

**PENERAPAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* II
UNTUK MENENTUKAN KEBIJAKAN PERAWATAN YANG
OPTIMAL PADA MESIN *ROUGHING MILL***

(Studi Kasus Divisi *Hot Strip Mill* PT Krakatau Steel Cilegon)

SKRIPSI

KONSENTRASI SISTEM MANUFAKTUR DAN JASA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

RIZA AULIYA RAHMAN

NIM. 0510670047-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

MALANG

2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Penerapan *Reliability Centered Maintenance* II untuk Menentukan Kebijakan Perawatan yang Optimal pada Mesin *Roughing Mill*”

Dan tidak lupa Sholawat serta salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Program Studi teknik Industri , Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Dalam pengerjaan skripsi ini penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Nasir Widha Setyanto ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Bambang Indrayadi, MT. dan Bapak Ir. Mochamad Choiri, MT., atas segala bimbingan dan kesabaran dalam membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Alm. Bapak Taufik Basyri Tuhepaly ST.,MMT. Terima kasih telah membimbing penulis dalam mengerjakan skripsi.
4. Bapak Nurjaya selaku koordinator PUSDIKLAT PT Krakatau Steel terima kasih telah mengijinkan penulis melaksanakan penelitian di PT KS
5. Bapak Indra Gunawan dan Bapak Santos Hermawan dari bagian dinas perawatan pabrik divisi HSM PT Krakatau Steel selaku pembimbing lapangan.
6. Seluruh bapak dan ibu dosen Program Studi Teknik Industri Universitas Brawijaya yang telah mencurahkan ilmu pengetahuannya.
7. Bapak Parmono dan mas Reza yang telah banyak membantu kami.
8. Abah dan Umi yang tak pernah lelah selalu berdoa utuk kesuksesan anak-anaknya.
9. Kakak-kakaku yang tercinta, Ebit, Ulil, Dina, Toni dan adikku yang manis Dek Ida. Terima kasih atas semangat dan sindirannya selama ini yang telah memacu saya.
10. Teman-temanku magnificent 7 TI'05 Rizki, Angga, Bibi, Ardika, Junta, Gangga, dan semua rekan seangkatan yang tidak bisa disebut satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

11. Teman-teman FOSI Malang , Hendi, Subhan, Evin, Arif, Azis, Imam, Ali dan semuanya terimakasih atas kebaikan, semangat, dukungan dan doanya.
12. Teman-teman usroh Al-Kahfi terimakasih atas bantuannya
13. Teman-teman di pondokan Ulul Albab khususnya Mas Imam dan Dek Frisma yang telah meminjamkan printer selama pengerjaan skripsi.
14. Semua pihak yang telah membantu dalam kesuksesan tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Besar harapan kami, semoga isi yang terkandung dalam skripsi ini dapat memberikan manfaat dan tambahan pengetahuan khususnya bagi penulis sendiri dan bagi pembaca pada umumnya.

Malang, 9 Nopember 2010



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	3
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Batasan Masalah.....	4
1.7 Asumsi-asumsi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Keandalan	5
2.1.1 Pengertian keandalan.....	5
2.1.2 Fungsi keandalan.....	5
2.1.3 Laju kegagalan.....	6
2.1.4 MTTF.....	6
2.1.5 MTBF	6
2.2 Distribusi Probabilitas Keandalan	7
2.2.1 Distribusi eksponensial.....	7
2.2.2 Distribusi normal.....	7
2.2.3 Distribusi weibull.....	8
2.2.4 Distribusi lognormal.....	10
2.3 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	11
2.4 Diagram Pareto	12

2.5 Maintenance	14
2.6 Preventive Maintenance	14
2.6.1 Time directed	15
2.6.2 Condition directed	15
2.6.3 Failure finding	16
2.6.4 Run to failure	16
2.7 Reliability Centered Maintenance II	17
2.7.1 System function dan function failure	18
2.7.2 Failure consequences	18
2.7.3 Proactive task	18
2.7.4 Default action	19
2.7.5 Propose task dan initial interval	19
2.8 Model Matematis Perawatan	20
2.9 Biaya Perawatan	21
2.10 Penelitian-penelitian Sebelumnya	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Metode Penelitian	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.3 Survey Pendahuluan	25
3.4 Studi Literatur	25
3.5 Identifikasi dan Perumusan Masalah	26
3.6 Penentuan Mesin dan Komponen Kritis	26
3.7 Pengumpulan Data	26
3.8 Pengolahan Data	27
3.8.1 Pengolahan data kualitatif	27
3.8.2 Pengolahan data kuantitatif	28
3.9 Analisis Data	29
3.10 Kesimpulan dan Saran	29
3.11 Diagram Alir Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil	31
4.1.1 Pemilihan area fungsional lintasan produksi	31
4.1.2 Pengumpulan data	34

4.1.3 Pengolahan data.....	42
4.2 Pembahasan	58
4.2.1 Analisis pemilihan area fungsional dan mesin kritis	58
4.2.2 Analisis fungsional block diagram	59
4.2.3 Analisis perhitungan matematis interval perawatan optimal dan biaya total.....	59
4.2.4 Analisis keandalan komponen	61
4.2.5 Analisis RCM II <i>information worksheet</i>	61
4.2.6 Analisis RCM II <i>decision worksheet</i>	62
BAB V PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	67

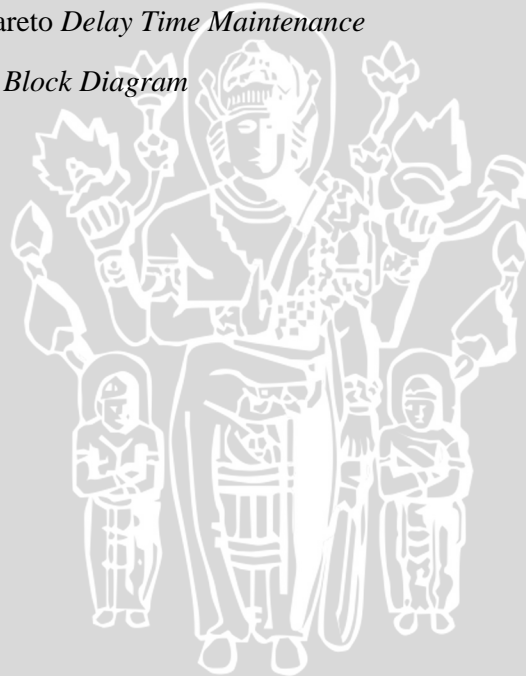


DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	11
Tabel 2.2	<i>RCM II Decision Worksheet</i>	20
Tabel 2.3	Perbandingan Variabel Penelitian	24
Tabel 4.1	Data <i>Delay Time Maintenance</i> dan frekuensi untuk masing-masing area fungsional.	33
Tabel 4.2	<i>Failure Model and Effect Analysis</i> Mesin-mesin <i>Roughing Mill</i>	36
Tabel 4.3	Data Jumlah Produksi setiap Bulan	39
Tabel 4.4	Data Biaya Produksi per Ton Mill	39
Tabel 4.5	Data Biaya <i>Maintenance</i>	40
Tabel 4.6	Data Biaya Komponen tiap Siklus	41
Tabel 4.7	Data Distribusi dan Parameter Keandalan Komponen	43
Tabel 4.8	Data <i>MTTF</i> dan <i>MTTR</i>	44
Tabel 4.9	Biaya Perbaikan Komponen	46
Tabel 4.10	Interval Perawatan Optimal dan Total Biaya Perawatan	47
Tabel 4.11	<i>RCM II Information Worksheet</i>	48
Tabel 4.12	<i>RCM II Decision Worksheet Stand Roughing Mill</i>	54
Tabel 4.13	<i>RCM II Decision Worksheet Vertical Edger</i>	56
Tabel 4.14	<i>RCM II Decision Worksheet Power Water System</i>	57
Tabel 4.15	Perbandingan Keandalan TM dan To	61

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Perbandingan <i>Delay Time Production</i> dan <i>Maintenance</i> HSM	2
Gambar 2.1	Fungsi padat peluang distribusi normal	8
Gambar 2.2	Diagram Pareto	13
Gambar 2.3	Klasifikasi Kegiatan Perawatan	14
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	30
Gambar 4.1	Diagram Alir Area Fungsional Lintasan Produksi HSM	31
Gambar 4.2	<i>Delay Time Maintenance</i>	34
Gambar 4.3	Diagram Pareto <i>Delay Time Maintenance</i>	38
Gambar 4.4	<i>Functional Block Diagram</i>	42



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Diagram Lintasan Produksi HSM	67
Lampiran 2.	Fungsi Mesin dan Komponen Utama	68
Lampiran 3.	Data <i>Time to Failure</i> (TF) dan <i>Time to Repair</i> (TR)	70
Lampiran 4.	Pengolahan Data TF (<i>Time to Failure</i>) dengan Software MINITAB 14	72
Lampiran 5.	Pengolahan Data TR (<i>Time to Repair</i>) dengan Software MINITAB 14	84
Lampiran 6.	Perhitungan MTTF dan MTTR	96
Lampiran 7.	Perhitungan TM (<i>Time Maintenance</i>)	100
Lampiran 8.	Perhitungan Biaya Perawatan Komponen	102
Lampiran 9.	<i>Decision Diagram</i>	103
Lampiran 10	Gambar Area Fungsional <i>Roughing Mill</i>	104



RINGKASAN

Riza Auliya Rahman, Program Studi Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, September 2010, *Penerapan Reliability Centered Maintenance II untuk Menentukan Kebijakan Perawatan yang Optimal Pada Mesin Roughing Mill*, Dosen Pembimbing : Bambang Indrayadi dan Mochamad Choiri.

Hot Strip Mill (HSM) merupakan unit dari PT. Krakatau Steel yang memproduksi baja lembaran panas. Dalam prosesnya lintasan produksi sering mengalami *delay* yang tinggi karena aktivitas perawatan. Pada lintasan produksi HSM salah satu mesin yang butuh perhatian penting adalah *roughing mill*. Berdasarkan data historis, tercatat *roughing mill* memiliki 23,47% dari total *delay time maintenance* pada lintasan produksi HSM selama dua tahun terakhir. Maka, mesin yang telah lama dioperasikan tersebut perlu dianalisis untuk mengetahui komponen-komponen yang kritis, tingkat *reliability* yang dimiliki, dan menentukan perencanaan perawatan yang optimal.

Reliability Centered Maintenance (RCM) II merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin setiap aset fisik atau suatu sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan. RCM II mengkombinasikan pendekatan statistik dan penerapan berbagai macam strategi perawatan untuk menghasilkan suatu kebijakan perawatan berupa interval perawatan optimal dan jenis perawatan yang tepat pada komponen kritis. Beberapa hal yang dilakukan pada penelitian ini antara lain, pemilihan mesin/komponen kritis, perhitungan interval dan biaya perawatan optimal, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), RCM II *information worksheet*, dan RCM II *decision worksheet*.

Hasil dari penelitian dirangkum dalam RCM II *decision worksheet* yang menunjukkan kebijakan perawatan yang optimal pada komponen kritis. Kebijakan perawatan tersebut berupa *scheduled condition task* pada komponen *sliding contact bearing* dengan interval 289,09 jam dan *sliding table* dengan interval 198,18 jam. *Scheduled restoration task* pada komponen *screw down* dengan interval 192,54 jam, *trust cylinder* 1210,06 jam, *lifting rail* 4400,28 jam, *SD edger* 7233,13 jam, *motor edger* 50481,85 jam, dan *power water* 12409,25 jam. *Scheduled discard task* pada komponen *fuse* 128,83 jam, baut *keeper plate* 1056,5 jam, *balancing* 2338,21 jam dan *water descaler* 275,07 jam. Dengan kebijakan perawatan di atas komponen mampu beroperasi dengan tingkat keandalan rata-rata 92,72%.

Kata kunci : *roughing mill*, *delay time maintenance*, *reliability*, *Reliability Centered Maintenance II*

SUMMARY

Riza Auliya Rahman, Industrial Engineering, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, September 2010, *Application of Reliability Centered Maintenance II for Determining the Optimal Maintenance Policy at Roughing Mill Machine*, Academic Supervisor : Bambang Indrayadi and Mochamad Choiri.

Hot Strip Mill (HSM) is a unit of PT. Krakatau Steel which produces hot rolled coils. In the process, production lines often occurred high delay due to maintenance activities. At the HSM production lines, one of the machines that need critical attention is roughing mill. Based on historical data, it is recorded that roughing mill has 23.47% of the total delay time maintenance at HSM production lines during the last two years. Thus, a machine that has been long operated needs to be analyzed determining the critical components, levels of reliability and optimal maintenance planning.

Reliability Centered Maintenance (RCM) II is a process used to determine what must be done to ensure that any physical asset and system continues to fulfill its intended functions in its present operating context. RCM II combines the statistical approach and applied varied maintenance strategies to make maintenance policy such as optimal maintenance interval and the type of maintenance appropriate to each critical component. Some of the things done in this study is the selection of critical machinery / components, the calculation of optimal maintenance intervals and costs, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), RCM II information worksheet and RCM II decision worksheet.

Results of the research are summarized in a decision worksheet of RCM II that shows the optimal maintenance policy at the critical components. The maintenance policy is scheduled condition tasks on the component of sliding contact bearing with the 289.09 hour intervals and a sliding table with the 198.18 hour intervals. Scheduled restoration tasks on the components of screw down with the 192.54 hour intervals, trusts cylinder 1210.06 hours, lifting rails 4400.28 hours, SD edger 7233.13 hours, motor edger 50481.85 hours, and power water 12409.25 hours. Scheduled discard tasks on component of fuse 128.83 hours, the keeper plate bolts 1056.5 hours, balancing 2338.21 hours and water descaler 275.07 hours. With the maintenance policy, critical components are able to operate by an average reliability rate 92,72 %.

Key words: roughing mill, delay time maintenance, reliability, Reliability Centered Maintenance II

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dicantumkan latar belakang penelitian yang mengungkapkan alasan-alasan mengapa sesuatu dipermasalahkan sebagai kajian dalam skripsi. Identifikasi dan rumusan masalah berdasarkan latar belakang berupa pertanyaan-pertanyaan yang secara singkat menjelaskan topik/judul penelitian. Tujuan dan manfaat yang menjelaskan target yang akan diperoleh serta manfaat dari penelitian. Selain itu dicantumkan juga batasan dan asumsi untuk membatasi obyek penelitian.

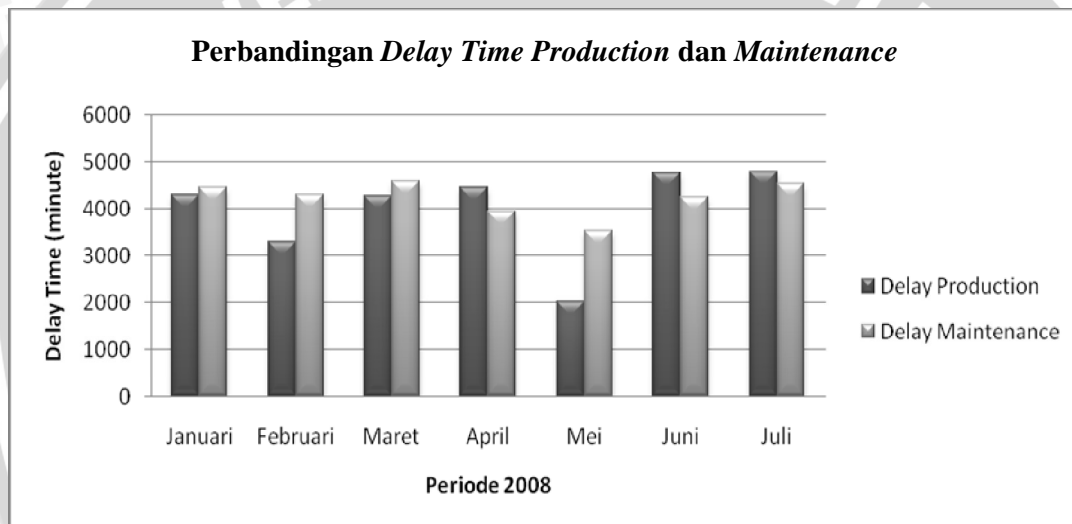
1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan teknologi yang semakin maju dan canggih di segala bidang, memacu industri-industri berusaha meningkatkan produktivitas untuk mendapatkan hasil produksi yang optimal. Maka, penting bagi perusahaan mengetahui faktor yang mempengaruhinya. Salah satu faktor yang penting adalah keandalan (*reliability*) dari aset dalam sistem produksi tersebut. Makin tinggi keandalan dari suatu sistem maka makin tinggi pula produktivitas. Keandalan (*reliability*) didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan. (Priyatna : 2000)

Dalam usaha untuk meningkatkan keandalan agar jalannya produksi dapat terjamin, maka dibutuhkan kegiatan-kegiatan perawatan (*maintenance*) terhadap peralatan dan mesin-mesin produksi tersebut karena perawatan diartikan sebagai suatu kegiatan pemeliharaan fasilitas pabrik serta mengadakan perbaikan, penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang sesuai dengan yang direncanakan (Assauri: 1993).

Reliability Centered Maintenance II (RCM II) merupakan salah satu manajemen perawatan yang dapat digolongkan dalam sistem perawatan pencegahan yang terencana. Konsep dasar dari metode RCM II ini adalah mempertahankan fungsi dari salah satu sistem, sehingga segala upaya perawatan yang dilakukan adalah untuk menjaga agar sistem tetap berfungsi sesuai dengan apa yang diharapkan dengan menganalisis keandalan. Hasil yang diharapkan dalam implementasi RCM II dalam manajemen perawatan adalah untuk memperoleh suatu strategi perawatan yang optimal.

Divisi *Hot strip mill* (HSM) merupakan unit produksi PT. Krakatau Steel Cilegon. PT Krakatau Steel selama ini menerapkan perawatan *preventive*, yaitu tindakan perawatan mesin-mesin pada lintasan produksi secara periodik setiap dua minggu sekali dan tindakan *overhaul* setiap tahun. Meskipun usaha tersebut dilakukan kerusakan-kerusakan komponen mesin saat beroperasi masih juga terjadi. Tercatat bahwa tingkat *delay time maintenance* yang terjadi akibat aktifitas perbaikan komponen-komponen yang mengalami kerusakan pada divisi HSM selama beberapa periode sangat tinggi. Rata-rata 4226 menit tiap bulan lebih tinggi dibandingkan dengan *delay time production* dengan rata-rata 3980 menit tiap bulan. Berikut ini data historis perbandingan tingkat *delay time maintenance* dan *delay time production* divisi HSM.



Gambar 1.1. Perbandingan *Delay Time Production* dan *Maintenance* HSM
Sumber: PT Krakatau Steel, Divisi Perawatan Pabrik BLP

Diantara mesin-mesin produksi pada divisi HSM, mesin *roughing mill* merupakan mesin yang butuh perhatian penting. Hal ini dikarenakan tingkat kerusakan berdasar data historis yang sangat tinggi memiliki 23,47 % dari total waktu *delay time maintenance* lintasan produksi HSM selama dua tahun terakhir. Beberapa hal yang menjadi penyebab tingginya *delay time maintenance* di atas adalah usia mesin produksi yang sudah tua dan komponen yang sudah aus. Maka mesin yang telah lama dioperasikan tersebut perlu dianalisis keandalannya untuk mengetahui tingkat keandalan yang dimiliki dan menentukan perencanaan perawatan yang optimal. Hal ini bertujuan agar dalam pengoperasian selanjutnya probabilitas terjadinya kegagalan dapat dikurangi.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu dilakukan analisis keandalan dengan menggunakan metode RCM II yang ditinjau dari analisis kuantitatif dan kualitatif, sehingga akan didapatkan perawatan yang optimal.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa masalah yang dapat diidentifikasi antara lain :

1. Tingginya *delay time maintenance* yang terjadi akibat aktifitas perbaikan komponen-komponen yang mengalami kerusakan pada divisi HSM, terutama pada mesin *roughing mill*.
2. Diperlukan perencanaan perawatan yang optimal berdasarkan keandalan sistem produksi sehingga probabilitas terjadinya kegagalan dapat dikurangi.

1.3 Rumusan Masalah

Dalam penelitian pada mesin *roughing mill* ini, dapat dirumuskan beberapa permasalahan antara lain:

1. Mesin dan komponen kritis apa saja yang perlu mendapatkan prioritas utama untuk dilakukan Reliability Centered Maintenance (RCM) II?
2. Bagaimana perawatan optimal yang direncanakan pada masing-masing komponen kritis setelah dilakukan RCM II?
3. Bagaimana keandalan komponen kritis setelah dilakukan perawatan yang optimal?

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan komponen yang kritis pada mesin *roughing mill* di lintasan produksi HSM.
2. Menentukan perawatan yang optimal pada komponen kritis mesin *roughing mill*.
3. Menentukan keandalan yang optimal pada komponen kritis mesin *roughing mill*

1.5 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh manfaat, yaitu memberi gambaran tentang konsep RCM II untuk merencanakan perawatan yang optimal pada lintasan

produksi HSM PT. Krakatau Steel, sehingga dapat mengurangi kerugian akibat waktu dan biaya kerusakan mesin.

1.6 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan yang dipakai agar pembahasan yang dilakukan dapat lebih terfokus. Batasan-batasan tersebut antara lain:

1. Data yang digunakan yaitu data dan waktu kegagalan dan perbaikan komponen pada sistem produksi di divisi HSM PT Krakatau Steel pada bulan Januari 2008 sampai Desember 2009
2. Mesin dan komponen yang dibahas di sini adalah mesin-mesin dan komponen-komponen kritis pada mesin *roughing mill* di lintasan produksi HSM.
3. Biaya yang dikaji meliputi biaya konsekuensi operasional, biaya perbaikan, biaya perawatan dan biaya penggantian komponen.

1.7 Asumsi-asumsi

Asumsi-asumsi dalam model jadwal perawatan adalah :

1. Setiap kali terjadi kerusakan langsung diadakan perbaikan.
2. Proses perbaikan yang dilakukan diasumsikan berjalan dengan baik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka yang digunakan dalam penelitian ini meliputi teori-teori ilmiah yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dianalisis, antara lain: keandalan, distribusi keandalan, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), diagram pareto, *maintenance, preventive maintenance*, RCM II, model matematis keandalan, dan biaya. Dicantumkan juga hasil-hasil kajian ilmiah berupa penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan masalah dalam penelitian ini.

2.1 Keandalan

Salah satu aspek yang dapat mempengaruhi keberhasilan proses produksi adalah keandalan komponen atau sistem untuk tidak mengalami kegagalan dalam jangka waktu tertentu. Penerapan teori keandalan dapat membantu untuk memperkirakan peluang suatu komponen atau sistem dapat melaksanakan fungsinya dalam jangka waktu dan kondisi tertentu.

2.1.1 Pengertian keandalan

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian tertentu dan dalam lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan (Priyatna, 2000:10). Maka variabel penting yang berkaitan dengan keandalan adalah waktu yang berkaitan dengan kerusakan. Karena waktu kerusakan merupakan kejadian bersifat random maka fenomena kerusakan dapat digambarkan dalam bentuk probabilitas kerusakan yang mengikuti distribusi tertentu.

2.1.2 Fungsi keandalan

Keandalan dari suatu komponen atau sistem adalah probabilitas untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu (t). Fungsi keandalan terhadap waktu dapat dinyatakan Ebeling (1997:23) sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t') dt' \quad (2-1)$$

Keterangan:

$f(t')$ = fungsi padat peluang dari variabel t' $F(t)$ = probabilitas kegagalan

$R(t)$ = keandalan (*reliability*)

2.1.3 Laju kegagalan

Laju kegagalan adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Fungsi laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara nilai fungsi padat peluang $f(t)$ dengan fungsi keandalan $R(t)$. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2-2)$$

2.1.4 MTTF

Mean Time To Failure (MTTF) didefinisikan sebagai waktu rata-rata kegagalan dari suatu komponen yang memiliki fungsi densitas kegagalan (*failure density function*) Ebeling (1997:26). $f(t)$ didefinisikan oleh nilai harapan dari komponen itu. Secara matematis adalah dengan:

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (2-3)$$

Dari persamaan diatas maka distribusi probabilitas dinyatakan dengan $f(t)$. *MTTF* juga bisa dinyatakan dalam fungsi keandalan:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2-4)$$

2.1.5 MTBF

Mean Time Between Failure (MTBF) memiliki definisi yang hampir sama dengan MTTF sebagai waktu rata-rata kegagalan. MTBF merupakan waktu rata-rata kegagalan yang sudah dikurangi dengan *Mean Time To Repair* (MTTR), sehingga nilai MTBF adalah :

$$MTBF = MTTF - MTTR \quad (2-5)$$

2.2 Distribusi Probabilitas Keandalan

Dalam pembahasan teori keandalan pada penelitian ini digunakan distribusi kontinyu karena sistem yang di analisis adalah sistem yang beroperasi secara kontinyu. Distribusi kontinyu terdiri atas distribusi *eksponensial*, *normal*, *weibull*, dan *lognormal*. dimana masing-masing distribusi kontinyu terkait dengan fungsi padat peluang, keandalan, laju kegagalan.

2.2.1 Distribusi eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan salah satu distribusi yang paling sering muncul dalam konteks evaluasi keandalan. Distribusi eksponensial ini hanya berlaku pada *useful life period* saja pada *bath-tub curve*. Adapun fungsi padat peluang distribusi eksponensial dalam Ebeling (1997:42) dan Priyatna (2000:167) adalah:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t > 0, \lambda > 0 \quad (2-6)$$

Keterangan:

λ = parameter distribusi

$f(t)$ = fungsi padat peluang

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi eksponensial, maka :

a. Fungsi keandalan $R(t) = e^{-\lambda t}$ (2-7)

b. Laju kegagalan $\lambda(t) = \lambda$ (2-8)

c. $MTTF = \frac{1}{\lambda}$ (2-9)

2.2.2 Distribusi normal

Distribusi ini sering disebut juga distribusi Gaussian. fungsi padat peluang dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*) dan *dispersi* terhadap nilai rata-ratanya diukur dengan nilai standart deviasi. Dengan kata lain parameter distribusi normal adalah *mean* dan standart deviasi. Fungsi padat peluang distribusi normal dalam Dhillon (2006:31) adalah :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2-10)$$

Keterangan:

μ = rata-rata (*mean*)

σ = standart deviasi

Jika distribusi keandalan suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi Normal, maka:

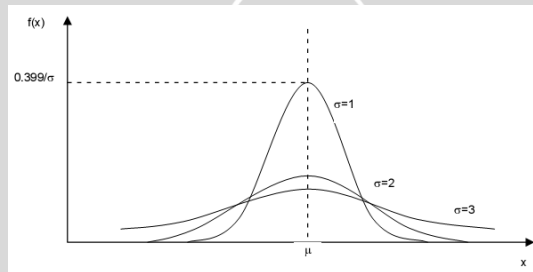
a. Fungsi keandalan distribusi normal adalah :

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t'-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt' \quad (2-11)$$

b. Laju kegagalan distribusi normal adalah :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2-12)$$

c. $MTTF = \mu$ (2-13)



Gambar 2.1. Fungsi padat peluang distribusi normal
Sumber: Ebeling, 1997:69

2.2.3 Distribusi weibull

Distribusi weibull merupakan salah satu distribusi yang sering digunakan, khususnya dalam bidang keandalan dan statistik karena distribusi weibull memiliki kemampuan untuk mendekati berbagai jenis sebaran data. Distribusi weibull dibedakan menjadi dua yaitu distribusi weibull 2 parameter dan distribusi weibull 3 parameter.

