0.91075	1.73	0.91467	2.23	1.12023	2.73	1.58237
1.24	0.90852	1.74	0.91683	2.24	1.12657	2.74	1.59528
1.25	0.90640	1.75	0.91906	2.25	1.13300	2.75	1.60836
1.26	0.90440	1.76	0.92137	2.26	1.13954	2.76	1.62162
1.27	0.90250	1.77	0.92376	2.27	1.14618	2.77	1.63506
1.28	0.90072	1.78	0.92623	2.28	1.15292	2.78	1.64868
1.29	0.89904	1.79	0.92877	2.29	1.15976	2.79	1.66249
1.30	0.89747	1.80	0.93138	2.30	1.16671	2.80	1.67649
1.31	0.89600	1.81	0.93408	2.31	1.17377	2.81	1.69068
1.32	0.89464	1.82	0.93685	2.32	1.18093	2.82	1.70506
1.33	0.89338	1.83	0.93969	2.33	1.18819	2.83	1.71963
1.34	0.89222	1.84	0.94261	2.34	1.19557	2.84	1.73441
1.35	0.89115	1.85	0.94561	2.35	1.20305	2.85	1.74938
1.36	0.89018	1.86	0.94869	2.36	1.21065	2.86	1.76456
1.37	0.88931	1.87	0.95184	2.37	1.21836	2.87	1.77994
1.38	0.88854	1.88	0.95507	2.38	1.22618	2.88	1.79553
1.39	0.88785	1.89	0.95838	2.39	1.23412	2.89	1.81134
1.40	0.88726	1.90	0.96177	2.40	1.24217	2.90	1.82736
1.41	0.88676	1.91	0.96523	2.41	1.25034	2.91	1.84359
1.42	0.88636	1.92	0.96877	2.42	1.25863	2.92	1.86005
1.43	0.88604	1.93	0.97240	2.43	1.26703	2.93	1.87673
1.44	0.88581	1.94	0.97610	2.44	1.27556	2.94	1.89363
1.45	0.88566	1.95	0.97988	2.45	1.28421	2.95	1.91077
1.46	0.88560	1.96	0.98374	2.46	1.29298	2.96	1.92814
1.47	0.88563	1.97	0.98769	2.47	1.30188	2.97	1.94574
1.48	0.88575	1.98	0.99171	2.48	1.31091	2.98	1.96358
1.49	0.88595	1.99	0.99581	2.49	1.32006	2.99	1.98167
1.50	0.88623	2.00	1.00000	2.50	1.32934	3.00	2.00000

Gambar 12. Tabel Fungsi *Gamma*

Lampiran 8. Tabel *Chi* Kuadrat

$\alpha$		0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
db	1	2.70554	3.84146	5.02390	6.63489	7.87940
	2	4.60518	5.99148	7.37778	9.21035	10.59653
	3	6.25139	7.81472	9.34840	11.34488	12.83807
	4	7.77943	9.48773	11.14326	13.27670	14.86017
	5	9.23635	11.07048	12.83249	15.08632	16.74965
	6	10.64464	12.59158	14.44935	16.81187	18.54751
	7	12.01703	14.06713	16.01277	18.47532	20.27774
	8	13.36156	15.50731	17.53454	20.09016	21.95486
	9	14.68366	16.91896	19.02278	21.66605	23.58927
	10	15.98717	18.30703	20.48320	23.20929	25.18805
	11	17.27501	19.67515	21.92002	24.72502	26.75686
	12	18.54934	21.02606	23.33666	26.21696	28.29966
	13	19.81193	22.36203	24.73558	27.68818	29.81932
	14	21.06414	23.68478	26.11893	29.14116	31.31943
	15	22.30712	24.99580	27.48836	30.57795	32.80149
	16	23.54182	26.29622	28.84532	31.99986	34.26705
	17	24.76903	27.58710	30.19098	33.40872	35.71838
	18	25.98942	28.86932	31.52641	34.80524	37.15639
	19	27.20356	30.14351	32.85234	36.19077	38.58212
	20	28.41197	31.41042	34.16958	37.56627	39.99686
	21	29.61509	32.67056	35.47886	38.93223	41.40094
	22	30.81329	33.92446	36.78068	40.28945	42.79566
	23	32.00689	35.17246	38.07561	41.63833	44.18139
	24	33.19624	36.41503	39.36406	42.97978	45.55836
	25	34.38158	37.65249	40.64650	44.31401	46.92797
	26	35.56316	38.88513	41.92314	45.64164	48.28978
	27	36.74123	40.11327	43.19452	46.96284	49.64504
	28	37.91591	41.33715	44.46079	48.27817	50.99356
	29	39.08748	42.55695	45.72228	49.58783	52.33550
	30	40.25602	43.77295	46.97922	50.89218	53.67187

Gambar 13. Tabel *Chi* Kuadrat

Lampiran 9. Tabel F

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

Gambar 14. Tabel F untuk  $\alpha = 0,05$