1. Distribusi weibull 2 parameter

Distribusi weibull ini memiliki dua parameter yaitu β (*shape parameter*) dan η (*scale parameter*). Parameter bentuk (*shape parameter*) mendeskripsikan bentuk dari fungsi padat peluang, sedangkan skala parameter (*scale parameter*) disebut juga *characteristic life*.

Fungsi padat peluang dari distribusi weibull 2 parameter dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^\beta} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2-14)$$

Keterangan:

β = Shape parameter

η = Scale parameter

Fungsi *reliability* dari distribusi weibull 2 parameter dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R(t) = \int_t^\infty f(t)dt = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2-15)$$

Laju kegagalan (*failure rate*) dari distribusi weibull 2 parameter dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^\beta} \quad (2-16)$$

Ketika $\beta < 1$, maka terjadi penurunan laju kegagalan (*burn-in period*). Ketika $\beta = 1$, maka laju kegagalan konstan (*normal life period*), dan ketika $\beta > 1$, maka terjadi kenaikan laju kegagalan (*wear-out period*).

Mean Time To Failure (MTTF) dari distribusi weibull 2 parameter dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$MTTF = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-17)$$

2. Distribusi weibull 3 parameter

Distribusi weibull ini memiliki kesamaan dengan distribusi weibull 2 parameter, yang membedakan adalah jumlah parameternya yaitu β (*shape parameter*), η (*scale parameter*), γ (*location parameter*). Parameter lokasi merepresentasikan *failure-free* atau awal periode dari penggunaan item.

Fungsi padat peluang dari distribusi weibull 3 parameter dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2-18)$$

Fungsi *reliability* dari distribusi weibull 3 parameter dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2-19)$$

Laju kegagalan (*failure rate*) dari distribusi weibull 3 parameter dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2-20)$$

Mean Time To Failure (MTTF) dari distribusi weibull 3 parameter dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2-21)$$

2.2.4 Distribusi lognormal

Fungsi padat peluang untuk distribusi *lognormal* menurut Ebeling (1997:73) adalah :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2-22)$$

Karakteristik distribusi *lognormal* :

- Mempunyai 2 parameter
 - μ = parameter lokasi,.
 - σ = skala parameter, sama dengan *standart deviasi*.

Jika distribusi waktu antar kegagalan mengikuti distribusi *lognormal*, maka:

a. Fungsi keandalan distribusi *lognormal*

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{t \sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[- \frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] dt \quad (2-23)$$

b. *Failure rate* secara umum

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2-24)$$

c. $MTTF = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \quad (2-25)$

2.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Besterfield (2003:389) mendefinisikan FMEA sebagai teknik analisis yang menggabungkan teknologi dan pengalaman beberapa orang dalam mengidentifikasi mode kegagalan dari suatu produk atau proses dan perencanaan untuk eliminasinya. Dengan kata lain, FMEA dapat dijelaskan sebagai kumpulan aktivitas untuk:

1. Mengenali dan mengevaluasi potensi kegagalan suatu produk atau proses dan efeknya.
2. Mengidentifikasi tindakan yang dapat menghilangkan atau mengurangi kemungkinan kegagalan potensial.
3. Dokumentasi proses.

Desain FMEA membantu dalam proses desain dengan mengidentifikasi mode kegagalan yang diketahui dan menentukan peringkat berdasar dampak relatif pada produk. Implementasi FMEA membantu menetapkan prioritas berdasarkan kegagalan, tingkat keparahan dari kegagalan, membantu mengetahui kelalaian, *misjudgments*, dan kesalahan yang mungkin telah dibuat. Lebih lanjut, desain FMEA mengurangi waktu pengembangan dan biaya proses produksi dengan menghilangkan banyak *failure mode* yang potensial sebelum operasi proses dan dengan menentukan kontrol yang sesuai untuk produk yang dirancang (Besterfield, 2003:389). Tabel 2.1 berikut ini menunjukkan resiko aktual FMEA:

Tabel 2.1 *Failure Mode and Effect Analysis*

Function	Item	Potential Failure Mode		Potential Effect of Failure	Severity	Potential cause of Failure	Occurrence	Current Design Control	Detection	RPN
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Sumber : Besterfield, 2003:398

Keterangan :

- 1 Function, berisi informasi tentang fungsional mesin/area
- 2 Item, bagian dari suatu fungsional
- 3 Nomer urut untuk potensial *failure mode*
- 4 *Potential Failure mode* (jenis kegagalan potensial) yang terjadi

- 5 Dampak kegagalan potensial meliputi dampak pada customer, dampak pada proses selanjutnya, maupun dampak pada proses lokal
- 6 *Severity*, adalah nilai range dari 1- 10, yang menunjukkan tingkat keseriusan dari kegagalan, semakin besar angka yang diberikan semakin besar tingkat keseriusannya.
- 7 Penyebab kegagalan potensial
- 8 *Occurence*, adalah nilai range dari 1- 10 yang menunjukkan frekuensi kejadian yang terjadi. Semakin besar nilai yang diberikan semakin sering kejadiannya.
- 9 Sistem yang digunakan untuk mendeteksi kegagalan.
- 10 *Detection*, kemampuan sistem untuk mendeteksi terjadinya cacat / kegagalan. Nilai yang kecil menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi kegagalan dengan cepat.
- 11 *Risk Priority Number (RPN)* adalah hasil perkalian dari *Severity*, *Occurence*, *Detection* yang merupakan nilai / bobot akhir dari data resiko aktual. Semakin besar nilai RPN maka semakin besar pula resiko aktualnya.

2.4 Diagram Pareto

Dinamakan diagram pareto sesuai dengan penemunya seorang bangsa Italia Wilfredo Pareto tahun 1897. Dalam diagram pareto dikenal istilah vital few-trivial many, yang artinya sedikit tapi vital atau sangat penting, banyak tetapi kurang vital atau hasilnya kurang penting (sedikit). Hal ini sesuai dengan kejadian sehari-hari yang menunjukkan dalam banyak hal permasalahan atau kerugian yang besar biasanya disebabkan oleh hal-hal atau sebab yang jumlahnya sedikit. Dengan demikian, timbul permasalahan lebih baik mengerjakan yang sedikit tetapi bermanfaat besar daripada mengerjakan banyak hal tapi hasilnya sedikit. Konsep pareto mengajarkan agar kita pandai menerapkan prinsip skala prioritas atau mendahulukan mana yang penting (Kuswadi & Erna Mutiara,2004:49).

Menurut Kuswadi & Erna Mutiara (2004:49-50) sesuai dengan konsep pareto (pembagian 80 : 20), berlaku hal-hal sebagai berikut:

- 80% dari sales dihasilkan oleh 20% jumlah salesman
- 80% income RI dihasilkan oleh 20% dari jumlah jenis mata pencaharian penduduk

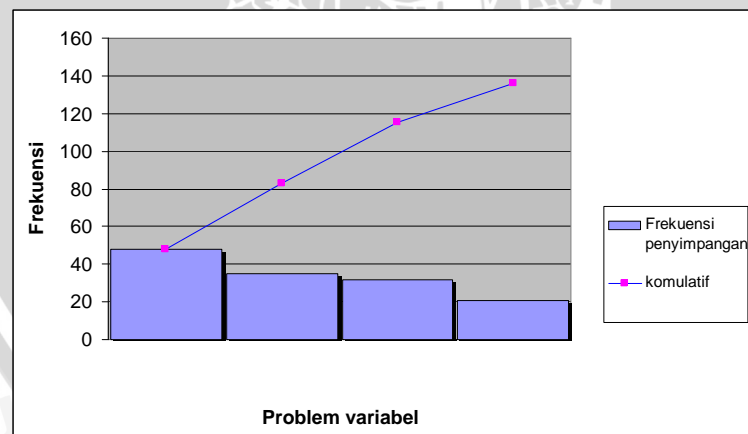
- 80% dari kesalahan yang terjadi di perusahaan dilakukan oleh 20% dari seluruh karyawan
- dan sebagainya.

Dalam kehidupan sehari-hari, analisa dan diagram pareto atau yang biasa disebut dengan diagram prioritas, digunakan dalam rangka memilih prioritas masalah yang dampaknya paling besar, yaitu kurang lebih 80%, yang disebabkan oleh kurang lebih 20% faktor penyebab, sesuai dengan hukum pareto.

Langkah Pembuatan Diagram Pareto (Besterfield, 2003:474):

- 1 Menentukan metode untuk mengklasifikasikan data : berdasarkan masalah, penyebab, jenis ketidakseragaman atau yang lainnya.
- 2 Pastikan data memiliki karakteristik yang sama.
- 3 Kumpulkan data berdasarkan interval (jarak) waktu tertentu.
- 4 Masukkan semua data dan urutkan kategori yang diminta mulai dari yang terbesar sampai yang terkecil.
- 5 Hitung persentase kumulatif yang digunakan
- 6 Buat diagram dan temukan yang sedikit tapi mengakibatkan hal yang vital.

Berikut ini gambar 2.2 yang menunjukkan diagram pareto setelah dilakukan langkah-langkah di atas:



Gambar 2.2. Diagram Pareto
Sumber: Kuswadi & Erna Mutiara, 2004

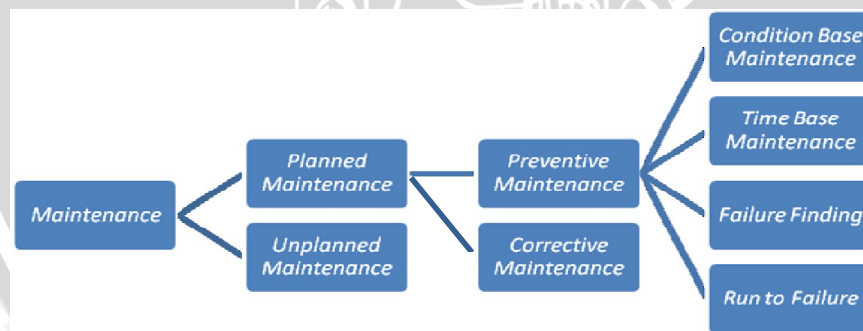
2.5 Maintenance

Corder (1996:1) mendefinisikan *maintenance* sebagai suatu kombinasi dari tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang atau untuk memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima. Selain itu perawatan adalah suatu kegiatan pemeliharaan fasilitas pabrik serta mengadakan perbaikan, penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang sesuai dengan yang direncanakan (Assauri:1993).

Tujuan dilakukan perawatan menurut Corder (1996) antara lain :

1. Memperpanjang kegunaan aset (tempat kerja, bangunan dan seisinya)
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa untuk mendapatkan laba investasi semaksimal mungkin.
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.
4. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

Tindakan perawatan secara garis besar diklasifikasikan menjadi 2 hal yaitu: *planned maintenance* yang merupakan tindakan atau kegiatan perawatan yang pelaksanaannya telah direncanakan terlebih dahulu. Dan *unplanned maintenance* berupa tindakan atau kegiatan perawatan yang tidak direncanakan. Gambar 2.3 menunjukkan klasifikasi kegiatan perawatan:



Gambar 2.3. Klasifikasi Kegiatan Perawatan
Sumber: Corder, 1996

2.6 Preventive Maintenance

Preventive maintenance dapat didefinisikan sebagai tindakan perawatan terjadwal untuk mencegah terjadinya kerusakan. Dengan melakukan *preventive maintenance*, dimaksudkan untuk mengurangi probabilitas kegagalan atau penurunan

performance dari suatu sistem. Menurut Ebellling (1992) ada 3 alasan utama dilakukannya kegiatan *preventive maintenance*, adalah sebagai berikut:

1. Menghindari terjadinya kerusakan
2. Menemukan kerusakan yang tersembunyi
3. Mendeteksi awal terjadinya kerusakan

Dengan mengidentifikasi ketiga alasan untuk melakukan perawatan pencegahan tersebut diatas, berikut ini dapat didefinisikan 4 kategori kegiatan untuk melakukan perawatan pencegahan :

2.6.1 Time directed

Yaitu kegiatan perawatan yang secara langsung bertujuan untuk mencegah atau memperlambat terjadinya kerusakan. Pada dasarnya perawatan pencegahan bertujuan untuk mengembalikan kondisi suatu peralatan pada kondisi seperti awal beroperasinya peralatan/sistem. Hal ini dilakukan secara periodik sampai peralatan tersebut tidak dapat diperbaiki kembali seperti semula. Kegiatan perawatan ini dimasukkan ke dalam *time directed* karena :

1. Perawatan dilakukan secara periodik dan tidak memberikan perawatan lain sampai periode waktu yang telah ditentukan.
2. Kegiatan tersebut secara langsung bertujuan untuk mencegah atau memperlambat terjadinya kerusakan pada peralatan.

2.6.2 Condition directed

Yaitu kegiatan yang bertujuan untuk mendeteksi gejala-gejala awal terjadinya kerusakan. Dalam pengoperasian suatu peralatan maupun sistem, kemungkinan kita tidak dapat mencegah atau memperlambat terjadinya kerusakan yang terjadi pada peralatan tersebut. Salah satu alternatif terbaik yang dapat diharapkan adalah dengan mendeteksi awal terjadinya kerusakan dan memperkirakan waktu yang memungkinkan suatu peralatan akan mengalami kegagalan dalam menjalankan operasinya. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran terhadap beberapa parameter secara langsung. Jadi *condition directed* merupakan bentuk peringatan awal untuk membuat suatu tindakan terhadap kerusakan yang lebih parah. Ada 2 bentuk *condition directed*, yaitu :

1. Mengukur parameter-parameter yang berhubungan dengan performance suatu peralatan secara langsung seperti temperatur dan tekanan.

2. Mengukur keadaan peralatan untuk tujuan yang sama dengan melakukan pengawasan terhadap getaran yang ditimbulkan karena pengoperasian peralatan tersebut.

Pada kegiatan *condition directed*, semua bentuk pengukuran adalah tidak dipaksakan.

Berikut ini adalah klasifikasi kegiatan perawatan kedalam *condition directed*, yaitu :

1. Mengidentifikasi serta melakukan pengukuran terhadap parameter-parameter yang berhubungan dengan awal terjadinya kerusakan.
2. Menentukan nilai terhadap parameter-parameter tersebut apabila memungkinkan diambil tindakan sebelum terjadi kerusakan yang lebih parah.

2.6.3 Failure finding

Yaitu kegiatan yang bertujuan untuk menemukan kerusakan yang tersembunyi dalam menjalankan operasinya. Pada sistem yang besar dan kompleks, hampir semua peralatan atau mungkin juga keseluruhan sistem maupun subsistem pernah mengalami kerusakan. Pada operasi yang normal dalam situasi dimana terjadinya kerusakan tidak diketahui, maka hal ini disebut dengan kerusakan yang tersembunyi. Kenyataannya, kerusakan yang tersembunyi adalah situasi yang tidak dapat diperkirakan terjadinya dan sangat mungkin mengakibatkan kecelakaan apabila dioperasikan. Salah satu cara untuk menemukan kerusakan yang tersembunyi adalah dengan melakukan pemeriksaan. Pemeriksaan yang dilakukan dengan mengoperasikan suatu peralatan dan melihat apakah peralatan tersebut *available* atau tidak.

2.6.4 Run-to-failure

Yaitu suatu keputusan untuk mengoperasikan suatu peralatan samapai terjadi kerusakan. Hal ini dilakukan karena ditinjau dari segi ekonomis tidak menguntungkan untuk melakukan perawatan. Dengan kata lain tindakan perawatan yang digunakan adalah *corrective maintenance*. Berikut adalah alasan mengapa keputusan itu diambil :

1. Biaya yang dikeluarkan lebih sedikit apabila tidak melakukan kegiatan perawatan pencegahan.
2. Kegiatan perawatan pencegahan yang ada terlalu mahal dari pada dengan mengganti peralatan yang sudah rusak.

2.7 Reliability Centered Maintenance II

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan salah satu manajemen perawatan yang dapat digolongkan kedalam sistem perawatan pencegahan yang terencana. RCM didefinisikan sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin setiap item fisik atau suatu sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan oleh penggunaanya (Moubray, 1991:7). RCM mengarahkan pada penanganan item agar tetap handal dalam menjalankan fungsinya dengan tetap mengacu pada efektifitas biaya perawatan. RCM mengkombinasikan dua jenis tindakan pencegahan yaitu *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*.

RCM II merupakan pengembangan dari RCM. Penyempurnaan dari RCM II terletak pada konsekuensinya, dimana RCM II mempunyai tambahan untuk *safety and environment consequences*. Penambahan ini dikarenakan isu lingkungan yang sangat kritis terhadap kelestarian alam. Karena itu dirasakan perlu adanya keseimbangan antara tindakan maintenance dengan kelestarian alam sekitar.

Moubray (1991:8) menyatakan bahwa penelitian tentang RCM pada dasarnya berusaha menjawab 7 pertanyaan utama tentang aset atau peralatan yang diteliti. Ketujuh pertanyaan mendasar tersebut antara lain:

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

RCM lebih menitikberatkan pada penggunaan analisis kualitatif untuk komponen yang dapat menyebabkan kegagalan pada suatu sistem. Ketujuh pertanyaan diatas dituangkan dalam bentuk RCM II *information worksheet* dan RCM II *decision diagram* yang tergabung dalam RCM II *decision worksheet*.

2.7.1 System function and functional failure

System function bertujuan untuk membuat suatu informasi yang dapat menyediakan atau mendefinisikan fungsi sistem. Analisis yang dilakukan adalah berdasarkan fungsi dan bukan mengenai peralatan yang ada pada sistem tersebut. Sedangkan kegagalan fungsional (*functional failure*) menjelaskan bagaimana sistem mengalami kegagalan melaksanakan *system function* yang diharapkan.

2.7.2 Failure consequences

Dalam RCM II, konsekuensi kegagalan diklasifikasikan dalam 4 bagian yaitu

1. *Hidden failure consequences*, dimana kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung. Diperlukan suatu teknik khusus untuk mengatasi dampak kegagalan jenis ini.
2. *Safety and environment consequences*, *safety consequence* terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja/manusia lainnya. *Environment consequence* terjadi apabila kegagalan fungsi berdampak pada kelestarian lingkungan.
3. *Operational consequences*, suatu kegagalan dikatakan memiliki konsekuensi operasional ketika berakibat pada produksi atau operasional (output, kualitas produk, pelayanan terhadap konsumen atau biaya operasional untuk perbaikan komponen).
4. *Non operational consequences*, bukti kegagalan pada kateeri ini adalah yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan ataupun produksi, jadi kegagalan ini hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

2.7.3 Proactive task

Proactive task dilakukan sebelum terjadi kegagalan untuk menghindari asset dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan (*failed stated*). Kegiatan ini biasa dikenal dengan *predictive* dan *preventive maintenance*.

Preventive maintenance terdiri dari inspeksi terjadwal, penyetelan, pembersihan, pemberian minyak, penggantian parts, kalibrasi dan perbaikan peralatan dan komponen. *Preventive maintenance* juga ditunjukkan pada *time-driven* atau *interval-based maintenance*. *Preventive maintenance* dilakukan tanpa memperhatikan kondisi dari peralatan.

Predictive maintenance merupakan kegiatan pemeriksaan terhadap *potensial failure* sehingga tindakan pencegahan dapat diambil untuk mencegah terjadinya *functional failure*. *Potensial failure* didefinisikan dengan sebuah kondisi yang dapat mengindikasikan sedang terjadi kegagalan atau proses kegagalan fungsi (*functional failure*). *Predictive maintenance* dimaksudkan agar pemeliharaan dapat dilakukan secara teratur baik menurut kondisi instrumen maupun menurut waktu pelaksanaan pemeliharaan, dengan tujuan mendapatkan pemeliharaan yang efektif dan ekonomis, serta mengoptimalkan kinerja dan umur mesin, dimana faktor keamanan (*safety*) selalu dikedepankan.

2.7.4 Default action

Default action dilakukan ketika sudah berada dalam *failed scale*, dan dipilih ketika tindakan *proactive task* yang efektif tidak mungkin dapat dilakukan. *Default action* meliputi:

1. *Scheduled failure finding* yaitu meliputi tindakan pemeriksaan secara periodik terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi untuk mengetahui apakah aset tersebut telah rusak atau tidak.
2. *Redesign* yaitu membuat suatu perubahan untuk membangun kembali kemampuan suatu sistem. Hal ini mencakup modifikasi terhadap perangkat keras dan juga perubahan prosedur.
3. *Combination task* khusus untuk menangani apabila kegagalan terjadi dan mengancam keselamatan kerja manusia di dalamnya

2.7.5 Proposed task dan initial interval

Proposed task berusaha mendiskripsikan tindakan pencegahan sebagai tindakan nyata untuk menterjemahkan hasil dari *proactive task* dan *default action*.

Initial interval merupakan jarak perawatan yang optimal, terhadap *proposed task* yang ditentukan.

Can be done by diisi tentang siapa yang diberikan tanggung jawab dalam melaksanakan *proposed task* tersebut. Meliputi pihak-pihak yang berkaitan langsung dengan proses dari peralatan tersebut.

Pada tabel *information worksheet* dan *decision worksheet* terdapat kolom- kolom sebagai berikut:

1. Kolom F (*function*), FF (*functional failure*), dan FM (*failure mode*) seperti yang terdapat dalam *failure mode & effect analysis* (FMEA)
2. Kolom H (*hidden failure*), S (*safety consequence*), E (*environment consequence*), dan O (*operational consequence*), menunjukkan konsekuensi yang timbul karena adanya kegagalan.
3. Kolom H1/S1/O1/N1 dipakai untuk mencatat *scheduled on-condition task* sesuai untuk mengantisipasi terjadinya *failure mode* , sehingga dapat mencegah, menghilangkan atau meminimalkan konsekuensi yang timbul.
4. Kolom H2/S2/O2/N2 dipakai untuk mencatat apakah *scheduled restoration task* sesuai untuk mengantisipasi terjadinya *failure mode*, sehingga dapat mencegah, menghilangkan atau meminimalkan konsekuensi yang timbul.
5. Kolom H3/S3/O3/N3 dipakai untuk mencatat apakah *scheduled discard task* sesuai untuk mengantisipasi terjadinya *failure mode*, sehingga dapat mencegah, menghilangkan atau meminimalkan konsekuensi yang timbul.
6. Kolom H4/H5/S4 dipakai untuk mencatat jawaban yang diperlukan pada *default question*.
7. Kolom *proposed task* dipakai untuk mencatat jenis kegiatan perawatan yang dipilih dari alternatif – alternatif kegiatan perawatan yang diadakan.

Tabel 2.2. RCM II Decision Worksheet

RCM II Information Worksheet								Sub System:				Facilitator:			
								System:				Auditor:			
Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task	Initial Interval	Can be Done by
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Sumber: Moubray, 1991:160

2.8 Model Matematis Perawatan

Total biaya perawatan (TC) merupakan penjumlahan kumulatif biaya kegagalan dan biaya perawatan, dengan formula sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 TC &= C_f f_f + C_M f_M \\
 &= C_f \left(\frac{1}{TM} \int_0^{TM} \lambda(t) dt \right) + C_M \left(\frac{1}{TM} \right) \\
 &= \frac{1}{TM} \left(C_f \int_0^{TM} \lambda(t) dt + C_M \right)
 \end{aligned} \tag{2-26}$$

Jika data berdistribusi Weibull, maka biaya total per jamnya adalah:

$$TC = \frac{C_f}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_M}{TM} \tag{2-27}$$

Untuk memperoleh TC minimum maka $\frac{dTC}{dTM} = 0$ sehingga diperoleh:

$$TM = \eta \times \left(\frac{C_M}{C_f (\beta - 1)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \tag{2-28}$$

Keterangan:

TC : Biaya total perawatan

TM : Interval waktu perawatan optimal

C_f : Biaya kegagalan setiap siklus

C_M : Biaya yang dikeluarkan untuk perawatan setiap siklus

f_f : Frekuensi Kegagalan

f_M : Frekuensi Perawatan

2.9 Biaya Perawatan

Salah satu tujuan manajemen perawatan adalah mencapai keseimbangan antara biaya-biaya yang timbul dalam perawatan. Struktur biaya yang tercakup dalam perawatan diuraikan sebagai berikut :

1. Biaya kerugian yang dialami akibat sistem tidak dapat berfungsi. Biaya ini disebut biaya kesempatan yang hilang akibat sistem tidak berfungsi.
2. Biaya suku cadang untuk komponen yang dipergunakan dan harus diganti atau diperbaiki

2.10 Penelitian-penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam penerapan *Reliability centered maintenance II (RCM II)* pada perusahaan yang dijadikan sebagai referensi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian Kholik Ono (1999) berjudul “*Implementasi Reliability-Centered Maintenance (RCM) pada Lintasan Produksi Komponen Otomotif Brake Drum di PT Aisin Takaoka Indonesia, Karawang, Jawa Barat*”

Pada suatu sistem produksi, permasalahan mengenai produktivitas merupakan suatu faktor yang sangat penting. Produktivitas suatu sistem produksi dipengaruhi oleh banyak faktor. Salah satu faktor yang penting adalah keandalan (*reliability*) dari sistem produksi tersebut. Permasalahan yang terjadi adalah bagaimana menentukan jenis perawatan yang tepat terhadap berbagai macam kerusakan tersebut, serta kapan pelaksanaan kegiatan perawatan ini dapat dilakukan.

Data-data yang diambil berdasarkan laporan yang dibuat oleh operator-operator yang bertugas pada saat kerusakan terjadi. Data-data ini mencakup data mesin atau komponen yang rusak, penyebab kerusakan, kegiatan perawatan, lamanya perbaikan, data waktu antar kerusakan, data waktu lama perbaikan serta data-data biaya seperti data biaya tenaga kerja maupun biaya akibat adanya kerusakan. Sedangkan Metode yang digunakan untuk melakukan analisis kualitatif dari data diatas adalah *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *Logic (Decision) Tree Analysis (LTA)* dan *Task Selection Road Map (TSRM)*.

Hasil yang dapat diperoleh dari analisis kualitatif yang dilakukan adalah 13 komponen kritis yang direkomendasikan untuk dilakukan suatu perawatan terjadwal. Dari ke 13 komponen tersebut dilakukan suatu uji untuk mengetahui distribusi dari masing-masing komponen, yang kemudian diketahui bahwa ada 2 komponen yang mempunyai distribusi eksponensial, sehingga dibiarkan sampai rusak (*run to failure*).

Dari 11 komponen kritis yang tersisa dilakukan analisis kuantitatif untuk mengetahui selang perawatan masing-masing komponen yang meminimumkan biaya perawatan yang terjadi. Dari hasil tersebut dilakukan trial and error untuk mengetahui selang perawatan dari sistem lintasan produksi *Brake Drum*, hasil yang didapat adalah untuk setiap 59,593 jam dilakukan perawatan untuk lintasan produksi tersebut dengan biaya perawatan total sebesar Rp. 2.655.000,-

2. Penelitian Andy Risliyanto, (2008) berjudul “*Penerapan Reliability centered maintenance II pada Electrostatic Precipitator di PT IPMOMI Paiton*”

Electrostatic Precipitator (ESP) merupakan komponen penting dalam pengolahan residu / zat sisa hasil pembakaran batubara pada suatu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) agar tidak mencemari lingkungan, ESP perlu dianalisis keandalannya untuk menentukan perencanaan perawatan yang optimal dengan menggunakan *Reliability centered maintenance II (RCM II)*.

Reliability centered maintenance II (RCM II) merupakan suatu program perawatan yang optimal dimana mengkombinasikan pendekatan statistik dan menerapkan berbagai macam strategi perawatan.

Berdasarkan evaluasi *reliability* yang telah dilakukan, maka didapatkan waktu *maintenance* untuk *de rapper motor*, dilakukan *scheduled maintenance*, setiap 210 hari, untuk *de rapping device* dilakukan *scheduled maintenance* setiap 125 hari dan untuk *hopper vibrating motor* dilakukan *scheduled maintenance* setiap 125 hari. *Reliability* minimum sebesar 0,90 untuk *electrostaticp precipitator* adalah setiap 95 hari

Untuk mendapatkan gambaran penelitian sebelumnya dan penelitian yang akan dilakukan, perlu dibandingkan variable-variabel yang berupa poin-poin penting dalam penelitian antara lain: identifikasi dan rumusan masalah, pemilihan komponen kritis, jumlah komponen yang diamati, data, pengolahan data, dan hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Berikut ini tabel 2.3 yang menunjukkan perbandingan variabel penelitian sebelumnya dan penelitian yang dilakukan:

Tabel 2.3. Perbandingan Variabel Penelitian

Variabel	Penelitian Kholik	Penelitian Andi	Penelitian Riza
Identifikasi dan rumusan masalah	Bagaimana menentukan jenis dan interval perawatan optimal	Bagaimana menentukan interval perawatan optimal	Bagaimana menentukan jenis dan interval perawatan optimal
Pemilihan mesin dan komponen kritis	Dengan analisis kualitatif	Berdasarkan data kegagalan tertinggi	Dengan analisis kualitatif dan pareto data <i>delay time maintenance</i>
Jumlah komponen kritis yang dilakukan penelitian	13 komponen dengan jenis komponen (3 slide, 5 tool dan 5 spindle) pada tiap proses di lintasan produksi	3 komponen (<i>de rapper motor, de rapping device, hopper vibrating motor</i>) pada <i>Electrostatic Precipitator (ESP)</i>	12 komponen kritis dengan jenis berbeda pada mesin <i>roughing mill</i>
Data	Data kualitatif dan kuantitatif	Data kualitatif dan kuantitatif (kecuali biaya)	Data kualitatif dan kuantitatif
Pengolahan	Masih menggunakan RCM	Menggunakan RCM II	Menggunakan RCM II
Hasil	Komponen kritis, tindakan perawatan tiap komponen, interval perawatan lintasan produksi dengan biaya total.	Komponen kritis, interval perawatan komponen dan <i>reliability</i>	Komponen kritis, tindakan perawatan tiap komponen, interval perawatan komponen dengan biaya masing-masing dan <i>reliability</i>

Sumber : Penelitian-penelitian sebelumnya

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian berisi penjelasan tentang bagaimana kajian ini dilakukan. Penjelasan tersebut berupa metode penelitian yang digunakan, tempat dan waktu penelitian serta langkah-langkah dalam proses pelaksanaan penelitian. Dicantumkan pula diagram alir penelitian untuk mempermudah pelaksanaan penelitian.

3.1 Metode Penelitian

Metode/rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif yaitu penelitian yang dimaksudkan untuk mengumpulkan informasi mengenai status suatu gejala yang ada, yaitu keadaan gejala menurut apa adanya pada saat penelitian dilakukan. (Arikunto: 2005). Jadi tujuan penelitian deskriptif adalah untuk membuat penjelasan sistematis, faktual, dan akurat mengenai fakta-fakta dan sifat-sifat populasi atau daerah tertentu.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pada Penelitian ini, pengambilan data dilakukan di Divisi *Hot Strip Mill* PT Krakatau Steel yang berlokasi di kota Cilegon Provinsi Banten. Penelitian awal dilakukan oleh penulis pada bulan September 2008 sedangkan pengambilan data dilakukan pada bulan Januari 2010

3.3 Survey Pendahuluan

Survey Pendahuluan bertujuan untuk mengetahui gambaran secara jelas kondisi operasi objek yang akan diteliti. Beberapa kegiatan yang bisa dilakukan antara lain :

1. Mengamati kondisi yang terjadi pada perusahaan
2. Melakukan wawancara dengan pihak perusahaan sesuai dengan topik yang diteliti
3. Mempelajari data-data yang ada pada perusahaan

3.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang akan dibahas. Adapun teori-teori yang digunakan meliputi teori keandalan (*reliability*), teori perawatan (*maintenance*), *Reliability*

Centered Maintenance II (RCM II) dan juga eksplorasi terhadap penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat dijadikan sebagai acuan terhadap penelitian yang akan dilakukan.

3.5 Identifikasi dan Perumusan Masalahan

Identifikasi permasalahan yaitu mengidentifikasi secara detail ruang lingkup permasalahan pada sistem yang akan diteliti dan solusi yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dengan membuat deskripsi sistem dan model dari sistem dan menentukan batasan penelitian ini. Dari identifikasi masalah dapat dirumuskan secara jelas permasalahan tersebut beserta tujuan yang diharapkan.

3.6 Penentuan Mesin dan Komponen Kritis

Pada tahap ini dilakukan penentuan mesin dan komponen dari sistem yang dianalisis. Adapun yang dianalisis adalah mesin / komponen yang sering mengalami kegagalan sehingga komponen tersebut dapat dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif, selain itu komponen tersebut memiliki pengaruh terhadap operasi sistem secara keseluruhan. Selain itu dilakukan FMEA untuk mengetahui komponen kritis pada mesin *roughing mill*.

3.7 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan adalah metode studi lapangan yaitu :

1. Wawancara, yaitu pengumpulan data dengan cara interview secara langsung dengan karyawan PT Krakatau Steel Cilegon. Metode ini dilakukan untuk mendapatkan data perawatan yang dilakukan perusahaan.
2. Observasi, yaitu pengumpulan data dengan pengamatan secara langsung. Dalam penelitian ini observasi dilakukan pada lintasan produksi di divisi *Hot Strip Mill* (HSM).
3. Dokumentasi, yaitu pengumpulan data yang berupa arsip, *manual book*, catatan, data historis dari divisi HSM yang berupa data kerusakan mesin.

Data-data tersebut diambil berdasarkan laporan yang dibuat pihak manajemen yang bertugas mencatat setiap kerusakan yang terjadi. Data-data yang dipakai meliputi data yang bersifat kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif meliputi data fungsi mesin kritis di lintasan produksi, data kegagalan mesin, data penyebab kegagalan mesin, dan data yang berupa efek yang ditimbulkan apabila terjadi kegagalan. Sedangkan data

kuantitatif meliputi data waktu antar kerusakan, data waktu lama perbaikan dan data-data biaya seperti data biaya operasional, biaya akibat adanya kerusakan maupun biaya perawatan.

3.8 Pengolahan Data

Selanjutnya data-data yang telah diperoleh pada tahap pengumpulan data akan dilakukan pengolahan secara kualitatif dan kuantitatif.

3.8.1 Pengolahan Data Kualitatif

Pada pengolahan data kualitatif dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. *Functional Block Diagram* (FBD)

Setelah ditetapkan objek penelitian, maka selanjutnya akan dilakukan pendeskripsian sistem terpilih dalam bentuk blok diagram. Dengan FBD dapat diketahui proses dan hubungan fungsional antar mesin dalam sistem.

2. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure mode and effect analysis digunakan untuk mengidentifikasi jenis-jenis kegagalan yang terjadi pada sistem. Dan menganalisis efek-efek yang terjadi terhadap kehandalan sistem dari kegagalan yang telah teridentifikasi.

3. Diagram pareto

Diagram pareto digunakan untuk menentukan mesin-mesin kritis di area *roughing mill* berdasarkan data historis *delay time maintenance* selama periode tertentu. Diagram pareto menjelaskan urutan tingkat *delay time* tiap-tiap komponen dari yang terbesar sampai yang terkecil.

4. *RCM II information worksheet*

Informasi mengenai kegagalan dalam FMEA lebih diperinci lagi dalam *RCM II information worksheet* yang dapat didefinisikan sebagai lembar kerja yang menginformasikan mengenai kegagalan yang terjadi pada suatu komponen yang mencakup *functional failure*, *failure mode*, dan *failure effect*

5. *RCM II decision worksheet*

Setelah dilakukan *FMEA*, selanjutnya akan dilakukan analisis dengan *RCM II decision worksheet*, yang meliputi:

a. *Failure consequence*

Failure consequence bertujuan untuk menganalisis dampak yang ditimbulkan apabila terjadi kegagalan. Dampak kegagalan tersebut meliputi *hidden failures*, *safety* dan *environmental consequence*, *operational consequence* dan *non – operational consequence*.

b. *Proactive task and default action*

Proactive task merupakan suatu keadaan yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*. *Proactive task* terdiri dari beberapa tindakan, antara lain: *scheduled on condition task*, *scheduled restoration task*, *scheduled discard task*. Sedangkan *default action* adalah suatu tindakan yang akan dilakukan apabila *proactive task* tidak dapat menaggulangi dampak kegagalan yang terjadi.

c. *Proposed task*

Proposed task merupakan wujud pendeskripsian tindakan pencegahan sebagai hasil dari *proactive task* dan *default action*.

d. *Initial interval*

Jarak perawatan yang optimal, terhadap *proposed task* yang ditentukan, yang diambil dari hasil pengolahan data *kuantitatif*.

3.8.2 Pengolahan data kuantitatif

Pada pengolahan data kuantitatif dilakukan langkah-langkah yang terdiri atas penentuan distribusi waktu antar kerusakan dan perbaikan, penentuan interval perawatan optimal, dan perencanaan biaya berdasarkan interval perawatan yang optimal

1. Penentuan Distribusi Waktu Antar Kerusakan dan Perbaikan

Distribusi waktu antar kerusakan digunakan untuk mendapatkan nilai kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu tertentu dan kemungkinan mesin dapat beroperasi sampai waktu tertentu (fungsi keandalan).

Distribusi waktu antar perbaikan digunakan untuk menghitung ekspektasi siklus perbaikan, yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai dari biaya akibat adanya kerusakan. Dalam menentukan distribusi masing-masing komponen diperlukan alat bantu olah data, dalam penelitian ini data distribusi diolah dengan software Minitab versi 14.

2. Penentuan Interval Perawatan dan Biaya Perawatan

Langkah-langkah dalam menentukan interval perawatan meliputi:

- Mean Time to Failure (MTTF) atau waktu rata-rata antar kegagalan dan Mean Time to Repair (MTTR) atau waktu rata-rata perbaikan. Perhitungan nilai MTTF digunakan persamaan 2-13, 2-17, 2-21, 2-25 berdasarkan distribusinya.
- Cost of Failure* (biaya kegagalan) dan *Cost of Maintenance* (biaya perawatan)
- Maintenance Interval (TM) atau interval perawatan yang optimal yang bergantung dari parameter distribusi waktu antar kerusakan.
- Penentuan Biaya Perawatan (TC) berdasar interval perawatan optimal

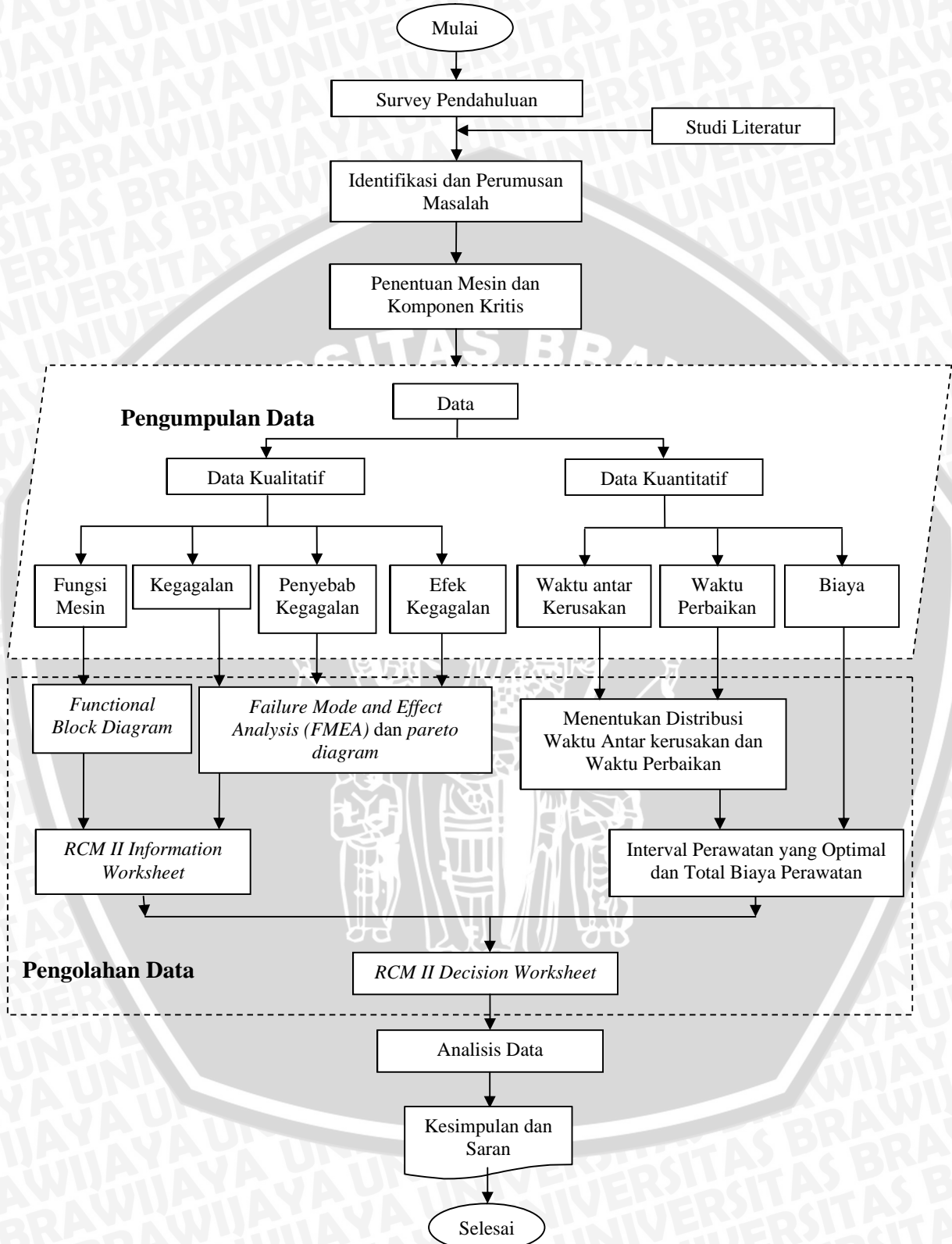
3.9 Analisis Data

Hasil dari pengolahan data kualitatif dan kuantitatif dari langkah-langkah di atas meliputi pemilihan mesin, *FMEA*, *pareto diagram*, *RCM II decision worksheet*, interval perawatan dan biaya perawatan kemudian dilakukan analisis sebagai bahan pengambilan kesimpulan.

3.10 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan merupakan jawaban dari tujuan penelitian serta saran yang didapatkan dari hasil penelitian.

3.11 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

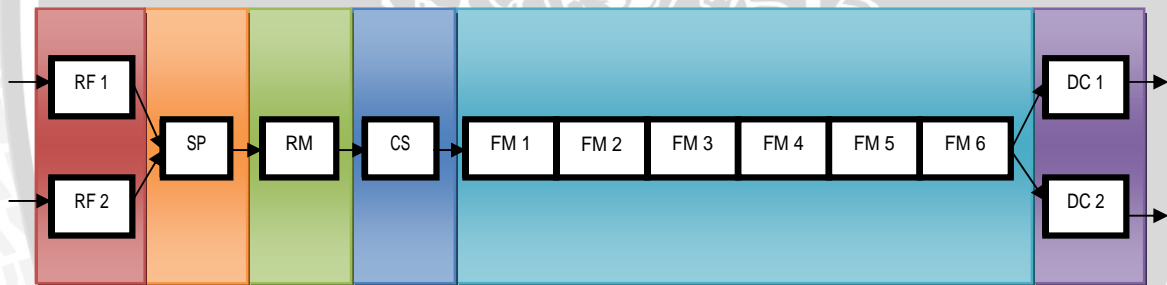
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini terdapat hasil penelitian yang telah dilakukan beserta pembahasan secara berurutan langkah-langkah dalam implementasi metode RCM II dengan ulasan yang dapat dilihat pada setiap sub bab yang ada.

4.1. Hasil

4.1.1 Pemilihan area fungsional lintasan produksi

Berdasarkan mesin-mesin pada lintasan produksi HSM, proses permesinan dibagi kedalam enam fungsional area yang meliputi *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *crop shear*, *finishing mill* dan *down coiler*. Gambar 4.1 dibawah ini menerangkan fungsional diagram yang telah dilengkapi *input*, *output*, dan *work in process* yang memperlihatkan aliran material produk *coil* yang dihasilkan di lintasan produksi HSM ini.



Gambar 4.1 Diagram Alir Area Fungsional Lintasan Produksi HSM
Sumber: Divisi *Hot Strip Mill* PT Krakatau Steel

Keterangan Gambar :

RF = *Reheating Furnace*

CS = *Crop Shear*

SP = *Sizing Press*

FM = *Finishing Mill*

RM = *Roughing Mill*

DC = *Down Coiler*

Input :

1. *Slab* : Merupakan bahan baku yang akan di olah, merupakan baja lembaran dengan spesifikasi sebagai berikut : Ketebalan 200 mm (*continuous casting slab*), Lebar 940 – 2040 mm, panjang max. 12000 mm, berat max. 30 ton, transferbar max 45 mm.

2. Program, daya, bahan bakar, dll yang diberikan kepada mesin.

Work in process

1. *Hot slab* : *Slab* yang sudah dipanaskan setelah dilakukan proses *reheating* dengan temperatur 1200°C - 1300°C .
2. *Transfer bar* atau *foorband* : Baja lembaran dengan ketebalan 30-40 mm hasil reduksi pada *roughing mill* dengan temperatur 1000°C .
3. *Strip* : Baja lembaran tipis dengan ketebalan 1,8 – 25 mm merupakan hasil pereduksian akhir oleh *finishing mill*.

Output

1. *Coil* : Baja lembaran panas yang sudah digulung dengan diameter dalam 760 mm dan diameter luar 2200 mm.

Fungsional area :

1. *Reheating furnace*

Melakukan pemanasan kembali bahan baku (*slab*) sebelum dilakukan pengerolan dengan temperatur 1200°C - 1300°C . Dengan menggunakan tenaga listrik atau disebut *electric furnace* dan menggunakan bahan bakar padat, cair, atau gas disebut *fired furnace*. Dengan kapasitas masing-masing furnace yaitu 300 ton/jam atau sekitar 10 *slab* per jam.

2. *Sizing press*

Mereduksi lebar *slab* sesuai dengan ukuran yang diinginkan dengan cara kerjanya memberikan tekanan (*pressure*) atau penempaan pada kedua sisi *slab* oleh *dies* yang digerakkan oleh *crank shaft* yang masing-masing digerakkan oleh motor yang berbeda, namun masing-masing *crank shaft* dihubungkan dengan sinkronisasi sehingga putaran tiap-tiap *crank shaft* akan tetap sama. tujuan untuk meringankan proses kerja yang dilakukan oleh *vertical edger* di *roughing mill*

3. *Roughing mill*

Berfungsi untuk pereduksian awal atau pengurangan tebal awal dengan pengerolan *slab* sesuai dengan ketebalan yang diinginkan. Baja *slab* mengalami pengurangan tebal dari 250 mm menjadi 30-40 mm. proses pengerollan ini dilakukan secara bolak balik antara 5-9 kali . Sedangkan suhu *slab* yang masuk ke mesin *roughing mill* adalah 1200°C dengan suhu keluar mesin antara 1000°C - 1500°C setelah menjadi transfer bar.

4. *Crop shear*

Berfungsi untuk memotong bagian kepala dan ekor baja *slab* yang bentuknya tidak rata seperti melengkung ke atas (*sky up*), melengkung ke bawah (*sky down*) akibat efek dari proses pemanasan pada proses *roughing mill*

5. *Finishing mill*

Berfungsi untuk mereduksi ketebalan transfer bar hasil proses *roughing mill* dari 30-40 mm menjadi 1,8 – 25 mm dengan cara pengerollan secara bertahap. Divisi HSM terdapat enam buah stand *finishing mill* yaitu masing-masing tiga stand konfigurasi roll tipe 4 histand 2 work roll yang di topang oleh 2 back up roll.

6. *Down coiler*

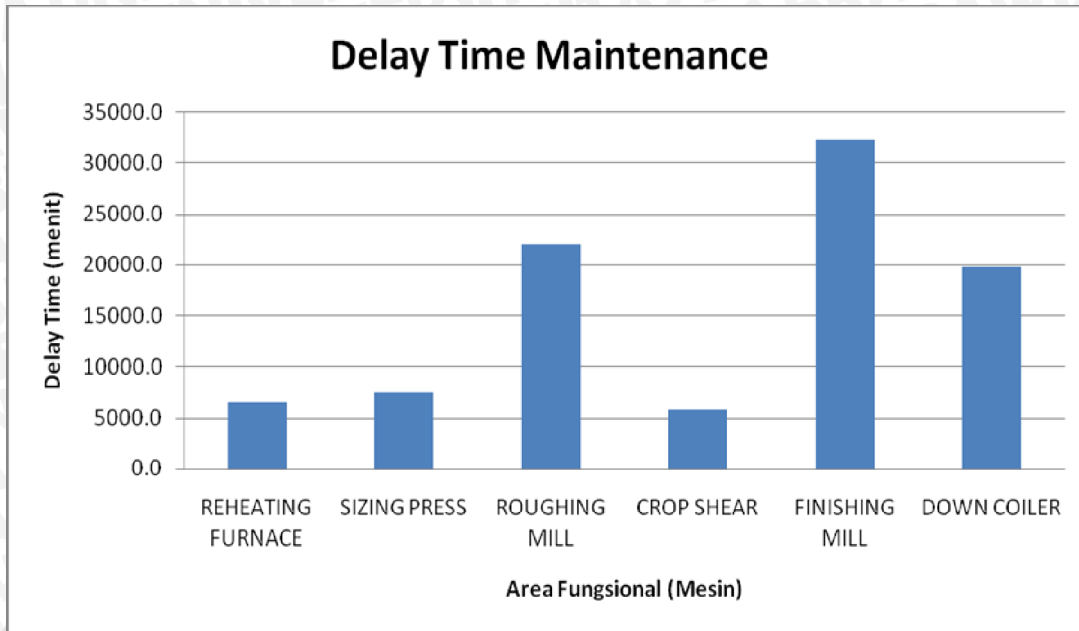
Berfungsi untuk menggulung *strip* yang telah selesai dikerjakan dengan pengerollan. Berat maksimum yang dihasilkan adalah 30 ton dengan diameter dalam 760 mm dan diameter luar 2200 mm. Terdapat dua buah *down coiler* yang bekerja secara bergantian.

Dari enam fungsional area tersebut ditentukan satu area yang memiliki tingkat kekritisan tertinggi berdasarkan data *delay time maintenance* selama periode tertentu, data diambil berdasarkan data historis kegagalan mesin selama dua tahun (Januari 2008 – Desember 2009). Berikut ini tabel 4.1 dan gambar 4.2 yang menunjukkan data *delay time maintenance*:

Tabel 4.1 Data *Delay Time Maintenance* dan frekuensi untuk masing-masing area fungsional.

No	Area	<i>Delay Time Maintenance</i> (Menit)	<i>Stand</i>	Frekuensi
1	<i>Reheating furnace</i>	6525,0	2	165
2	<i>Sizing press</i>	7464,5	1	160
3	<i>Roughing mill</i>	22062,8	1	526
4	<i>Crop shear</i>	5871,0	1	196
5	<i>Finishing mill</i>	32307,0	6	1093
6	<i>Down coiler</i>	19778,0	2	462

Sumber: Dinas Strategis Divisi Perawatan Pabrik BLP PT Krakatau Steel.



Gambar 4.2 *Delay Time Maintenance* (menit)
 Sumber: Dinas Strategis Divisi Perawatan Pabrik BLP PT Krakatau Steel.

Berdasar gambar 4.1 dari keenam area di atas terdapat empat area yang memiliki lintasan seri, kegagalan operasi pada empat area tersebut dapat berdampak pada terhentinya lintasan produksi. Empat area tersebut adalah (*sizing press*, *roughing mill*, *crop shear* dan *finishing mill*). Sedangkan dua lainnya (*reheating furnace* dan *down coiler*) tersusun paralel yang bekerja bergantian. Berdasarkan data di atas menunjukkan bahwa area *finishing mill* memiliki frekuensi dan *delay time* tertinggi, akan tetapi *delay time* karena perawatan tersebut tidak hanya terjadi pada satu *stand finishing mill*, tapi secara bergantian terjadi pada FM1-FM6. Berbeda kondisinya dengan area *roughing mill* yang mengalami *delay time* yang tinggi dan hanya terjadi pada satu *stand mill* saja. Maka dalam penelitian ini dipilih area fungsional paling kritis adalah area *roughing mill* dengan pertimbangan lintasan seri, data historis dan jumlah *stand* mesin.

4.1.2 Pengumpulan data

4.1.2.1 Data kualitatif

Area fungsional *roughing mill* memiliki beberapa mesin dan komponen didalamnya, untuk mengetahui kegagalan pada area *roughing mill* perlu diketahui mesin-mesin dan komponen yang terdapat pada area tersebut serta kegagalan yang terjadi pada masing masing fungsional mesin. Berikut adalah data mesin-mesin dan komponennya :

1. Data fungsi mesin dan komponennya.

Berupa data fungsi masing-masing mesin dan komponen utamanya. Dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

2. Data kegagalan fungsional

1. *Roll table*

- i. Gagal berputar ketika membawa *slab* (roll macet)
 - ii. Gagal mentransfer *slab* karena *slab* berhenti pada roll table

2. *Side guide*

- i. *Slab* keluar dari jalur *side guide*

3. *Stand roughing*

- i. Gagal melakukan proses pengerolan
 - ii. Gagal bekerja maksimal dan foorband (transfer bar) yang dihasilkan tidak sesuai 30-40 mm dengan toleransi ± 15

4. *Vertical edger*

- i. Gagal melakukan proses permesinan untuk menahan lebar *slab*
 - ii. Gagal mempertahankan lebar *slab* 600-2080 mm pada saat proses pengerolan berjalan.

5. *Power water system*

- i. Gagal melakukan penyemprotan/macet
 - ii. Tekanan yang dihasilkan ≤ 200 bar.

6. *Hydraulic system*

- i. Gagal menjalankan fungsi menggerakkan beberapa komponen

7. *Lubricant*

- i. Terjadi gesekan pada komponen yang dilakukan lubrikasi

3. *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

FMEA adalah suatu metode analisis digunakan untuk menentukan mesin-mesin kritis berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang merupakan hasil perkalian nilai-nilai *severity*, *occurrence* dan *detection*

Dalam tabel FMEA dicantumkan beberapa kolom terkait data area fungsional dan data kegagalan masing-masing mesin yang telah diketahui sebelumnya dengan penambahan efek kegagalan, sebab kegagalan dan sistem yang digunakan untuk mendeteksi kegagalan. Berikut tabel 4.2 FMEA dari area fungsional *roughing mill* :

Tabel 4.2 *Failure Model and Effect Analysis* Mesin-mesin *Roughing Mill*

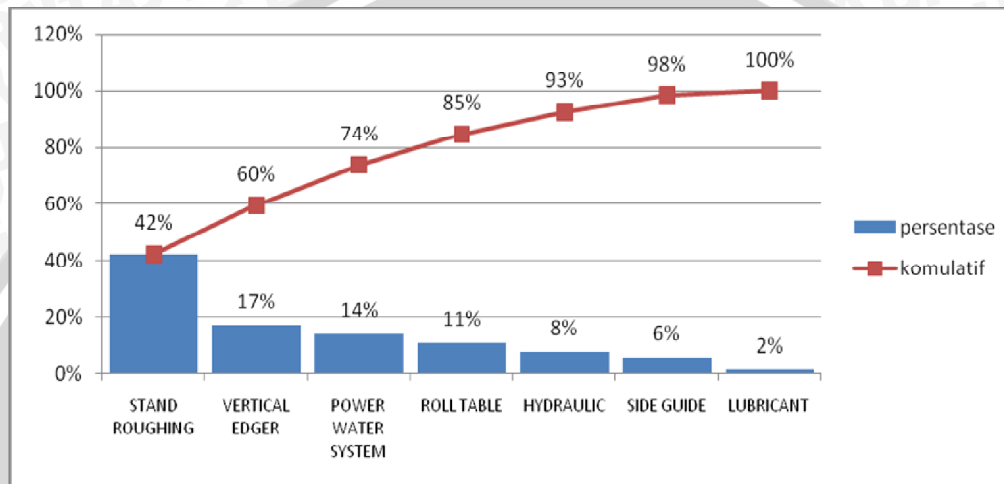
<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>										
Area fungsional	Item/ Mesin	Jenis kegagalan potensial		Dampak kegagalan potensial	Severity	Penyebab kegagalan potensial	Occurrence	Sistem apa yang bisa mendeteksi kegagalan?	Detection	RPN
<i>Roughing mill</i>	<i>Roll table</i>	1	<i>Roll</i> macet	Waktu Produksi lambat	2	- <i>motor trip</i> - <i>coupling</i> dan <i>bearing</i> rusak - selang pendingin bocor	8	<i>Corrective Mintenance</i>	4	64
		2	<i>Slab</i> berhenti	Reject Proses Berhenti	6	- Permukaan <i>Slab</i> bergelombang	4	<i>Condition Base Maintenance</i>	4	96
	<i>Side guide</i>	1	<i>Slab</i> Keluar Jalur	Produk Gagal	6	- Kerusakan pada salah satu bagian <i>side guide</i>	4	<i>Condition Base Maintenance</i>	4	96
	<i>Vertical edger</i>	1	Gagal melakukan Proses permesinan	Proses terhenti	8	- <i>SD edger trip</i> - <i>Motor trip</i> - <i>Sliding Table</i> patah atau lepas.	6	<i>Condition Base Maintenance</i>	6	288
		2	Lebar <i>Slab</i> tidak sesuai spesifikasi	<i>Coil</i> tidak sesuai permintaan	8	- Gerak <i>SD (Screw Down) OS</i> dan <i>DS</i> tidak sama	4	<i>Condition Base Maintenance</i>	6	192
	<i>Stand roughing</i>	1	Gagal melakukan proses pengerolan	Proses terhenti	8	- <i>Sliding contact bearing spindle</i> rusak - <i>Fuse motor</i> putus - <i>SD RM trip</i> - Baut <i>Keeper Plate</i> patah	8	<i>Condition Base Maintenance</i>	6	384

Area fungsional	Item/ mesin	Jenis kegagalan potensial	Dampak Kegagalan potensial	Severity	Penyebab kegagalan potensial	Occurrence	Sistem apa yang bisa mendeteksi kegagalan?	Detection	RPN	
Roughing mill	Stand roughing				<ul style="list-style-type: none"> - Silinder <i>Trust</i> bocor - Selang <i>Balancing</i> bocor - <i>Screw Down</i> turun melewati batas limit 					
		2	Ketebalan transfer bar tidak sesuai spesifikasi	<i>Coil</i> tidak sesuai permintaan	8	<ul style="list-style-type: none"> - Baut <i>spindle</i> kendur - <i>Lifting rail</i> kurang naik 	6	<i>Condition Base Maintenance</i>	6	288
	Power water system	1	Penyemprot Macet	Permukaan <i>coil</i> yang kasar Jika disebabkan pipa meledak sangat beresiko pada <i>safety</i> .	9	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Power water trip</i> - <i>Pulp control</i> macet - Pipa meledak 	6	<i>Condition Base Maintenance</i>	6	324
		2	Tekanan yang dihasilkan kurang dari 200 bar.	Mengurangi kualitas <i>surface coil</i>	6	<ul style="list-style-type: none"> - Kebocoran pada pipa - <i>Power water</i> tidak bekerja maksimal 	6	<i>Condition Base Maintenance</i>	6	216
	Hydraulic system	1	Sistem tidak berfungsi	Proses terhenti	6	<ul style="list-style-type: none"> - Kebocoran pada selang <i>hydraulic</i> - Kontrol rusak 	4	<i>Corrective Mintenance</i>	6	144
	Lubricant	1	Gesekan permukaan terlalu besar	Mesin tidak bekerja maksimal dan beresiko rusak.	4	<ul style="list-style-type: none"> - Masuknya partikel dari luar - Selang Lubrikasi bermasalah 	2	<i>Periodic Maintenance</i>	6	48

Sumber: Divisi *Hot Strip Mill* PT Krakatau Steel

4.1.2.2 Data kuantitatif

Selain dengan FMEA dilakukan analisis pareto untuk menentukan pemilihan mesin kritis pada area fungsional *roughing mill*. Berikut gambar 4.3 yang menunjukkan diagram pareto persentase *delay time maintenance* yang terjadi pada mesin-mesin utama *roughing mill* selama periode dua tahun:



Gambar 4.3 Diagram Pareto *Delay Time Maintenance*
Sumber: Dinas Strategis Divisi Perawatan Pabrik BLP PT Krakatau Steel.

Sesuai dengan konsep pareto (pembagian 80 : 20), berdasar gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa mesin *stand roughing mill*, *vertical edger* dan *power water system* memiliki 74% dari total *delay time maintenance* pada *roughing mill*. Ketiga mesin tersebut merupakan faktor yang paling berpengaruh dari 7 faktor yang dibandingkan. Atau dengan kata lain 74% *delay time maintenance* yang terjadi disebabkan 42% dari keseluruhan faktor penyebab yang dibandingkan. Untuk selanjutnya mesin-mesin tersebut dinyatakan sebagai mesin kritis yang mendapatkan prioritas utama dalam perbaikan.

Mesin-mesin dan komponen-komponen kritis pada area *roughing mill* antara lain :

1. *Stand roughing mill* dengan komponen *sliding contact bearing*, *fuse*, *screw down*, *baut keeper plate*, *trust cylinder*, *balancing*, dan *lifting rail*.
2. *Vertical edger* dengan komponen *SD edger*, *motor edger*, dan *sliding table*
3. *Power water system* dengan komponen *power water* dan *water descaler*.

Maka pada tahap selanjutnya dilakukan pengumpulan data-data kuantitatif dari komponen-komponen kritis tersebut.

1. Data waktu antar kerusakan (*time to failure*) dan data waktu perbaikan (*time to repair*). **Lampiran 3**
2. Data biaya kegagalan dan *maintenance*.
 - a. Rata-rata produksi per bulan

Tabel 4.3 Data Jumlah Produksi setiap Bulan

Bulan	Jumlah Produksi (ton/bulan)	
	2008	2009
Januari	178745,16	108250,86
Februari	169754,94	81778,60
Maret	181572,11	95189,20
April	158853,17	111022,18
Mei	91286,23	127502,81
Juni	170040,56	152948,89
Juli	187614,21	127461,82
Agustus	140916,57	173544,53
September	96983,77	135807,40
Oktober	149700,07	166648,60
Nopember	71206,63	167272,20
Desember	-	154866,91
Rata-Rata	139085,5398	

Sumber: Dinas Strategis Divisi Perawatan Pabrik BLP PT Krakatau Steel.

b. *Loading time*

$$\begin{aligned}
 \text{Loading Time} &= \text{Calender Time} - \text{Unloading time (Preventive time +} \\
 &\quad \text{Idle time + Start up time)} \\
 &= 44640 \text{ menit/bln} - 4208 \text{ menit/bln} \\
 &= 40432 \text{ menit/bln} \\
 &= 673,87 \text{ jam/bln}
 \end{aligned}$$

c. Biaya-biaya

i. Biaya produksi

Tabel 4.4 Data Biaya Produksi per Ton Mill

Keterangan	Biaya (Rp/ton mill)
Biaya Bahan Baku	Rp. 4.600.283,-
Biaya Tetap	Rp. 122.810,-
Biaya Konversi dan bahan Bakar`	Rp. 174.338,-
Total	Rp. 4.897.431,-

Sumber: Divisi TI Pabrik BLP PT Krakatau Steel.

ii. Biaya Maintenance

Tabel 4.5 Data Biaya Maintenance

Deskripsi	Biaya (Rp/siklus)
<i>Screw down</i>	22.500.000,00
<i>Sliding contact bearing</i>	70.000.000,00
<i>Fuse/sekring motor</i>	65.000.000,00
<i>Baut keeper plate</i>	62.500.000,00
<i>Trust cylinder</i>	30.000.000,00
<i>Selang hydraulic balancing</i>	105.000.000,00
<i>Hook lifting rail</i>	120.000.000,00
<i>Screw down edger</i>	50.000.000,00
<i>Motor edger</i>	98.000.000,00
<i>Dudukan sliding table</i>	70.000.000,00
<i>Power water</i>	42.500.000,00
<i>Pipa water descaler</i>	30.000.000,00

Sumber: Bagian Preventive Dinas Perawatan Pabrik Divisi Pabrik BLP PT Krakatau Steel.

iii. Biaya bunga terhadap biaya produksi

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya bunga} &= \text{bunga (14,82\%)} \times \text{biaya produksi} \\
 &= 0,1482 \times \text{Rp. 4.897.431,-} \\
 &= \text{Rp. 725.799,-}
 \end{aligned}$$

iv. Biaya Komponen Setiap Mengalami Kerusakan

Tabel 4.6 Data Biaya Komponen tiap Siklus

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Screw down</i>	Rp2.250.000,00
<i>Sliding contact bearing</i>	Rp3.500.000,00
<i>Fuse/sekring motor</i>	Rp420.000,00
<i>Baut keeper plate</i>	Rp54.000,00
<i>Trust cylinder</i>	Rp600.000,00
<i>Selang hydraulic balancing</i>	Rp300.000,00
<i>Hook lifting rail</i>	Rp1.160.000,00
<i>Screw down edger</i>	Rp1.750.000,00
<i>Motor edger</i>	Rp200.000,00
<i>Dudukan sliding table</i>	Rp650.000,00
<i>Power water</i>	Rp785.000,00
<i>Pipa water descaler</i>	Rp175.000,00

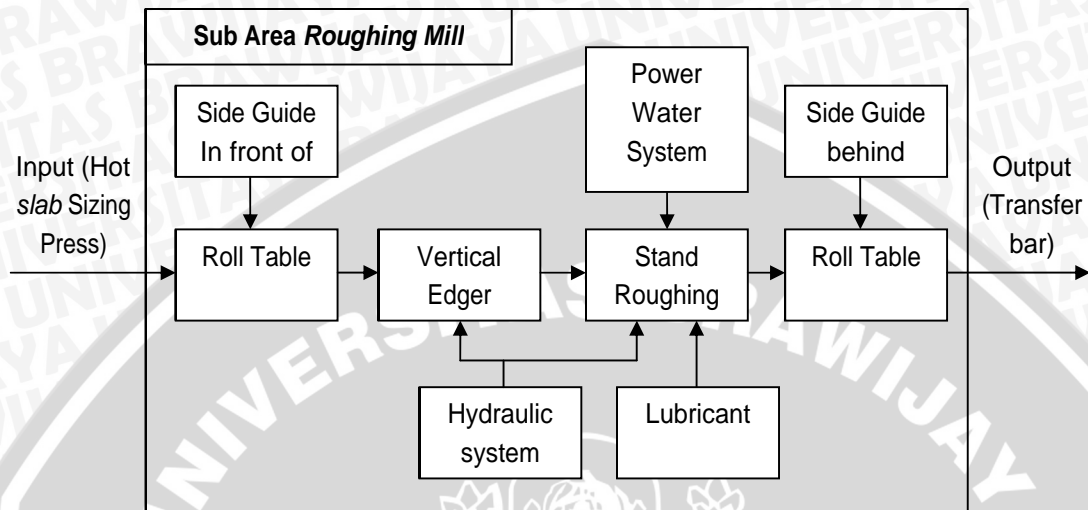
Sumber: Bagian Preventive Dinas Perawatan Pabrik Divisi Pabrik BLP PT Krakatau Steel.

d. Harga Jual *Mill*

Harga jual / ton = 700 USD / ton
 = Rp. 6.650.000,- /ton
 (kurs US\$= Rp. 9.500,-)

4.1.3 Pengolahan data

4.1.3.1 Functional block diagram



Gambar 4.4 *Functional Block Diagram*
Sumber: Divisi Perawatan Pabrik BLP PT Krakatau Steel.

4.1.3.2 Perhitungan matematis interval perawatan

Setelah data yang diperlukan berhasil dikumpulkan, maka data itu perlu diolah agar dapat digunakan untuk menetapkan parameter-parameter keandalan dari mesin serta mendapatkan nilai interval perawatan optimal. Proses pengolahan data yang dikumpulkan adalah sebagai berikut :

1. Penentuan distribusi data dan parameter-parameter keandalan mesin. Pengolahan menggunakan software Minitab 14 sehingga didapatkan distribusi yang tepat dengan koefisien korelasi yang paling mendekati nilai 1.
2. Perhitungan *Mean Time To Failure (MTTF)*, dan *Mean Time To Repair (MTTR)*
3. Perhitungan interval perawatan optimal untuk masing-masing komponen dan total biaya perawatan.

4.1.3.2.1 Penentuan distribusi data dan parameter keandalan

Data waktu antar kegagalan dan lama waktu perbaikan dapat dilihat pada **lampiran3**. Dari data ini akan dilakukan pendugaan distribusi waktu antar kegagalan dan lama perbaikan, digunakan software Minitab 14 untuk membantu pendugaan distribusi.

Berikut tabel 4.7 menunjukkan distribusi waktu antar kegagalan dan lama perbaikan masing-masing komponen serta parameter distribusi masing-masing komponen:

Tabel 4.7 Data Distribusi dan Parameter Keandalan Komponen

Komponen	Ket	Jenis Distribusi	Parameter					
			β	η	γ	λ	μ	σ
Screw down	TF	Weibull	1,28652	30553,7	0			
	TR	Weibull	2,65511	57,65	8,61493			
Sliding contact bearing	TF	Weibull	0,6767	69210,3	0			
	TR	Weibull	1,45421	32,583	88,4073			
Fuse/sekring	TF	Weibull	0,587745	62835,3	0			
	TR	Weibull	2,933335	25,4144	95,7273			
Baut keeper plate	TF	Weibull	0,680097	70758,5	0			
	TR	Weibull	497,686	1344,58	-1298,36			
Trust cylinder	TF	Weibull	1,07592	45090,5	0			
	TR	Lognormal					3,86134	0,4166
Balancing	TF	Weibull	0,682103	105783	0			
	TR	Weibull	1,06836	7,68014	52,3666			
Lifting rail	TF	Weibull	1,28095	159578	0			
	TR	Lognormal					3,60119	0,761192
Sd edger	TF	Weibull	0,938015	66597,5	0			
	TR	Lognormal					3,39707	0,133614
Motor edger	TF	Weibull	0,971571	139929	0			
	TR	Weibull	17,9073	40,0688	0			
Sliding table	TF	Weibull	0,654254	71730,9	0			
	TR	Weibull	13,4104	151,282	0			
Power water	TF	Weibull	0,976829	57992,8	0			
	TR	Weibull	2,89762	8,7176	25,2819			
Water descaler	TF	Weibull	0,827252	38758,2	0			
	TR	Lognormal					4,26937	0,372875

Sumber : Data Pengolahan

4.1.3.2.2 Perhitungan MTTF dan MTTR

Setelah parameter-parameter data waktu antar kegagalan dan data waktu lama perbaikan didapatkan maka dapat dihitung nilai-nilai dari MTTF dan MTTR dengan menggunakan software microsoft excel. Rumus yang digunakan adalah rumus perhitungan dengan distribusi *weibull* dan *lognormal* (2-21) dan (2-25). Hasil perhitungan dapat dilihat pada **lampiran 6**. Sedangkan nilai *MTTF* dan *MTTR* masing-masing komponen disebutkan dalam tabel 4.8 sebagai berikut :

Tabel 4.8 Data *MTTF* dan *MTRR*

Mesin	Komponen	<i>MTTF</i> (menit)	<i>MTRR</i> (menit)
<i>Stand roughing</i>	<i>Screw down</i>	28457,11	59,77
<i>Mill</i>	<i>Sliding contact bearing</i>	90640,25	118,01
	<i>Fuse/sekring</i>	97141,89	118,54
	<i>Baut keeper plate</i>	92204,91	46,22
	<i>Trust cylinder</i>	43366,69	51,84
	<i>Balancing</i>	137439,73	59,75
	<i>Lifting rail</i>	148627,76	48,95
<i>Vertical edger</i>	<i>Sd edger</i>	70998,33	30,14
	<i>Motor edger</i>	144023,46	38,12
	<i>Sliding table</i>	97164,19	143,92
<i>Power water System</i>	<i>Power water</i>	59368,43	33,11
	<i>Water descaler</i>	43017,87	76,62

Sumber : Data Pengolahan dengan software MINITAB 14

4.1.3.2.3 Perhitungan interval perawatan optimal komponen dan total biaya perawatan

Setelah dilakukan pengujian distribusi dan perhitungan waktu rata-rata antar kegagalan dan waktu rata-rata lama perbaikan selanjutnya dilakukan perhitungan interval perawatan yang optimum masing-masing komponen.

Sebelumnya perlu diketahui biaya kegagalan dan biaya perawatan akibat kegagalan yang terjadi pada masing-masing komponen

1. Biaya kerugian

a. Biaya delay

$$\text{Biaya Tetap (Rp/jam)} = \frac{\text{Biaya Tetap (Rp/ton)} \times \text{rata-rata produksi (ton/bulan)}}{\text{Loading time (jam/bulan)}}$$

$$= \frac{\text{Rp. 122.810,-/ton} \times 139.085 \text{ ton/bln}}{673,87 \text{ jam/bln}}$$

$$= \text{Rp. 25.347.886,-/jam}$$

$$\text{Biaya Konversi dan BB (Rp/jam)} = \text{Biaya Konv dan BB} \times \text{rata-rata prod (ton/bln)}$$

$$\begin{aligned} & \text{Loading Time (jam/bulan)} \\ & = \underline{\text{Rp. 174.338,-/ton} \times 139.085 \text{ ton/bln}} \\ & \quad 673,87 \text{ jam/bln} \\ & = \text{Rp. 35.983.223,-/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Delay (Rp/jam)} &= \text{Biaya Tetap (Rp/jam)} + \text{Biaya Konvesi dan BB (Rp/jam)} \\ &= \text{Rp. 25.347.886,-/jam} + \text{Rp. 35.983.223,-/jam} \\ &= \text{Rp. 61.331.109,-/jam} \end{aligned}$$

b. Biaya opportunity loss

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan Produksi (ton/jam)} &= \text{Rata-rata prod (ton/bln)} / \text{Loading Time (jam/bln)} \\ &= 139.085 \text{ (ton/bln)} / 673,87 \text{ (jam/bln)} \\ &= 206,4 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga Jual (Rp/ton)} &= 700 \text{ USD/ton} \times \text{Rp. 9.500,-} \\ &= \text{Rp. 6.650.000,- /ton} \end{aligned}$$

$$\text{Biaya Produksi (Rp/ton)} = \text{Rp. 4.897.431,- /ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Bunga biaya Produksi} &= 14,82\% \times \text{Biaya Produksi (Rp/ton)} \\ &= 14,82\% \times \text{Rp. 4.897.431,- /ton} \\ &= \text{Rp. 725.799,-} \end{aligned}$$

$$\text{Biaya Produksi total (Rp/ton)} = \text{Rp. 5.623.230,-/ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Opportunity Loss (Rp/jam)} \\ &= (\text{Harga jual (Rp/ton)} - \text{Biaya prod total (Rp/ton)}) \\ & \quad \times \text{Kecepatan Produksi (ton/jam)} \\ &= (\text{Rp. 6.650.000} - \text{Rp. 5.623.230}) \times 206,4 \text{ ton/jam} \\ &= \text{Rp. 211.925.271,- /jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya Kerugian adalah} &= \text{Biaya Delay} + \text{Biaya Opportunity Loss} \\ &= \text{Rp. 61.331.109,-/jam} + \text{Rp. 211.925.271,- /jam} \\ &= \text{Rp. 273.256.380,-/jam} \end{aligned}$$

2. Biaya perbaikan

Biaya perbaikan adalah biaya yang dikeluarkan bila terjadi kerusakan komponen.

Biaya ini meliputi biaya komponen, biaya kerugian (biaya delay dan *opportunity loss*) akibat penggantian. Berikut ini tabel biaya perbaikan masing-masing komponen :

Tabel 4.9 Biaya Perbaikan Komponen

Mesin	Komponen	Biaya Komponen (Rp)	Biaya Kerugian (Rp/Jam)	MTTR (jam)	Biaya Perbaikan Komponen (CF) Rp/siklus
<i>Stand roughing mill</i>	<i>Screw down</i>	2.250.000	273.256.380	0,9961	274.440.680,12
	<i>Sliding contact bearing</i>	3.500.000	273.256.380	1,9669	540.967.973,82
	<i>Fuse/sekring</i>	420.000	273.256.380	1,9756	540.265.304,33
	<i>Baut keeper plate</i>	54.000	273.256.380	0,7703	210.543.389,51
	<i>Trust cylinder</i>	600.000	273.256.380	0,8640	236.693.512,32
	<i>Balancing</i>	300.000	273.256.380	0,9959	272.436.028,84
	<i>Lifting rail</i>	1.160.000	273.256.380	0,8159	224.109.880,44
<i>Vertical edger</i>	<i>Sd edger</i>	1.750.000	273.256.380	0,5024	139.034.005,31
	<i>Motor edger</i>	200.000	273.256.380	0,6353	173.799.778,21
	<i>Sliding table</i>	650.000	273.256.380	2,3987	656.110.078,71
<i>Power water system</i>	<i>Power water</i>	785.000	273.256.380	0,5518	151.567.870,48
	<i>Water descaler</i>	175.000	273.256.380	1,2872	351.910.612,34

Sumber: Data Pengolahan

3. Interval perawatan optimal (TM) dan total biaya perawatan (TC)

Dengan menggunakan rumus 2-27 dan 2-28 maka dengan data-data perhitungan yang diolah sebelumnya (β , η , CM dan CF) dapat diketahui nilai waktu interval perawatan yang optimal (TM) dan total biaya perawatan (TC). Tabel 4.10 di bawah ini menunjukkan hasil perhitungan nilai TM dan TC dari perhitungan pada

Lampiran 7 dan 8 :

Tabel 4.10 Interval Perawatan Optimal dan Total Biaya Perawatan

Komponen	β	η	CM (Rp/siklus)	CF (Rp/siklus)	TM (jam)	TC (Rp./jam)
<i>Screw down</i>	1,28652	30553,7	22.500.000,00	274.440.680,12	192,54	118.963,24
<i>Sliding contact bearing</i>	0,67670	69210,3	70.000.000,00	540.967.973,82	298,09	280.315,05
<i>Fuse/Sekring</i>	0,58775	62835,3	65.000.000,00	540.265.304,33	128,83	614.832,96
<i>Baut Keeper Plate</i>	0,68010	70758,5	62.500.000,00	210.543.389,51	1056,50	70.577,86
<i>Trust Cylinder</i>	1,07592	45090,5	30.000.000,00	236.693.512,32	1210,06	28.780,67
<i>Balancing</i>	0,68210	105783,0	105.000.000,00	272.436.028,84	2338,21	53.558,62
<i>Lifting Rail</i>	1,28095	159578,0	120.000.000,00	224.109.880,44	4400,28	27.783,06
<i>SD Edger</i>	0,93802	66597,5	50.000.000,00	139.034.005,31	7233,13	9.308,30
<i>Motor Edger</i>	0,97157	139929,0	98.000.000,00	173.799.778,21	50481,85	3.219,88
<i>Sliding Table</i>	0,65425	71730,9	70.000.000,00	656.110.078,71	198,18	423.337,26
<i>Power Water</i>	0,97683	57992,8	42.500.000,00	151.567.870,48	12409,25	6.133,49
<i>Water Descaler</i>	0,82725	38758,2	30.000.000,00	351.910.612,34	275,07	130.409,32

Sumber : Data Pengolahan

4.1.3.3 RCM II information worksheet

Tabel 4.11 RCM II Information Worksheet

**RCM II
INFORMATION
WORKSHEET**

Unit or Item		Facilitator		Date	
<i>ROUGHING MILL</i>					
Item or Component		Auditor		Date	
<i>STAND ROUGHING</i>					
FUNCTION		FUNCTION FAILURE (Lost of Function)		FAILURE MODE (Cause of Failure)	FAILURE EFFECT (What happens when it fails)
1	Mereduksi ketebalan <i>slab</i> dari 250 mm menjadi foorband (transfer bar) 30-40 mm dengan toleransi plus minus 15 mm	1	Gagal melakukan proses pengerolan	<p>1 Spindle breakdown <i>Sliding contact bearing</i> rusak.</p> <p>2 <i>Motor trip</i> (mati) Fuse/sekring putus karena beban</p> <p>3 <i>Screw Down</i> RM trip</p> <p>4 <i>Keeper Plate</i>, baut patah karena menahan gaya terlalu besar.</p>	<p>Spindle berfungsi mentransmisikan daya dari motor ke work roll, sehingga ketika spindle rusak daya tidak tersalurkan dan mesin berhenti beroperasi, komponen harus diganti terjadi delay time untuk penggantian dengan waktu 2 jam. Komponen yang rusak di perbaiki di workshop. Lintasan produksi terhenti, terjadi kerugian karena tidak memproduksi.</p> <p>Motor memberikan daya untuk menggerakkan roll, motor mati maka tidak ada daya untuk menggerakkan work roll, operasi terhenti untuk perbaikan. Terjadi delay time karena pengecekan dan perbaikan motor .</p> <p>Motor penggerak screw down mati, tidak bisa digerakkan, operasi berhenti untuk dilakukan pengecekan dan perbaikan. Lintasan produksi terhenti, terjadi kerugian karena tidak memproduksi.</p> <p>Keeper plate berfungsi menahan chock dan roll agar tetap pada posisinya, tiap keeper plate memiliki dua baut. Baut yang patah akan mengganggu kerja roll,</p>

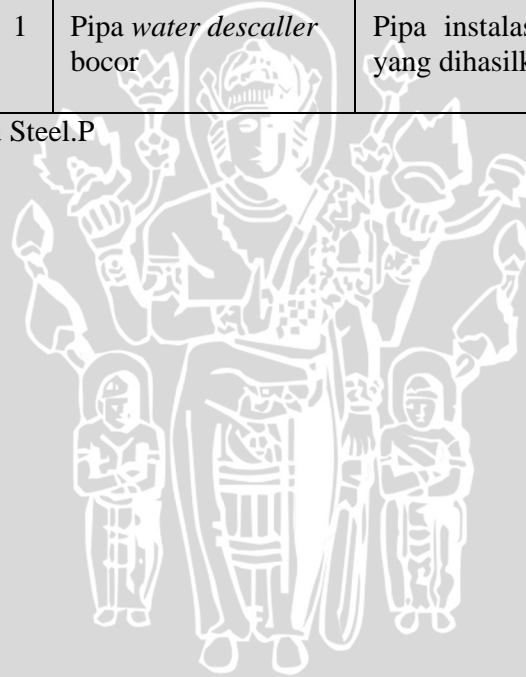
		<p>2 Gagal bekerja maksimal dan foorband (transfer bar) yang dihasilkan tidak sesuai 30-40 mm dengan toleransi plus minus 15</p>	<p>1 <i>Spindle</i> tidak bergerak normal, baut kendur</p> <p>7 <i>Screw down</i> turun melewati batas lower limit</p> <p>6 <i>Balancing</i>, selang hydraulic bocor</p> <p>5 <i>Thrust cylinder</i> bocor pada silindernya</p>	<p>sehingga perlu langsung diganti mengakibatkan delay time untuk penggantian baut. Operasi berhenti.</p> <p>Trust cylinder berfungsi menjaga supaya work roll tetap menempel back up roll, kebocoran silinder akan mengakibatkan system hydraulic terganggu. Operasi berhenti untuk dilakukan perbaikan cylinder.</p> <p><i>Balancing</i> memiliki mekanisme yang sama dengan trust cylinder, sebagai penyeimbang pada chuck back roll terhadap tekanan screw down. Kebocoran selang hydraulic berakibat tekanan yang dihasilkan tidak optimal.</p> <p>Screw down berfungsi untuk mengatur gap antara work roll atas dan bawah untuk mengatur ketebalan dalam proses pengerolan. Dalam proses adjustment screw down kemungkinan turun melewati batas lower limit. Dampaknya proses perbaikannya sangat lama sehingga mesin harus berhenti dan mengalami kerugian karena tidak produksi.</p> <p>Baut pada spindle terletak pada sambungan spindle dengan kopling. Kondisi baut yang kendur dalam batas normal tidak berakibat fatal, tetapi perlu segera dikencangkan jika didapati kondisi tersebut, agar tidak bertambah berat resikonya. Jika kondisi baut lepas maka akan berdampak spindle akan jatuh, dan kerugian waktu sangat banyak untuk memasangnya kembali.</p>
--	--	--	---	---

			2	<i>Lifting rail</i> kurang naik, hooknya aus.	Letak <i>Lifting rail</i> berada sebelum masuk work roll, berfungsi mengatur posisi <i>slab</i> agar bisa masuk ke dalam work roll. Bisa digerakkan ke atas dan ke bawah dengan sistem hydrolic, hook yang aus akan mengakibatkan <i>lifting rail</i> susah dinaikkan. Akibatnya posisi <i>slab</i> sebelum masuk roll tidak sempurna, sehingga berpengaruh terhadap hasil produksi.		
RCM II INFORMATION WORKSHEET	Unit or Item	ROUGHING MILL			Facilitator	Date	
	Item or Component	VERTICAL EDGER			Auditor	Date	
FUNCTION		FUNCTION FAILURE (Lost of Function)		FAILURE MODE (Cause of Failure)		FAILURE EFFECT (What happens when it fails)	
1	Mempertahankan lebar <i>slab</i> pada saat pengerolan berlangsung, dengan lebar yang ditentukan antara 600-2080 mm plus minus 30 mm	1	Gagal melakukan proses permesinan untuk menahan lebar <i>slab</i>	1	<i>Screw down Edger Trip</i> (mati)	Screw down pada vertical edger memiliki fungsi memberikan tekanan dari 2 sisi (Drive side dan Operating side) sehingga mampu menahan lebar <i>slab</i> ketika proses mill berjalan. Screw down macet berakibat operasi terhenti dan dilakukan perbaikan.	
				2	<i>Main Drive Edger Trip</i> (mati)	Motor memberikan daya untuk menggerakkan edger, motor mati maka operasi terhenti untuk dilakukan perbaikan. Terjadi delay time karena pengecekan dan perbaikan motor .	
				3	<i>Sliding Table</i> patah dudukannya.	Sliding table digunakan untuk menjaga atau mengarahkan posisi <i>slab</i> sebelum masuk vertical edger, karena pada posisi sliding table tidak terdapat roll table, sehingga sliding table juga berfungsi menghantarkan <i>slab</i> ke edger. Sering terjadinya benturan <i>slab</i> dengan	

		2	Gagal mempertahankan lebar <i>slab</i> 600-2080 mm pada saat proses pengerolan berjalan	4	<i>Sliding Table</i> Lepas	<p>sliding tabel pada saat operasi maka akan menyebabkan kejadian dudukan sliding table patah akibatnya <i>slab</i> bisa slip sebelum masuk edger, selain itu mesin berhenti operasi untuk memperbaiki dudukannya.</p> <p>Sama dengan atas</p> <p>Pada screw down edger terdapat mekanisme hydraulic sebagai penggerak pada sisi DS dan OS masing-masing harus memiliki tekanan yang sama. Permasalahan tekanan yang tidak sama dipengaruhi oleh system controlnya, dampaknya lebar <i>slab</i> tidak sesuai dengan yang diinginkan.</p>	
RCM II INFORMATION WORKSHEET	Unit or Item <i>ROUGHING MILL</i>					Facilitator	Date
	Item or Component <i>POWER WATER SYSTEM</i>					Auditor	Date
FUNCTION		FUNCTION FAILURE (Lost of Function)		FAILURE MODE (Cause of Failure)		FAILURE EFFECT (What happens when it fails)	
\1	Membersihkan kotoran atau scale yang menempel pada permukaan <i>slab</i> ketika proses pengerolan berjalan. Dengan menyemprotkan air bertekanan ≥ 200 bar	1	Gagal melakukan penyemprotan / macet.	1	<i>Power Water Trip</i>	Operasi terhenti untuk pengecekan dan perbaikan motor dan instalasinya. Terjadi delay time karena pengecekan dan perbaikan motor .	
				2	<i>Water descaller, pulp control</i> macet	Water descaler berfungsi menyemprotkan air bertekanan tinggi untuk membersihkan scale, kemacetan biasa terjadi karena sistem controlnya. Akibatnya kualitas <i>slab</i> yang sedang diproses buruk, karena belum bersih dari scale. Akibat lain delay time untuk melakukan perbaikan.	

			3	Pipa <i>power water</i> meledak	Air yang dihasilkan <i>power water</i> memiliki tekanan tinggi >200 bar, sehingga pipa instalasi harus kuat menahan tekanan. Pipa yang meledak bisa disebabkan terdapat udara dalam saluran pipa, akibat ledakan bisa mengancam keselamatan jika mengenai manusia. Selain itu proses perbaikannya juga lama.	
		2	Tekanan yang dihasilkan < 200 bar	1	Pipa <i>water descaller</i> bocor	Pipa instalasi yang bocor akan mengurangi tekanan yang dihasilkan

Sumber: Divisi Perawatan Pabrik BLP PT Krakatau Steel.P



4.1.3.4 RCM II decision worksheet

RCM II decision worksheet dibagi dalam 16 kolom. Kolom-kolom yang diberi judul F, FF dan FM mengidentifikasi mode kegagalan yang ditinjau dari *RCM information worksheet* dan judul dari 10 kolom berikutnya mengacu ke pertanyaan-pertanyaan dalam *RCM II decision diagram* pada gambar di **lampiran 9**, sebagai berikut:

1. Kolom-kolom yang diberi judul H, S, E dan O digunakan untuk mencatat jawaban-jawaban dari pertanyaan-pertanyaan yang menyangkut konsekuensi-konsekuensi dari setiap mode kegagalan.
2. Tiga kolom berikutnya (diberi judul H1, H2, H3, dst) mencatat apakah kegiatan pencegahan telah dipilih, dan jika sudah maka apa jenis kegiatannya.
3. Jika perlu menjawab pertanyaan-pertanyaan *defaults*, kolom-kolom dengan judul H4 dan H5, atau S4 digunakan untuk mencatat jawaban-jawaban tersebut.

Tiga kolom terakhir mencatat kegiatan yang telah dipilih (jika ada), Interval perawatan yang diusulkan dan operator yang dapat menjalankan usulan kegiatan. Kolom usulan kegiatan (*proposed task*) juga digunakan untuk mencatat kasus-kasus dimana perancangan ulang diperlukan atau keputusan bahwa mode kegagalan tersebut tidak membutuhkan perawatan terjadwal.

Tabel 4.12 RCM II Decision Worksheet Stand Roughing Mill

**RCM II
DECISION
WORKSHEET**

Unit or Item <i>ROUGHING MILL</i>	Facilitator	Date
Item or Component <i>STAND ROUGHING MILL</i>	Auditor	Date

Information Reference			Consequence Evaluation				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Default Action			Proposed Task	Initial Interval (jam)	Can be done by (Operator)
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
1	1	1	Y	N	N	Y	Y						Pengecekan secara terjadwal kondisi <i>Sliding contact bearing Spindle Roughing Mill</i> terhadap gangguan yang berpotensi menyebabkan rusak	289,09	Mekanik
1	1	2	Y	N	N	Y	N	N	Y				Penggantian terjadwal Komponen Fuse pada Motor <i>Roughing Mill</i>	128,83	Elektrik
1	1	3	Y	N	N	Y	N	Y					Penggantian dan Perbaikan terjadwal Screw Down RM	192,54	Mekanik
1	1	4	Y	N	N	N	N	N	Y				Penggantian secara terjadwal Baut penyangga Keeper Plate	1056,5	Mekanik
1	1	5	Y	N	N	Y	N	Y					Penggantian dan Perbaikan secara terjadwal silinder yang mengalami kebocoran	1210,06	Mekanik

Sumber: Data Pengolahan

Tabel 4.12 RCM II Decision Worksheet Stand Roughing Mill (lanjutan)

RCM II DECISION WORKSHEET			Unit or Item <i>ROUGHING MILL</i>							Facilitator			Date			
			Item or Component <i>STAND ROUGHING MILL</i>							Auditor			Date			
Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task		Initial Interval (jam)	Can be done by (Operator)
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	1	6	Y	N	N	Y	N	N	Y				Penggantian komponen selang hydraulic secara terjadwal pada <i>Balancing Chuck Back Roll</i>	2338,21	Mekanik	
1	1	7	Y	N	N	Y	Y						Pengecekan kondisi Screw Down secara terjadwal terhadap gejala-gejala turun melewati limit	192,54	Mekanik	
1	2	1	Y	N	N	N	Y						Pengecekan kondisi baut spindle <i>sliding contact bearing</i> dan penyesuaian secara terjadwal	289,09	Mekanik	
1	2	2	Y	N	N	N	N	Y					Penggantian dan perbaiki Lifting Rail secara terjadwal	4400,28	Mekanik	

Sumber: Data Pengolahan

Keterangan : F (Function), FF (Failure Function), FM (Failure Mode), H (Hidden Failure), S (Safety), E (Environment), O (Operational), H1S1O1N1 (Scheduled Condition Task), H2S2O2N2 (Scheduled Restoration Task), H3S3O3N3 (Scheduled Discard Task), H4 (Scheduled Failure Finding), H5 (Redesign), S4 (Combination Task)

Tabel 4.13 RCM II Decision Worksheet Vertical Edger

**RCM II
DECISION
WORKSHEET**

Unit or Item <i>ROUGHING MILL</i>	Facilitator	Date
Item or Component <i>VERTICAL EDGER</i>	Auditor	Date

Information Reference			Consequence Evaluation				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Default Action			Proposed Task	Initial Interval (jam)	Can be done by (Operator)
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
1	1	1	Y	N	N	Y	N	Y				Penggantian dan Perbaikan terjadwal Screw Down Edger	7233,13	Mekanik	
1	1	2	Y	N	N	Y	N	Y				Penggantian dan Perbaikan terjadwal Main Drive (motor) Edger	50481,85	Elektrik	
1	1	3	Y	N	N	Y	Y					Pengecekan kondisi Sliding Table secara terjadwal terhadap gangguan penyebab kerusakan	198,18	Mekanik	
1	1	4	Y	N	N	Y	Y					Pengecekan kondisi Sliding Table secara terjadwal terhadap sambungan dudukan dengan roll	198,18	Mekanik	
1	2	1	Y	N	N	Y	Y					Pengecekan kondisi secara terjadwal Screw Down Edger OS dan DS	7233,13	Mekanik	

Keterangan : F (Function), FF (Failure Function), FM (Failure Mode), H (Hidden Failure), S (Safety), E (Environment), O (Operational), H1S1O1N1 (Scheduled Condition Task), H2S2O2N2 (Scheduled Restoration Task), H3S3O3N3 (Scheduled Discard Task), H4 (Scheduled Failure Finding), H5 (Redesign), S4 (Combination Task)

Tabel 4.14 RCM II Decision Worksheet Power Water System

**RCM II
DECISION
WORKSHEET**

Unit or Item <i>ROUGHING MILL</i>	Facilitator	Date
Item or Component <i>POWER WATER SYSTEM</i>	Auditor	Date

Information Reference			Consequence Evaluation				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Default Action			Proposed Task	Initial Interval (jam)	Can be done by (Operator)
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
1	1	1	Y	N	N	Y	N	Y				Penggantian dan Perbaikan terjadwal motor Power Water	12409,25	Elektrik	
1	1	2	Y	N	N	N	N	Y				Penggantian dan Perbaikan secara terjadwal pulp control pipa Water Descaler	275,07	Mekanik	
1	1	3	Y	Y	N	N	N	N	Y			Penggantian pipa Water Descaler yang meledak secara terjadwal	275,07	Mekanik	
1	2	1	Y	Y	N	N	Y					Pengecekan kondisi dan perbaikan terjadwal pipa Water Descaler	275,07	Mekanik	

Sumber: Data Pengolahan

Keterangan : F (Function), FF (Failure Function), FM (Failure Mode), H (Hidden Failure), S (Safety), E (Environment), O (Operational), H1S1O1N1 (Scheduled Condition Task), H2S2O2N2 (Scheduled Restoration Task), H3S3O3N3 (Scheduled Discard Task), H4 (Scheduled Failure Finding), H5 (Redesign), S4 (Combination Task)

4.2. Pembahasan

4.2.1 Analisis pemilihan sub area lintasan dan mesin kritis

Pada penelitian yang telah dilakukan di divisi *hot strip mill* berdasarkan lintasan produksi, total *delay time maintenance*, dan *stand* mesin diketahui bahwa area fungsional *roughing mill* dipilih sebagai area fungsional kritis dan perlu mendapatkan penanganan lebih dibandingkan dengan mesin pada area fungsional yang lain. Sedangkan untuk menentukan mesin kritis dilakukan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan diagram pareto.

FMEA memuat bentuk-bentuk kegagalan (*failure mode*), penyebab bagaimana suatu komponen dapat mengalami kegagalan operasi/kerusakan. Analisis dimulai dari *functional failure* untuk tiap mesin pada area fungsional *roughing mill*. Komponen yang dimasukkan dalam analisis adalah komponen/mesin yang berpotensi menyebabkan *functional failure* dari catatan perbaikan yang ada sebelumnya. Data FMEA diperoleh berdasarkan *machine history record* dan wawancara yang didapat dari operator mekanik dan elektrik.

Faktor-faktor yang terdapat dalam FMEA adalah :

1. Penilaian *severity* adalah keseriusan dari efek kegagalan pada komponen selanjutnya, sub sistem, sistem atau pelanggan.
2. Penilaian *occurrence* adalah kemungkinan atau frekuensi terjadinya kegagalan pada skala 1 sampai 10, dimana angka satu menunjukkan tidak mungkin gagal dan 10 pasti terjadi kegagalan.
3. Penilaian *detection* adalah ketidakmampuan dalam mendeteksi kegagalan atau probabilitas kegagalan yang tidak dapat di deteksi sebelum dampak pada efek terjadi (*realized*).

Penilaian kekritisan FMEA dilakukan dengan mengembangkan *Risk Priority Number* (RPN). RPN adalah hasil perkalian *Severity* (S) x *Occurrence* (O) x *Detection* (D). Mode kegagalan yang mempunyai RPN tertinggi menjadi prioritas untuk tindakan korektif daripada yang memiliki nilai RPN rendah.

Semakin besar RPN maka kegagalan tersebut semakin memerlukan penanganan lebih ekstra daripada kegagalan lain. Angka-angka dalam RPN didapatkan dengan melakukan wawancara dengan pihak bagian perawatan yang mengerti dan paham tentang komponen tersebut.

Hasil dari FMEA didapatkan mesin kritis yang perlu dilakukan pengamatan dan penelitian secara mendalam adalah mesin *stand roughing mill*, *vertical edger* dan *power water system*. Ketiga mesin di atas memiliki RPN tinggi yang artinya memiliki resiko tinggi mengalami kerusakan, memiliki dampak pada sistem dan lebih sulit untuk dideteksi dibandingkan mesin lain dalam area fungsional *roughing mill*.

Hasil dari FMEA diperkuat dengan diagram pareto yang menempatkan ketiga mesin tersebut sebagai mesin yang memiliki persentase *delay time maintenance* tertinggi diantara mesin-mesin pada area fungsional *roughing mill*. Komponen kritis yang dilakukan RCM II merupakan komponen utama dari mesin-mesin tersebut.

4.2.2 Analisis *functional block diagram*

Functional block diagram menjelaskan hubungan antar mesin-mesin dalam area fungsional *roughing mill* serta menjelaskan proses produksi mulai input berupa *hot slab* dari mesin area fungsional sebelumnya sampai output berupa *transfer bar*. Berdasarkan diagram dapat diketahui bahwa semua mesin-mesin pada area fungsional *roughing mill* saling terkait dan memiliki fungsi masing-masing.

4.2.3 Analisis perhitungan matematis interval perawatan optimal dan biaya total

1. Uji distribusi

Dari hasil pengujian distribusi dengan software MINITAB 14 dapat diketahui bahwa semua komponen memiliki nilai t_f (*time failure*) berdistribusi weibull, Parameter bentuk (*shape*) $\beta < 1$ kecuali 3 komponen yaitu *screw down RM*, *Trust cylinder* dan *lifting rail* yang memiliki $\beta > 1$. Menjelaskan bahwa ketiga komponen berdasarkan Kurva Bak Mandi (*bath tube curve*) memiliki laju kerusakan pada masa *wear out* (berpotensi *high failure*) sebaiknya dilakukan perawatan pencegahan untuk mengurangi probabilitas kerusakan yang lebih fatal pada masa mendatang. Umumnya pada fase ini dilakukan penggantian komponen yang telah direncanakan secara tepat. Sedangkan nilai t_r (*time repair*) memiliki distribusi weibull dan lognormal. Distribusi dipilih berdasarkan nilai koefisien korelasi masing-masing distribusi yang mendekati nilai 1.

2. MTTF dan MTTR

Data hasil uji distribusi menunjukkan bahwa sebagian besar data berdistribusi weibull dan beberapa berdistribusi lognormal. Maka dalam perhitungan MTTF dan MTTR digunakan formulasi (2-21) dan (2-25). Semakin kecil nilai MTTF maka menunjukkan bahwa komponen memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi. Sedangkan MTTR menunjukkan waktu rata-rata seberapa lama operator melakukan perbaikan, semakin tinggi MTTR semakin lama perbaikan dan juga berpengaruh pada besarnya biaya resiko kegagalan (TF).

3. Perhitungan interval perawatan optimal komponen dan total biaya perawatan

Komponen dengan biaya kegagalan (CF) yang tinggi dan biaya perawatan (CM) rendah seperti *sliding contact bearing*, *fuse* dan *sliding table* perlu dilakukan tindakan *preventive* lebih sering atau diperlakukan interval perawatan yang lebih pendek. Dengan mempertimbangkan biaya perawatan dan biaya kegagalan serta parameter-parameter distribusi maka dapat diketahui waktu optimal perawatan (TM), dimana masing-masing komponen memiliki waktu perawatan optimal yang berbeda. TM menunjukkan waktu komponen dilakukan tindakan perawatan secara periodik, sedangkan tindakan perawatan bisa berupa pengecekan kondisi, perbaikan atau penggantian sesuai dengan tabel *RCM Decision Worksheet*.

Total biaya perawatan per satuan waktu masing-masing komponen menunjukkan biaya yang harus dikeluarkan perusahaan untuk tindakan perawatan dengan interval waktu optimal.

4.2.4 Analisis keandalan komponen

Nilai keandalan masing-masing komponen didapatkan dengan rumus perhitungan (2-15) Berikut ini tabel 4.15 yang menunjukkan perbandingan keandalan (*reliability*) dengan interval TM dan To :

Tabel 4.15 Perbandingan Keandalan TM dan To

Komponen	TM (jam)	To (jam)	R (TM)	R (To)
<i>Screw down</i>	192,54	720	0,999	0,992
<i>Sliding contact bearing</i>	298,09	360	0,975	0,972
<i>Fuse/sekring</i>	128,83	360	0,974	0,953
<i>Baut keeper plate</i>	1056,50	1440	0,944	0,932
<i>Trust cylinder</i>	1210,06	1250	0,980	0,979
<i>Balancing</i>	2338,21	3200	0,928	0,912
<i>Lifting rail</i>	4400,28	5500	0,990	0,987
<i>Sd edger</i>	7233,13	12000	0,883	0,818
<i>Motor edger</i>	50481,85	54500	0,690	0,670
<i>Sliding table</i>	198,18	450	0,979	0,964
<i>Power water</i>	12409,25	15000	0,801	0,766
<i>Water descaler</i>	275,07	400	0,983	0,978
Rata-rata			0,927	0,908

Sumber: Data Pengolahan

Berdasarkan tabel 4.15 di atas dapat kita ketahui bahwa keandalan dengan interval perawatan optimal (TM) lebih baik dari pada interval sebelum perbaikan (To). Dengan interval lebih pendek maka akan didapatkan peningkatan keandalan komponen dengan rata-rata keandalan komponen 90,8% menjadi 92,72%.

4.2.5 Analisis RCM II *information worksheet*

Dalam pendekatan RCM II, FMEA dimodifikasi dengan *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) sehingga informasi mengenai kegagalan tersebut lebih terperinci dan dikenal dengan nama RCM II *Information Worksheet* yang dapat didefinisikan sebagai lembar kerja yang menginformasikan mengenai kegagalan yang terjadi pada suatu komponen yang mencakup *functional failure*, *failure mode*, dan *failure effect*.

1. *Function* (fungsi) adalah definisi performance yang diharapkan oleh suatu sistem untuk dapat beroperasi.
2. *Functional failure* (kegagalan fungsi) didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu aset/sistem untuk memenuhi *performance standard* yang diharapkan.
3. *Failure* (kegagalan) adalah ketidakmampuan suatu aset untuk beroperasi sesuai yang diharapkan

4.2.6 Analisis RCM II *decision worksheet*

RCM II *Decision Worksheet* digunakan untuk mencatat semua jawaban yang berasal dari pertanyaan pada *Decision Diagram (Lampiran 9)*. *Decision Worksheet* menjelaskan bahwa ada 4 jenis perawatan yaitu *scheduled condition task*, *scheduled restoration task*, *scheduled discard task* dan *no scheduled maintenance*.

1. *Scheduled condition task*

Pada dasarnya jenis perawatan ini merupakan teknik *predictive maintenance*. Beberapa indikator yang digunakan dalam menentukan tindakan dengan *scheduled condition task* antara lain:

1. Keterangan langsung dari operator yang secara langsung dekat dengan mesin. Keterangan meliputi apa yang dilihat, didengar dan dirasakan. Cara ini sangat subyektif, maka harus memerlukan pengamatan yang cukup terhadap tingkah laku obyek.
2. Pengamatan terhadap variasi produk yang dihasilkan, apakah ada indikasi keluar batas kontrol.

Jenis perawatan ini diperlukan pada beberapa komponen yang memiliki efek kerusakan yang tinggi secara operasional dan biaya komponen dibandingkan yang lain seperti komponen *sliding contact bearing* dan *sliding table*.

2. *Scheduled restoration task*

Jenis perawatan ini berupa perawatan secara periodik dan teratur terhadap komponen. Hal ini dikarenakan komponen memiliki laju penurunan keandalan distribusi weibull dengan *shape* parameter (β)>1.

Mengindikasikan bahwa komponen memasuki masa *wear out* yang berpotensi *high failure*. Akan tetapi ada beberapa komponen yang lain yang juga dilakukan tindakan dengan *scheduled restoration task* bukan karena pada masa wear out, tetapi disebabkan dampak kerusakan yang serius. Beberapa komponen yang dilakukan jenis perawatan ini antara lain, *screw down RM*, *trust cylinder*, *lifting rail*, *screw down* dan *motor edger* serta komponen *power water*.

3. *Scheduled discard task*

Merupakan tindakan penggantian komponen secara terjadwal sebelum batas waktu yang ditentukan. Penggantian komponen dilakukan karena dengan tindakan restorasi tidak mampu mengembalikan ke kondisi semula. Untuk menghemat biaya maka komponen yang lama yang diganti dilakukan perbaikan, kecuali komponen yang hanya bisa sekali digunakan seperti *fuse*, baut penyangga, selang *hydraulic balancing* dan *water descaler*.

4. *No scheduled maintenance*

No scheduled maintenance merupakan tindakan pencegahan kerusakan diluar restor, repair atau replace. Yaitu dengan tindakan *redesign* dan *run to failure* maupun dengan kombinasi perawatan. Hasil dari penelitian ini tidak ada komponen yang tidak dilakukan perawatan terjadwal.

BAB V PENUTUP

Dalam penutup dicantumkan kesimpulan yang merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan, menjawab rumusan masalah penelitian berupa pemilihan komponen kritis, menentukan perawatan yang optimal dan keandalannya. Saran-saran dari hasil penelitian juga dicantumkan sebagai bahan masukan bagi perusahaan maupun penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka hal-hal yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis dengan FMEA dan diagram pareto dapat diketahui bahwa mesin-mesin kritis yang memiliki prioritas utama untuk dilakukan perbaikan perawatan pada area fungsional *roughing mill* adalah *stand roughing mill*, *vertical edger* dan *power water system*. Komponen-komponen kritis pada mesin-mesin tersebut antara lain : *sliding contact bearing*, *fuse*, *screw down*, *baut keeper plate*, *trust cylinder*, *balancing*, *lifting rail*, *SD edger*, *motor edger*, *sliding table*, *power water* dan *water descaler*.
2. Berdasarkan *Reliability Centered Maintenance II* didapatkan kebijakan perawatan berupa tindakan perawatan yang tepat serta interval perawatan yang optimal masing-masing komponen. Dengan menggunakan RCM II *decision worksheet* pada tabel (4.12 – 4.14) didapatkan kesimpulan sebagai berikut:
 - a. *Screw down roughing mill*, jenis perawatan *scheduled restoration task* dengan interval perawatan optimal 192,54 jam
 - b. *Sliding contact bearing*, jenis perawatan *scheduled condition task* dengan interval perawatan optimal 289,09 jam
 - c. *Fuse/sekring motor RM*, jenis perawatan *scheduled discard task* dengan interval penggantian optimal 128,83 jam
 - d. *Baut penyangga keeper plate*, jenis perawatan *scheduled discard task* dengan interval penggantian optimal 1056,5 jam
 - e. *Trust cylinder*, jenis perawatan *scheduled restoration task* dengan interval perawatan optimal 1210,06 jam

- f. Selang *hydraulic balancing*, jenis perawatan *scheduled discard task* dengan interval penggantian optimal 2338,21 jam
 - g. *Lifting rail*, jenis perawatan *scheduled restoration task* dengan interval perawatan optimal 4400,28 jam
 - h. *Screw down edger*, jenis perawatan *scheduled restoration task* dengan interval perawatan optimal 7233,13 jam
 - i. *Motor edger*, jenis perawatan *scheduled restoration task* dengan interval perawatan optimal 50481,85 jam
 - j. *Sliding table*, jenis perawatan *scheduled condition task* dengan interval perawatan optimal 198,18 jam
 - k. *Power water*, jenis perawatan *scheduled restoration task* dengan interval perawatan optimal 12409,25 jam
 - l. *Water descaler*, jenis perawatan *scheduled discard task* dengan interval penggantian 275,07 jam
3. *Delay time maintenance* akibat kerusakan pada *roughing mill* dapat dikurangi dengan meningkatkan keandalan komponen-komponen kritis. Maka, berdasarkan hasil penelitian dengan interval perawatan optimal di atas didapatkan peningkatan keandalan rata-rata komponen dari 90,8% menjadi 92,72%.

5.2 Saran

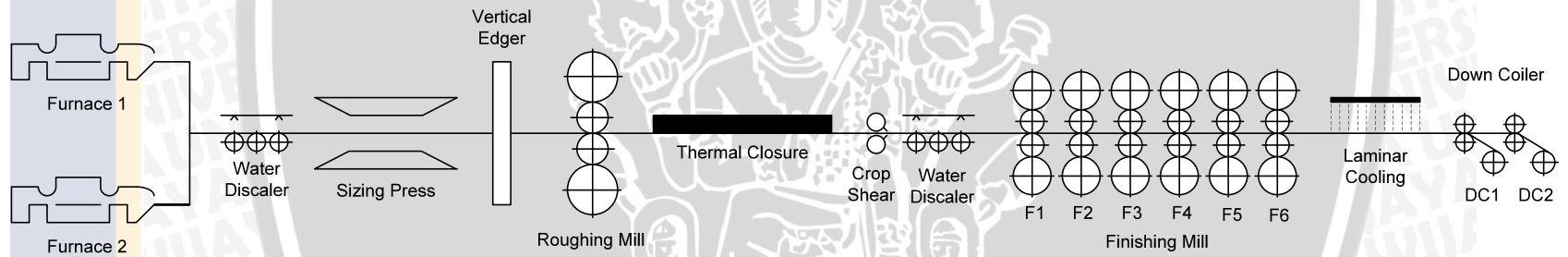
Beberapa saran yang dapat diberikan pada perusahaan untuk tindakan yang akan diambil selanjutnya berkaitan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan :

1. Menjalankan kegiatan perawatan yang diusulkan terhadap komponen kritis pada *roughing mill*, karena komponen-komponen tersebut memiliki *delay time maintenance* tinggi yang akan berdampak pada operasional dan kerugian financial.
2. Pencatatan data waktu kerusakan dan waktu lama perbaikan perlu dilakukan lebih teliti dan intensif lagi, semakin valid data maka semakin optimal perawatan yang bisa dilakukan.
3. Sosialisasi berupa pengadaan training/pelatihan kepada setiap operator tentang penerapan RCM II, sehingga bisa dipahami bahwa RCM II merupakan suatu metode perawatan yang terpadu.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. 2005. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Assauri, Sofyan. 1993. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi UI.
- Besterfield, Dale H. 2003. *Total Quality Management*. New Delhi: Dorling Kindersley.
- Corder, Antony. 1996. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Jakarta: Erlangga.
- Dhillon, B.S. 2006. *Maintainability, Maintenance and Reliability for Engineers*. NewYork: CRC Press Taylor and Francis Group.
- Ebeling, C.E. 1997. *An Introduction To Reliability And Maintainability Engineering*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Kuswadi & Erna Mutiara. 2004. *Delapan Langkah dan Tujuh Alat Statistik*. Jakarta: Gramedia.
- Moubray, John. 1991. *Reliability Centered Maintenance II*. New York: Industrial Prss.Inc.
- Ono, Kholik. 1999. *Implementasi Reliability-Centered Maintenance (RCM) pada Lintasan Produksi Komponen Otomotif Brake Drum di PT Aisin Takaoka Indonesia, Karawang, Jawa Barat*. Tugas Akhir Teknik Industri.
- Priyatna, Dwi. 2000. *Keandalan Dan Perawatan*. Surabaya: Teknik Perkapalan, ITS.
- Risliyanto, Andy. 2008. *Penerapan Reliability Centered Maintenance II pada Electrostatic Precipitator di PT IPMOMI Paiton*. Tugas Akhir Teknik Fisika, ITS

Lampiran 1. Diagram Lintasan Produksi HSM



Sumber: Divisi *Hot Strip Mill (HSM)* PT Krakatau Steel Cilegon

Lampiran 2. Fungsi Mesin dan Komponen Utama

1. *Roll Table* = Berfungsi mentransfer *slab* dari proses sebelumnya sampai keluar output berupa transfer bar.

No	Komponen Utama	Fungsi
1	<i>Roll</i>	Sebagai conveyor yang berputar menggerakkan <i>slab</i> yang ada di atasnya.
2	Selang pendingin	Mendinginkan <i>slab</i> ketika berjalan pada roll.
3	<i>Motor</i>	Sebagai sumber energi untuk memutar roll
4	<i>Coupling</i>	Alat transmisi daya dari motor ke roll
5	<i>Bearing</i>	Mengurangi gesekan permukaan ketika roll berputar.

2. *Side Guide* = Menjaga Posisi *Slab* agar tetap pada jalurnya.
3. *Stand Roughing* = Merupakan mesin inti pada *Roughing Mill* yang berfungsi mereduksi ketebalan *slab* dari 250 mm menjadi foorband (transfer bar) 30-40 mm dengan toleransi ± 15 mm.

No	Komponen Utama	Fungsi
1	<i>Screw Down RM</i>	Untuk Menekan <i>Chuck Roll</i> dan Mengatur Ketebalan
2	<i>Spindle</i>	Mentransmisikan daya dari motor ke <i>work roll</i>
3	<i>Motor</i>	Sebagai sumber yang menghasilkan energi
4	<i>Keeper Plate</i>	Menahan <i>Chuck Roll</i> agar tetap pada posisinya
5	<i>Trust Cylinder</i>	Menjaga posisi <i>work roll</i> agar tetap menempel pada back up roll.
6	<i>Lifting Rail</i>	Mengarahkan <i>slab</i> agar bisa masuk work roll
7	<i>Balancing</i>	Penyeimbang tekanan <i>screw down</i> pada <i>chuck backup roll</i> .

4. *Vertical Edger* = Mempertahankan lebar *slab* pada saat pengerolan berlangsung, dengan lebar yang ditentukan antara 600-2080 mm dengan toleransi ± 30 mm

No	Komponen Utama	Fungsi
1	<i>Screw Down Edger</i>	memberikan tekanan dari 2 sisi (<i>Drive side</i> dan <i>Operating side</i>) sehingga mampu menahan lebar <i>slab</i> ketika proses mill berjalan.
2	<i>Main drive edger (motor)</i>	memberikan daya untuk menggerakkan <i>edger</i>
3	<i>Sliding Table</i>	untuk menjaga atau mengarahkan posisi <i>slab</i> sebelum masuk <i>vertical edger</i> . Karena pada posisi <i>sliding table</i> tidak terdapat roll table, maka <i>sliding table</i> juga berfungsi menghantarkan <i>slab</i> ke <i>edger</i> .

5. *Power Water System* = Menyediakan air bertekanan tinggi yang digunakan untuk menyemprot *slab* ketika pengerolan berlangsung. Fungsinya untuk membersihkan kotoran / *scale* yang menempel permukaan *slab* dengan tekanan air ≥ 200 bar.

No	Komponen Utama	Fungsi
1	<i>Power Water</i>	Sebagai penghasil air bertekanan tinggi.
2	<i>Water Descaler</i>	Alat yang digunakan untuk menyemprotkan air bertekanan tinggi untuk membersihkan <i>scale</i> ketika proses pengerolan berjalan.

6. *Hydraulic System* = Berfungsi untuk menggerakkan beberapa komponen seperti *spindle*, *screwdown*, *balancing* dll. Dengan mekanisme *hydraulic*

No	Komponen Utama	Fungsi
1	<i>Hydraulic B</i>	Untuk mengatur gerak <i>spindle</i> dan <i>balancing</i> .
2	<i>Hydraulic C</i>	Untuk menggerakkan termopanel dan berfungsi membantu dalam proses penggantian <i>work roll</i> .
3	<i>Hydraulic AWC</i>	<i>Automatic Wide Control</i> (untuk mengatur lebar <i>slab</i> pada <i>vertical edger</i>)

7. *Lubricant* = Berfungsi untuk mengurangi gesekan antar dua permukaan, mencegah masuknya partikel dari luar dan juga memiliki fungsi distribusi panas.

No	Komponen Utama	Fungsi
1	Selang Lubrikasi	Berfungsi sebagai media penyaluran pelumas pada beberapa bagian.
2	ZOES	Sistem pelumasan pada <i>gearbox</i>
3	<i>Mouse</i>	Melumasi <i>journal bearing back up roll</i>

Lampiran 3 Data Time to Failure (TF) dan Time to Repair (TR)

Tabel Data TF dan TR (dalam satuan menit)

<i>Stand Roughing</i>													
<i>Screw Down RM</i>		<i>Sliding contact bearing</i>		<i>Fuse Motor RM</i>		<i>Baut Keeper Plate</i>		<i>Trust Cylinder</i>		<i>BalancIng</i>			
TF	TR	TF	TR	TF	TR	TF	TR	TF	TR	TF	TR		
10013	5703	67	115	76192	128	53163	117	50361	45	35955	70	228886	74
30188	4263	77	57	37336	104	4199	121	22998	49	119480	49	1379	61
83469	5699	51	61	1343	97	1330	110	11480	45	59000	104	184260	60
128097	5707	95	53	4227	93	305173	107	64760	46	1400	20	34505	55
21555	31630	45	50	33009	107	207239	121	74843	42	1397	42	296585	55
2829	8593	51	22	2773	111	44524	116	2835	41	503952	55	20095	65
15783	5714	57	120	38759	127	2760	120	1401	37	59000	37	28747	53
15783	47468	30	52	189953	121	119400	120	151165	43	97880	60	142502	58
8582	4250	58	70	338270	100	161174	106	149721	46	18675	46	35945	55
12911	28741	70	59	35900	130	18600	120	233238	46	4273	46		
106498	15757	62	83	43049	135	70427	133	95000	48	4280	48		
2833	54673	47	25	176985	151	1310	130	67642	47	1390	86		
2834	56106	46	54					107963	47	7147	47		
28742	84886	35	74					1397	45	4281	25		
2831	5705	49	55							5716	43		
11449		71								47480	42		

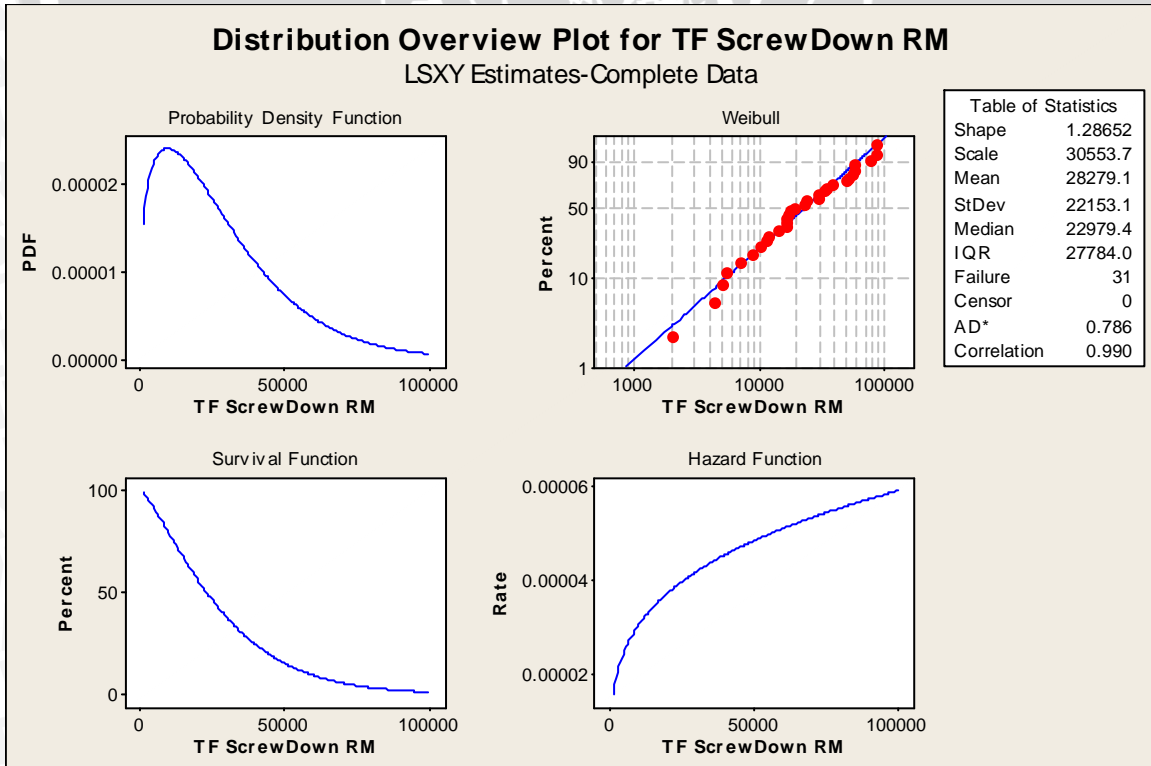
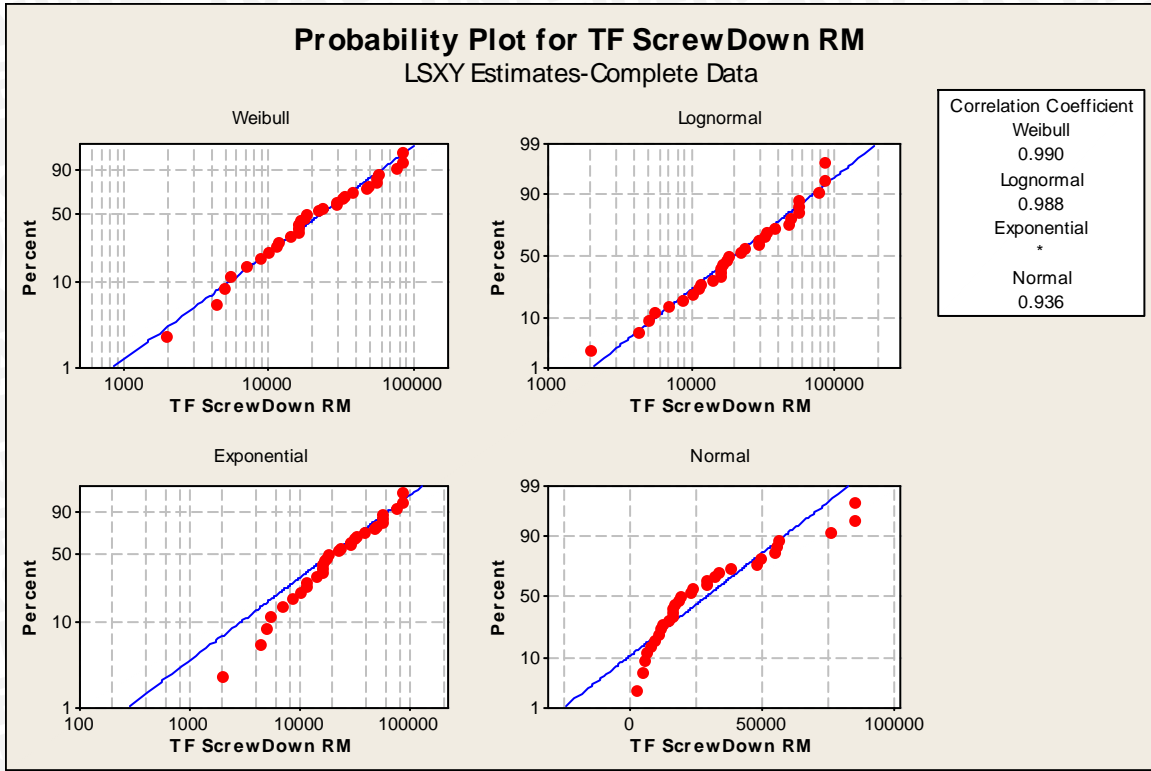
Sumber : Dinas Strategis Divisi Perawatan Pabrik BLP PT Krakatau Steel periode Januari 2008 – Desember 2009

Tabel Data TF dan TR (dalam satuan menit)

<i>Stand Roughing</i>		<i>Vertical Edger</i>						<i>Power Water System</i>			
<i>Lifting Rail</i>		<i>Screw Down Edger</i>		<i>Motor Edger</i>		<i>Sliding Table</i>		<i>Power Water</i>		<i>Water Descaler</i>	
TF	TR	TF	TR	TF	TR	TF	TR	TF	TR	TF	TR
84920	24	30205	35	279323	37	7050	150	195806	34	43115	59
41726	75	17255	25	161238	42	37297	143	191489	31	1372	47
151165	35	53252	28	105080	40	1274	166	41725	35	11430	90
102201	125	2850	30	22999	41	24321	159	99330	30	43132	68
419007	10	33088	32	177082	38	349796	124	4283	37	187133	67
5720	40	1408	32	203002	38	35874	126	203010	30	7130	70
30200	28	4295	25	47485	35	106410	150	90688	32	10000	93
8595	45	187165	35	11479	41	12813	147	7168	32	30162	78
21556	30	89250	30			2740	140	4280	40	1355	85
		33090	30			161135	145	15810	30	12893	117
		93574	26			143857	143	35967	33	7120	47
		33095	25			126562	158	1412	28	60404	30
		5729	31					35965	35	122322	45
		377250	30					12926	34	152550	120
		5732	28					18687	33	48879	81
		7170	30					25887	33	1361	50
		63320	40					4285	35	2810	70
										73365	75
										2805	75
										9997	155
										44573	67
										5695	65
										66146	94

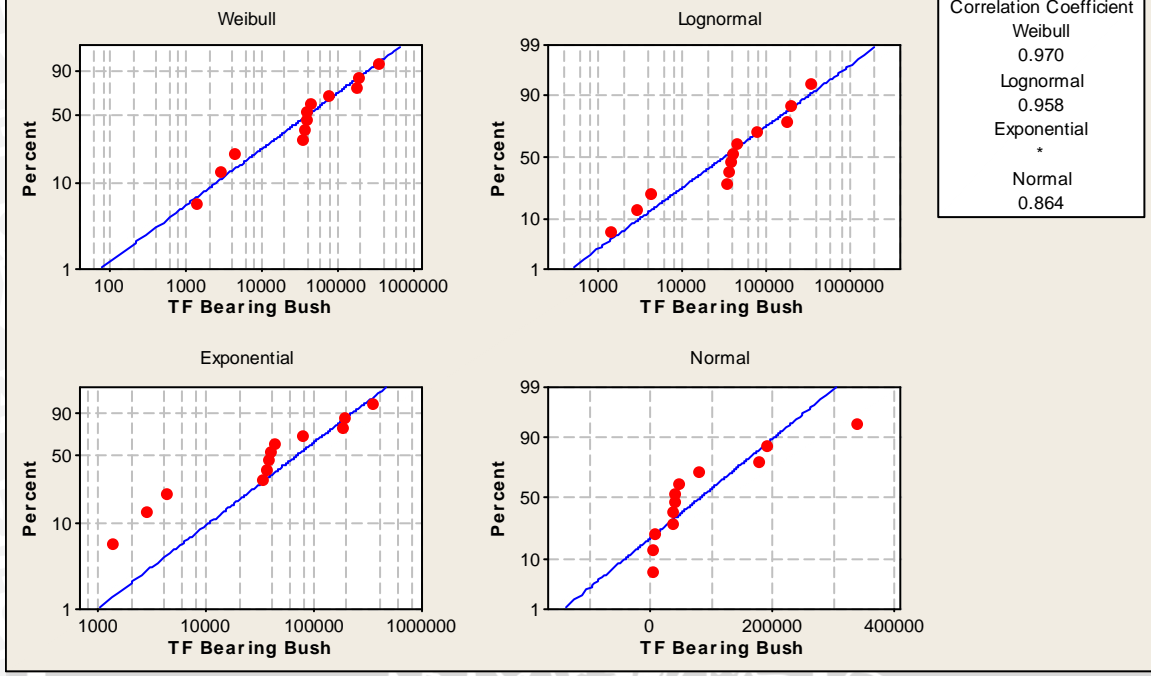
Sumber : Dinas Strategis Divisi Perawatan Pabrik BLP PT Krakatau Steel periode Januari 2008 – Desember 2009

Lampiran 4. Pengolahan Data TF (Time to Failure) dengan Software MINITAB 14



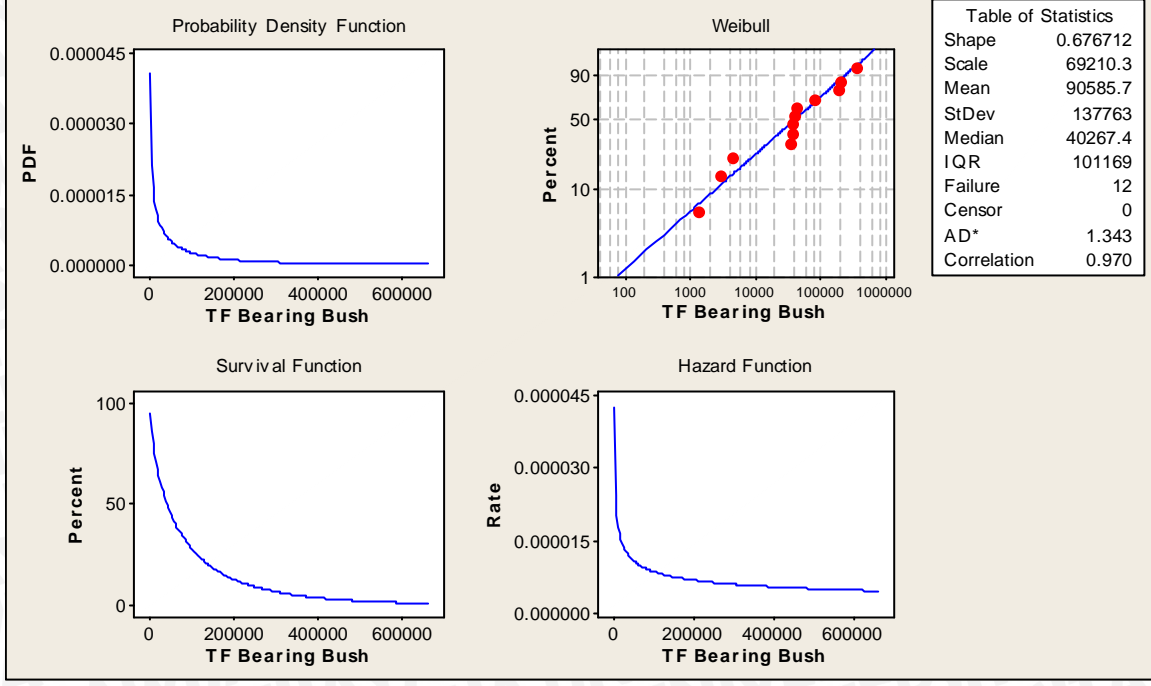
Probability Plot for TF Bearing Bush

LSXY Estimates-Complete Data

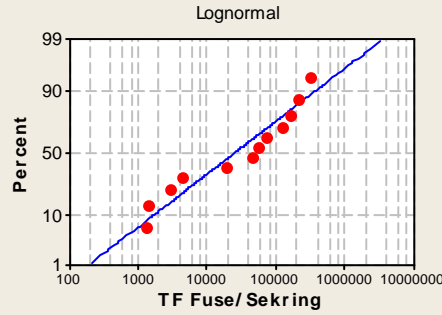
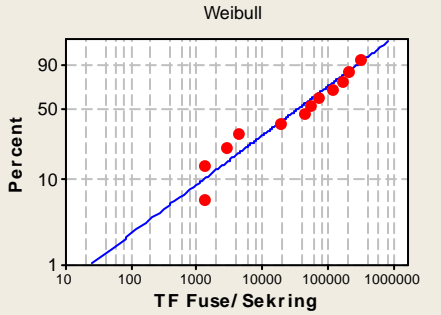


Distribution Overview Plot for TF Bearing Bush

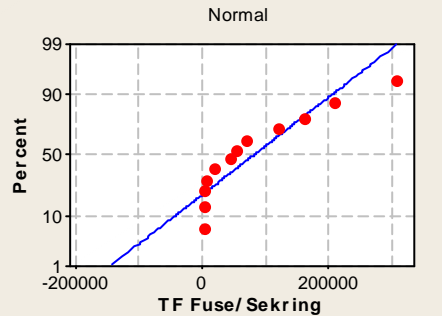
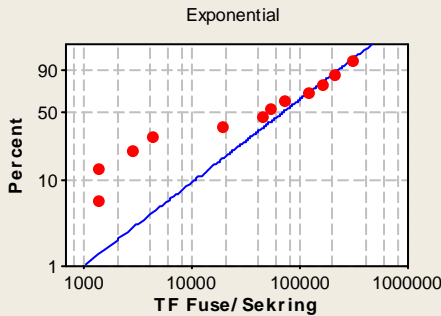
LSXY Estimates-Complete Data



Probability Plot for TF Fuse/ Sekring LSXY Estimates-Complete Data



Correlation Coefficient	
Weibull	0.962
Lognormal	0.960
Exponential	*
Normal	0.914



Distribution Overview Plot for TF Fuse/ Sekring LSXY Estimates-Complete Data

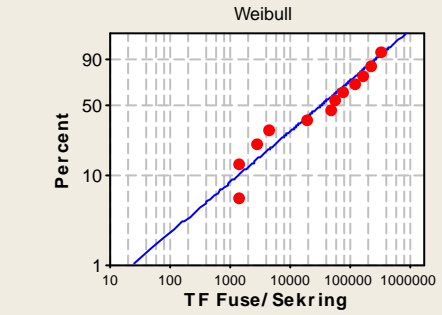
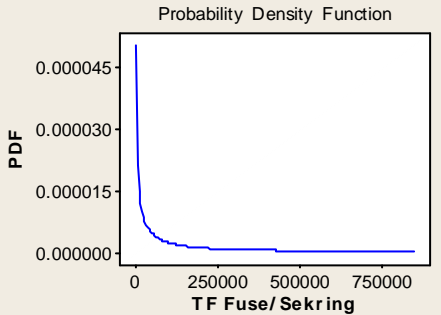
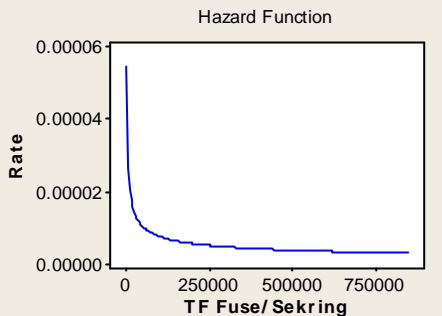
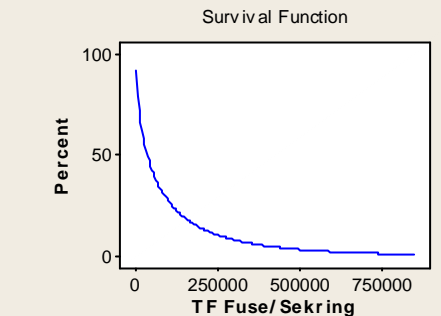
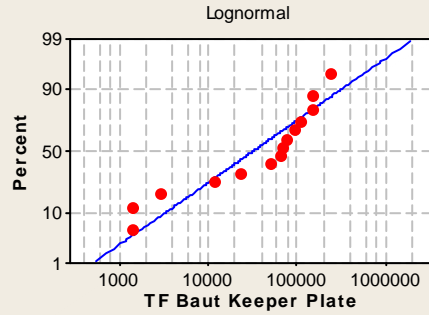
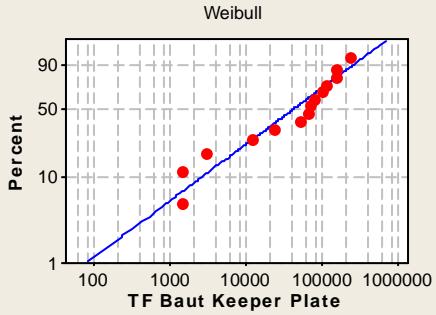


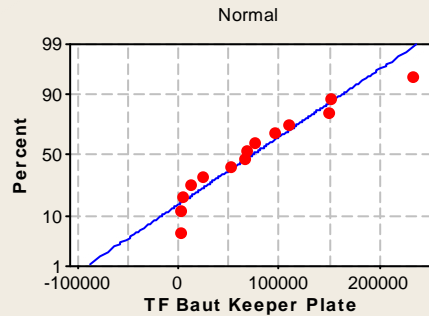
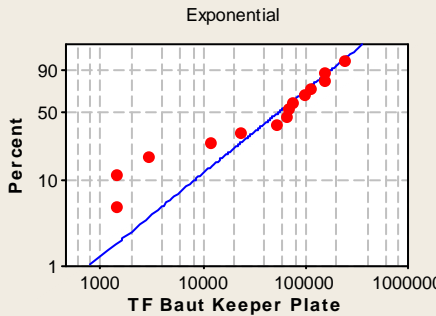
Table of Statistics	
Shape	0.587745
Scale	62835.3
Mean	97170.6
StDev	175309
Median	33680.7
IQR	101993
Failure	12
Censor	0
AD*	1.283
Correlation	0.962



Probability Plot for TF Baut Keeper Plate LSXY Estimates-Complete Data



Correlation Coefficient	
Weibull	0.960
Lognormal	0.930
Exponential	*
Normal	0.954



Distribution Overview Plot for TF Baut Keeper Plate LSXY Estimates-Complete Data

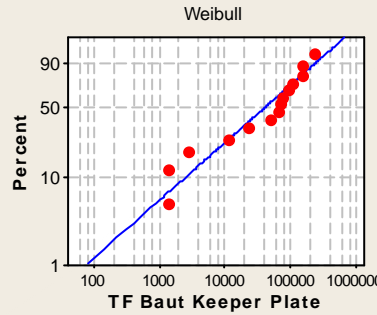
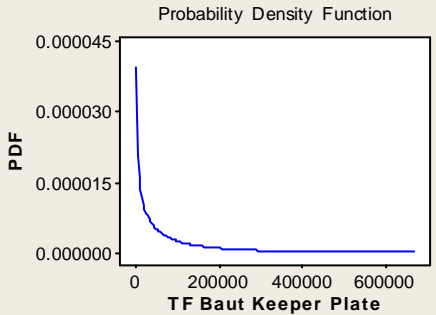
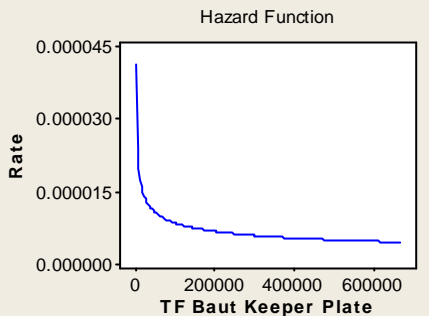
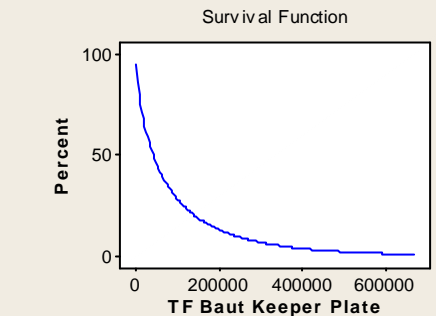
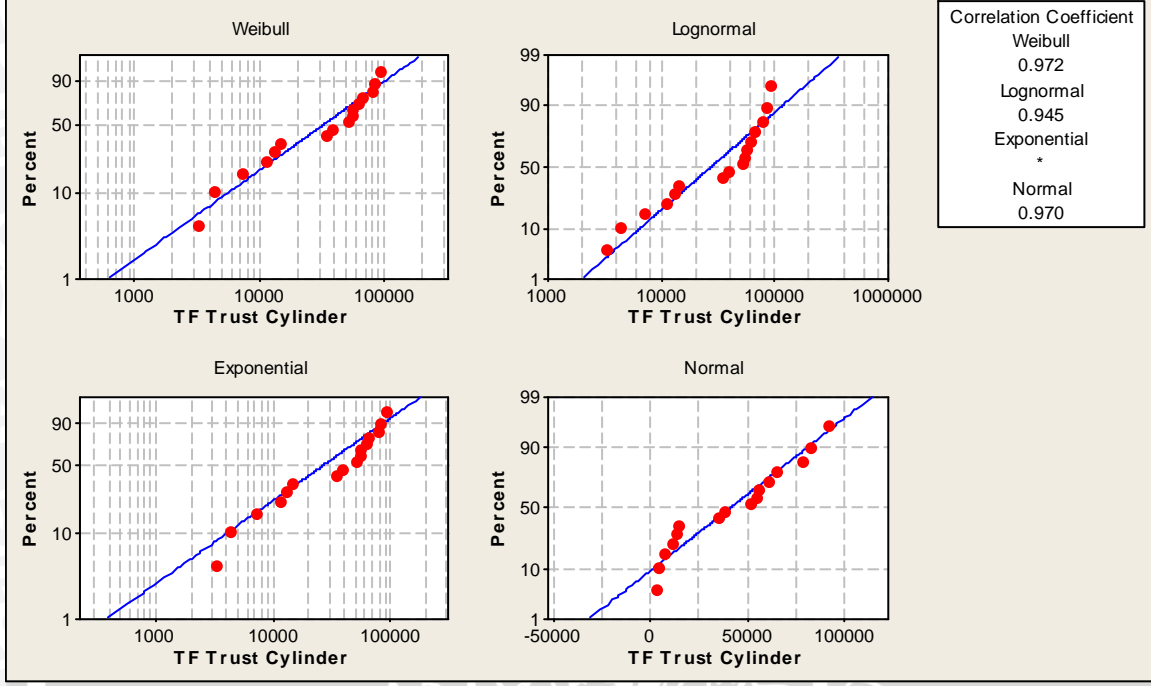


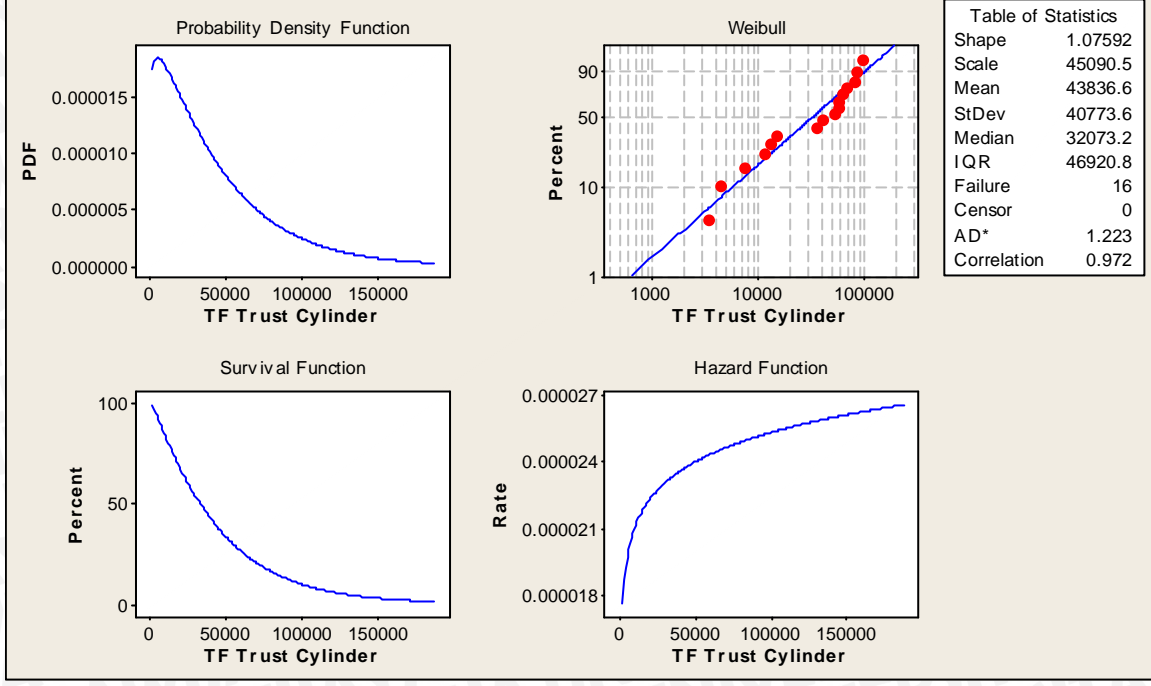
Table of Statistics	
Shape	0.680097
Scale	70758.5
Mean	92143.0
StDev	139319
Median	41279.2
IQR	103054
Failure	14
Censor	0
AD*	1.277
Correlation	0.960

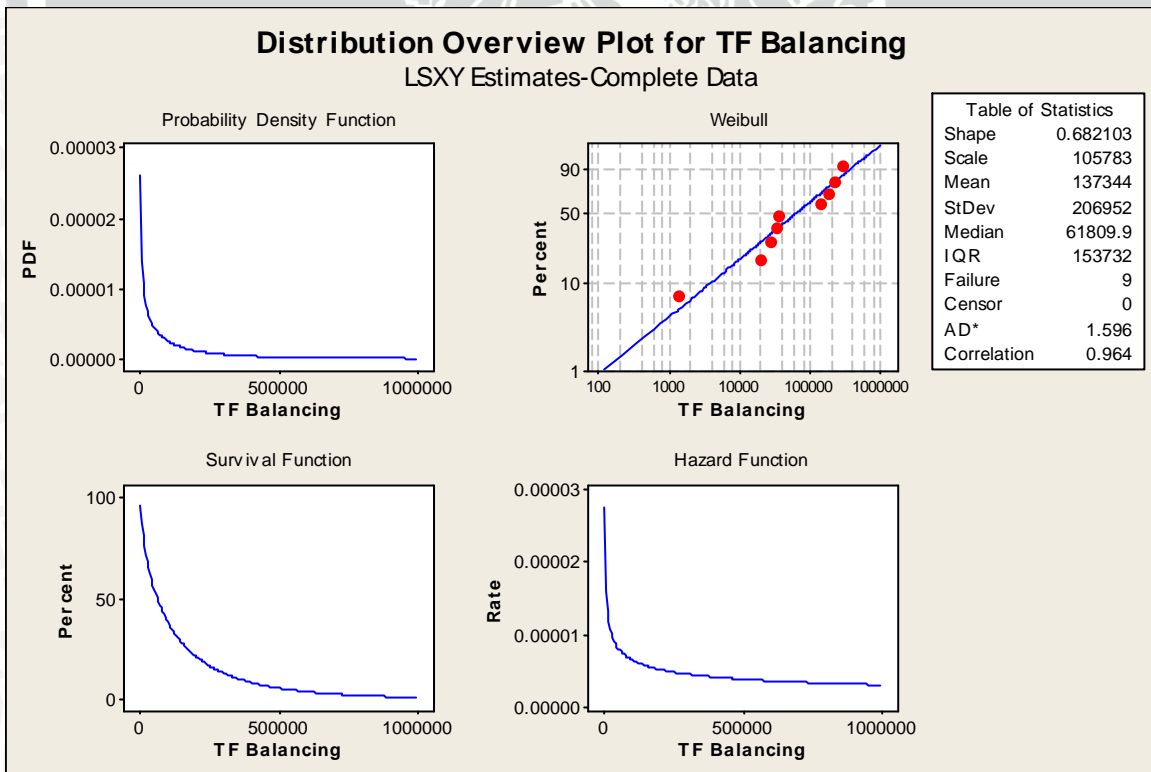
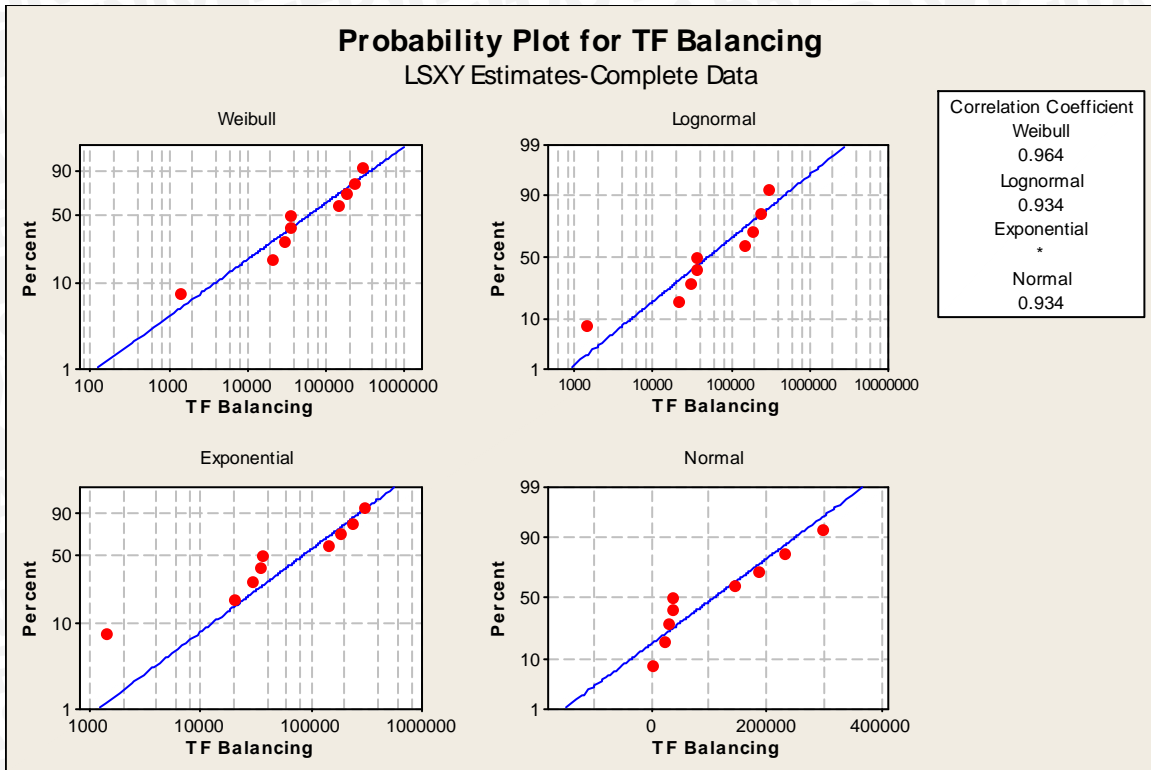


Probability Plot for TF Trust Cylinder LSXY Estimates-Complete Data



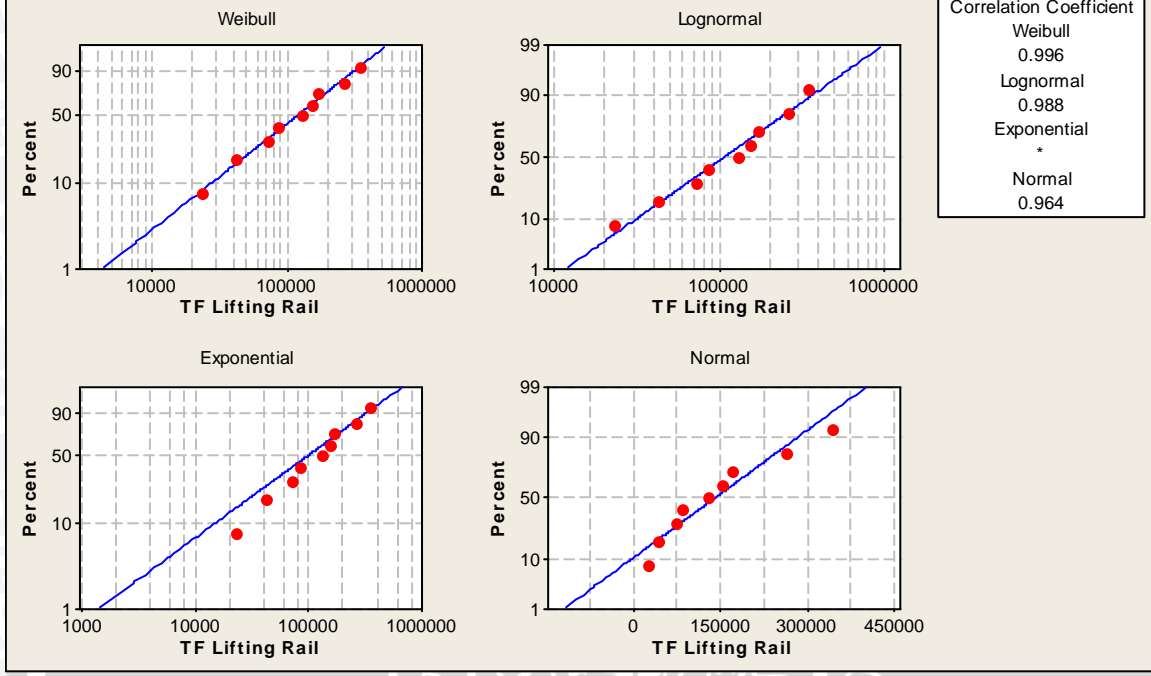
Distribution Overview Plot for TF Trust Cylinder LSXY Estimates-Complete Data





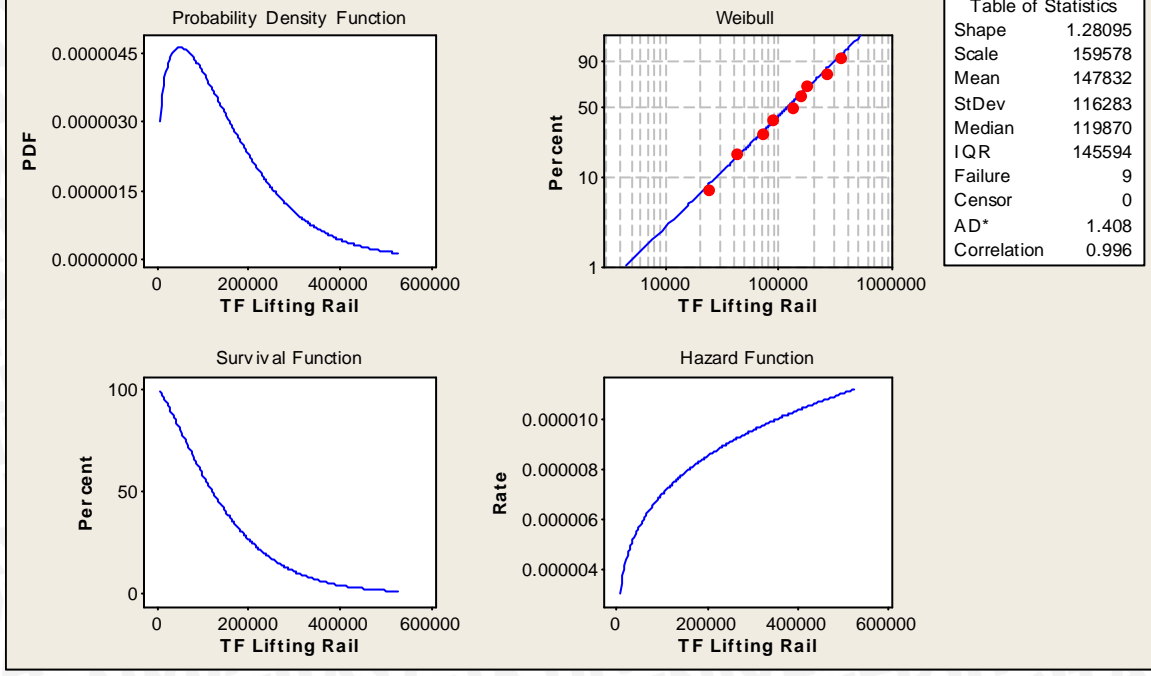
Probability Plot for TF Lifting Rail

LSXY Estimates-Complete Data

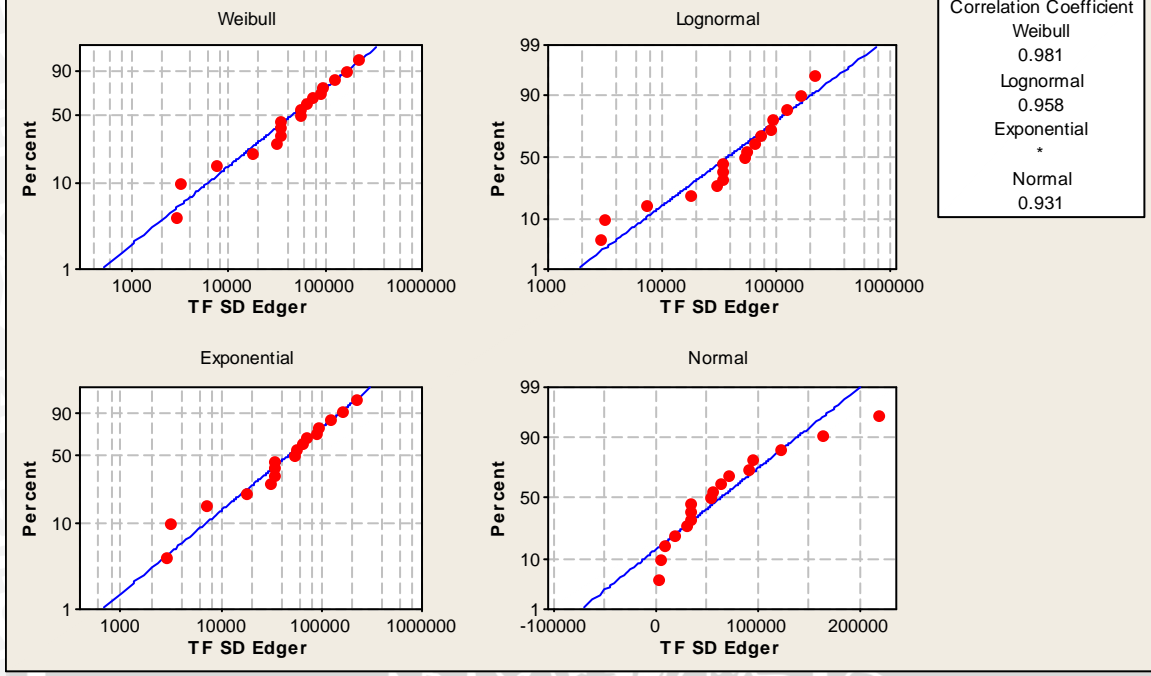


Distribution Overview Plot for TF Lifting Rail

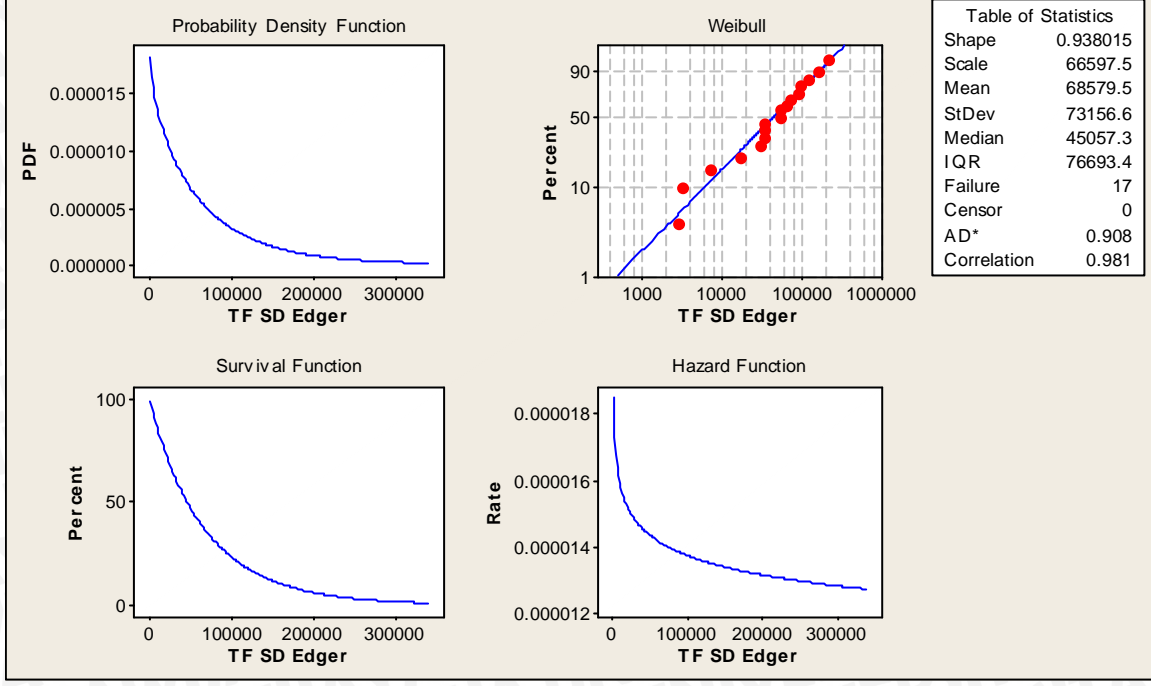
LSXY Estimates-Complete Data



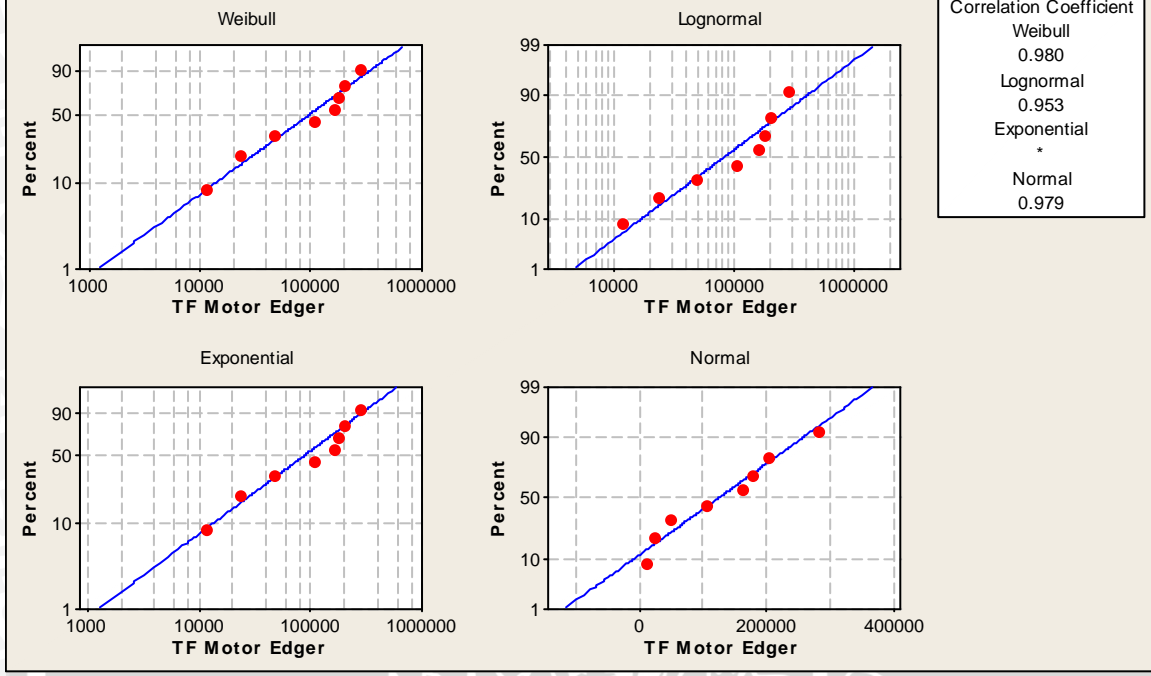
Probability Plot for TF SD Edger LSXY Estimates-Complete Data



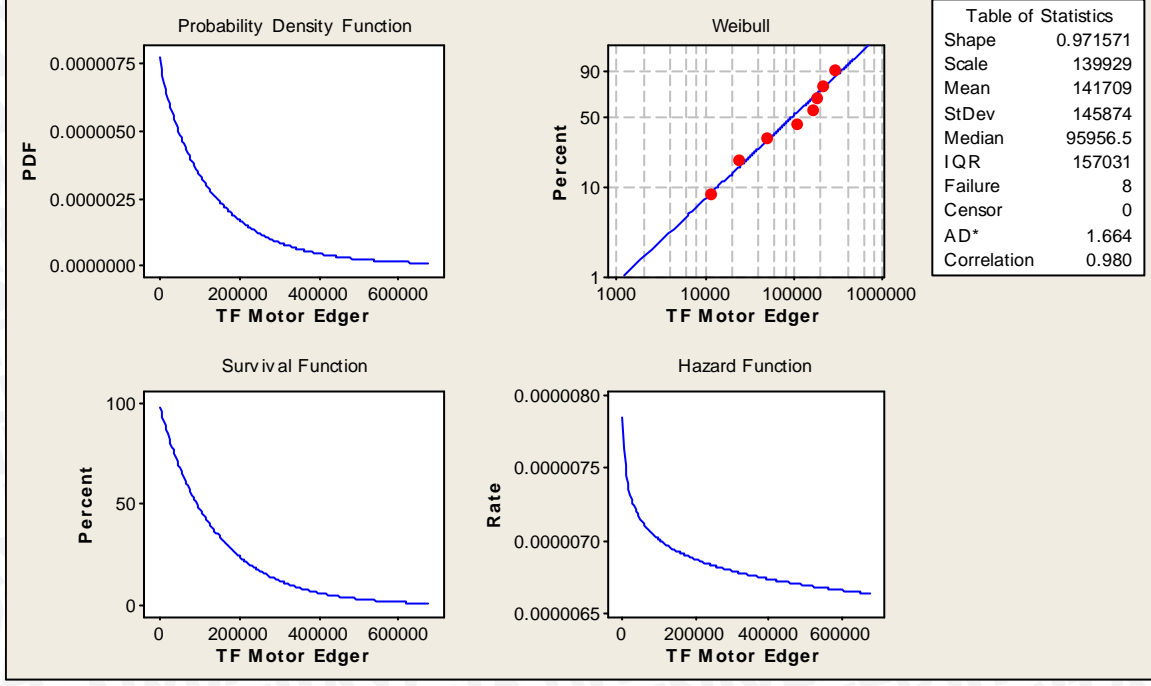
Distribution Overview Plot for TF SD Edger LSXY Estimates-Complete Data



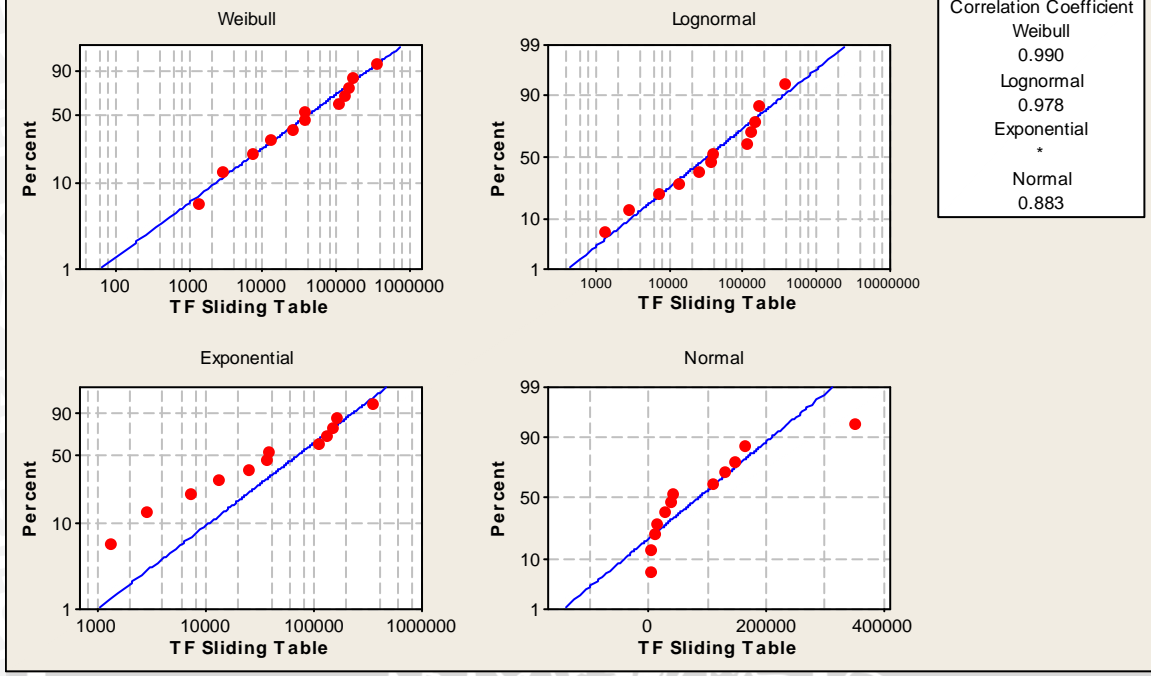
Probability Plot for TF Motor Edger LSXY Estimates-Complete Data



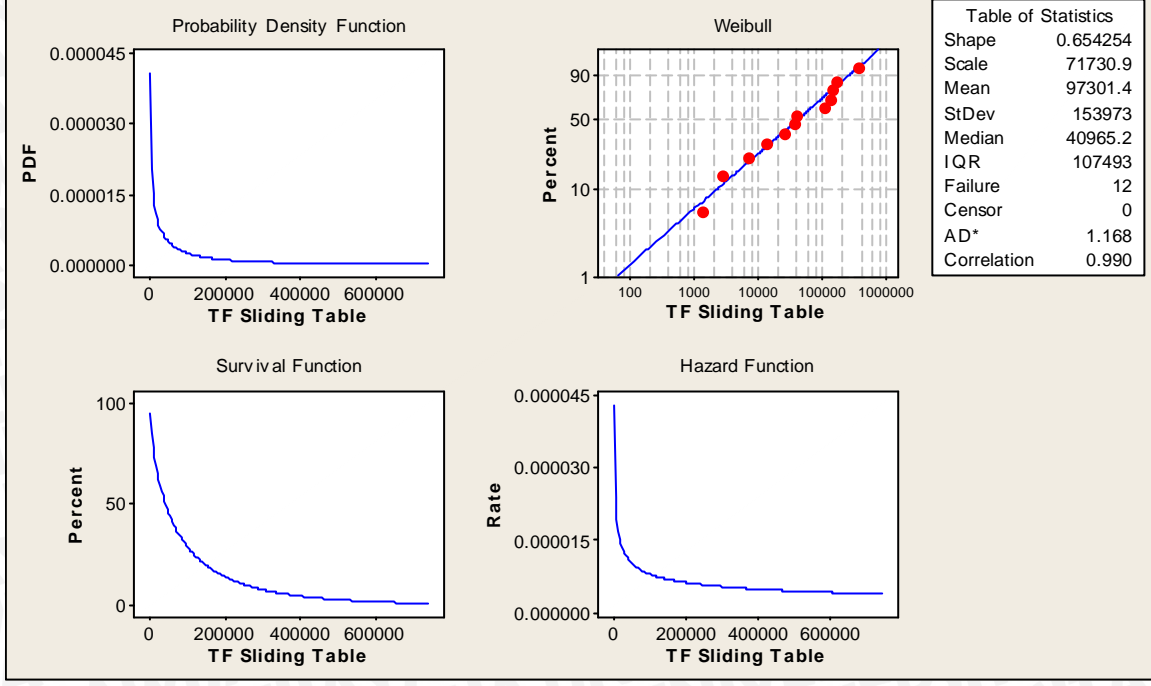
Distribution Overview Plot for TF Motor Edger LSXY Estimates-Complete Data



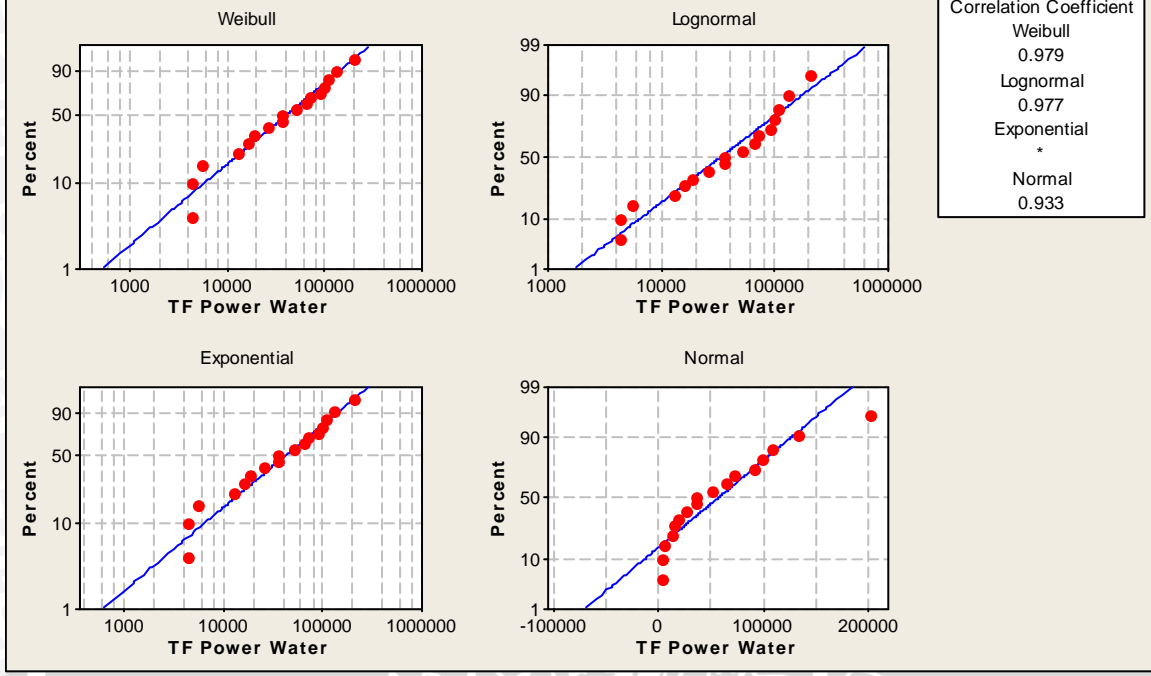
Probability Plot for TF Sliding Table LSXY Estimates-Complete Data



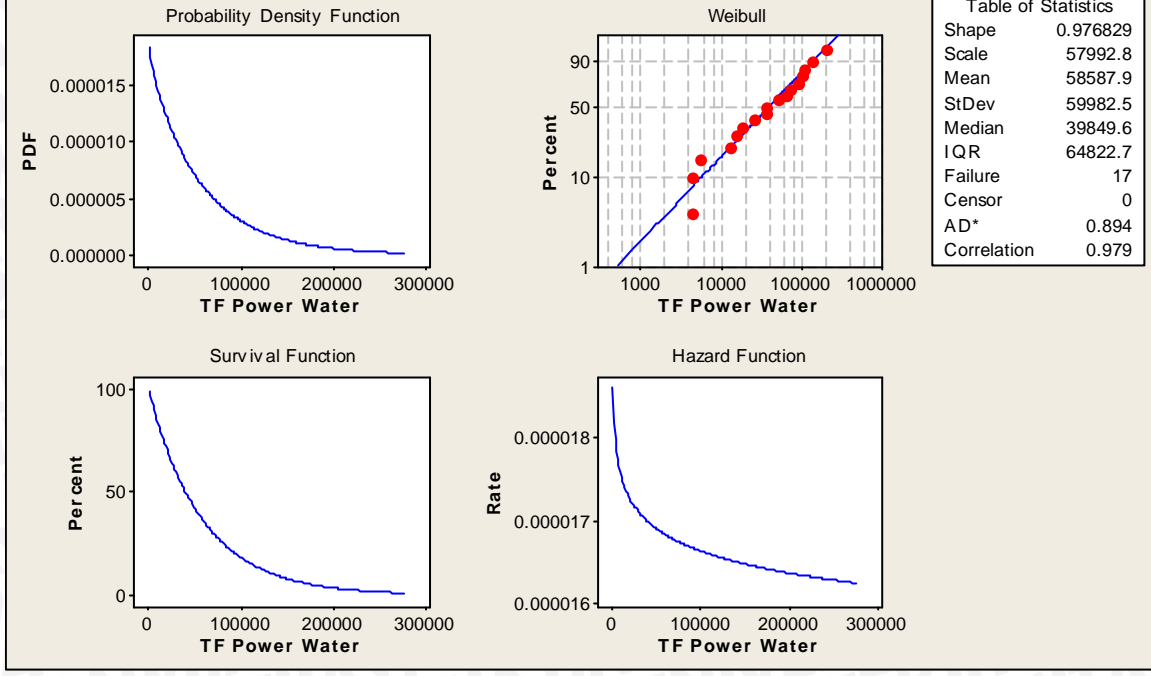
Distribution Overview Plot for TF Sliding Table LSXY Estimates-Complete Data



Probability Plot for TF Power Water LSXY Estimates-Complete Data

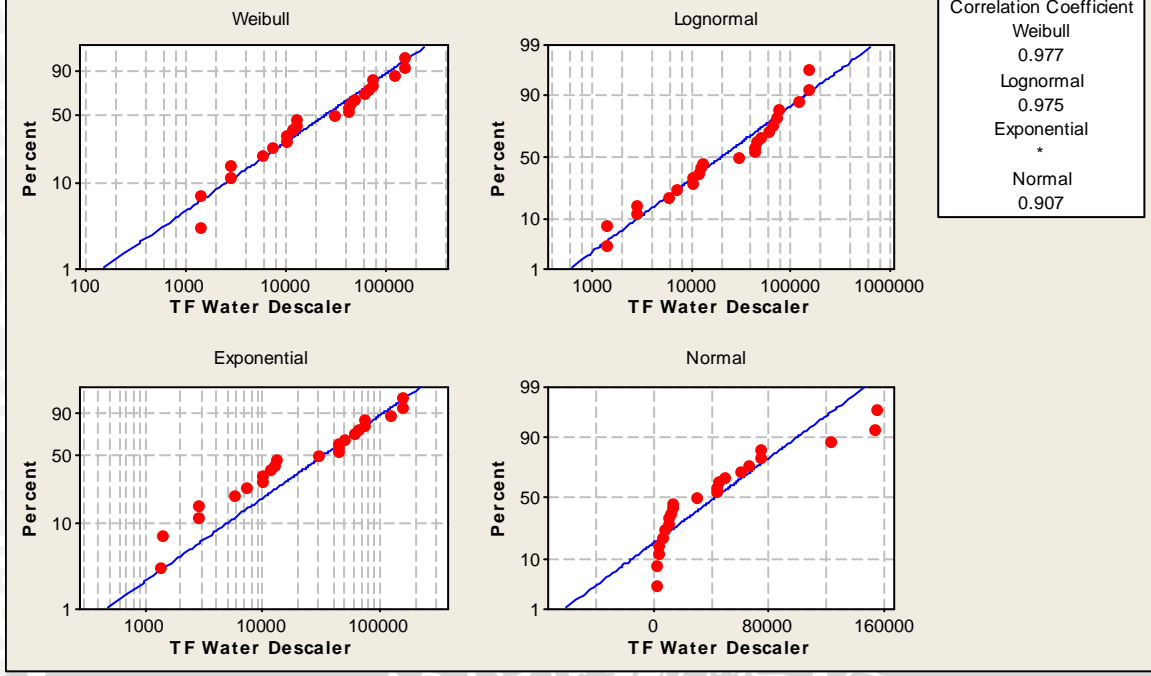


Distribution Overview Plot for TF Power Water LSXY Estimates-Complete Data



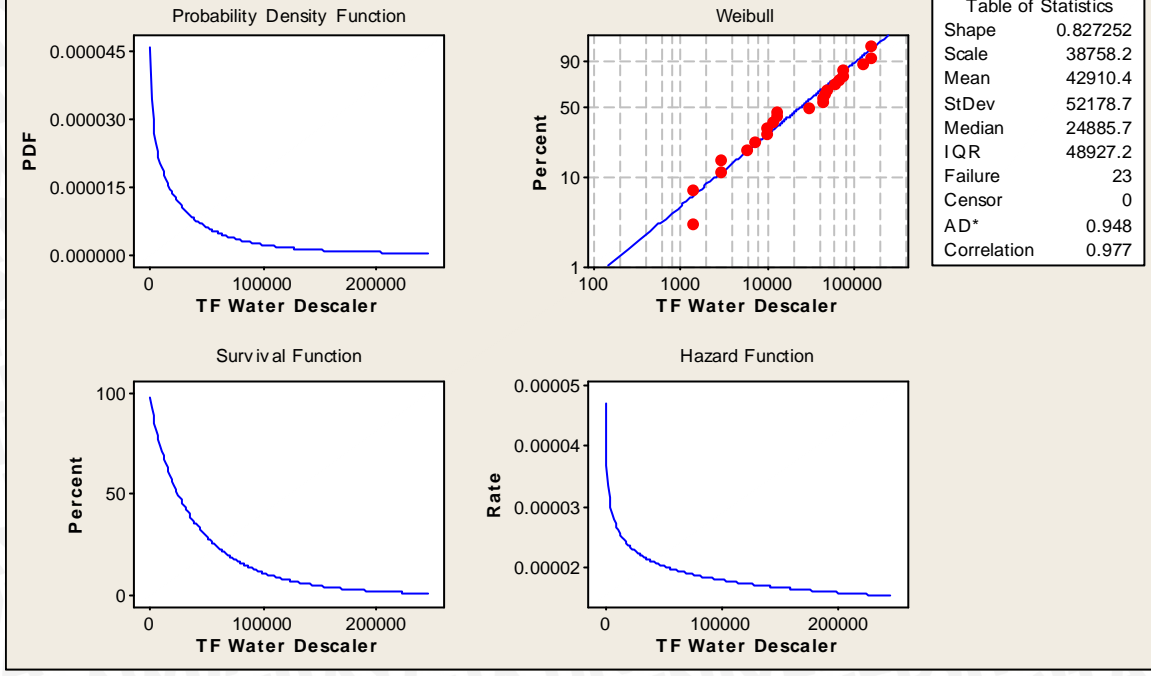
Probability Plot for TF Water Descaler

LSXY Estimates-Complete Data

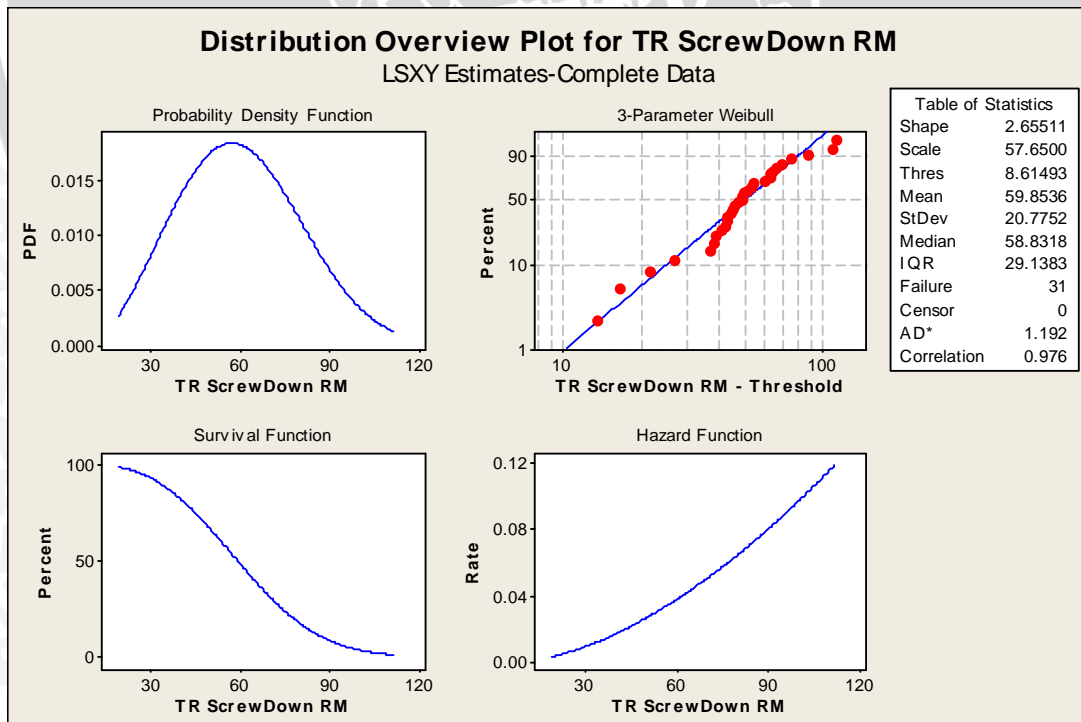
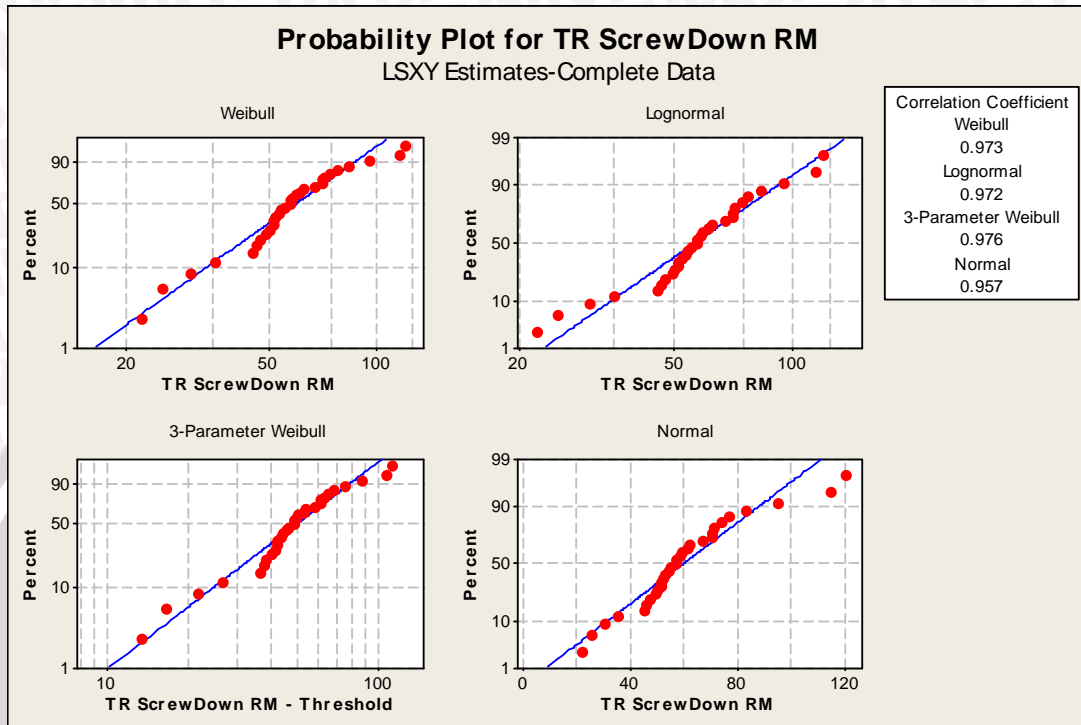


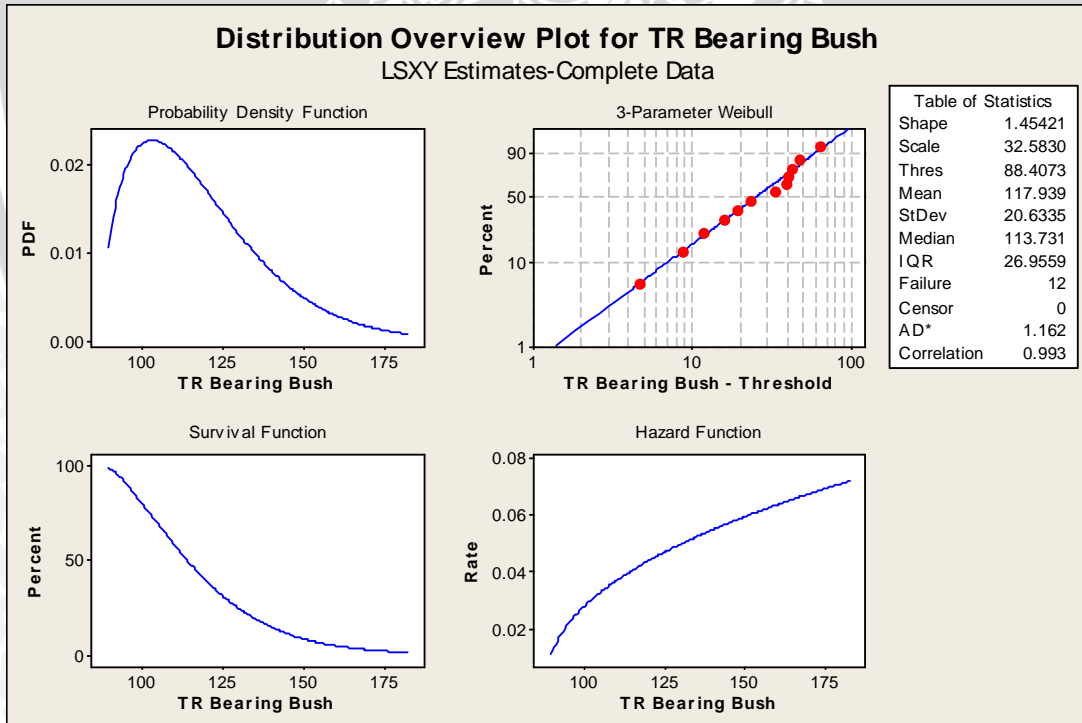
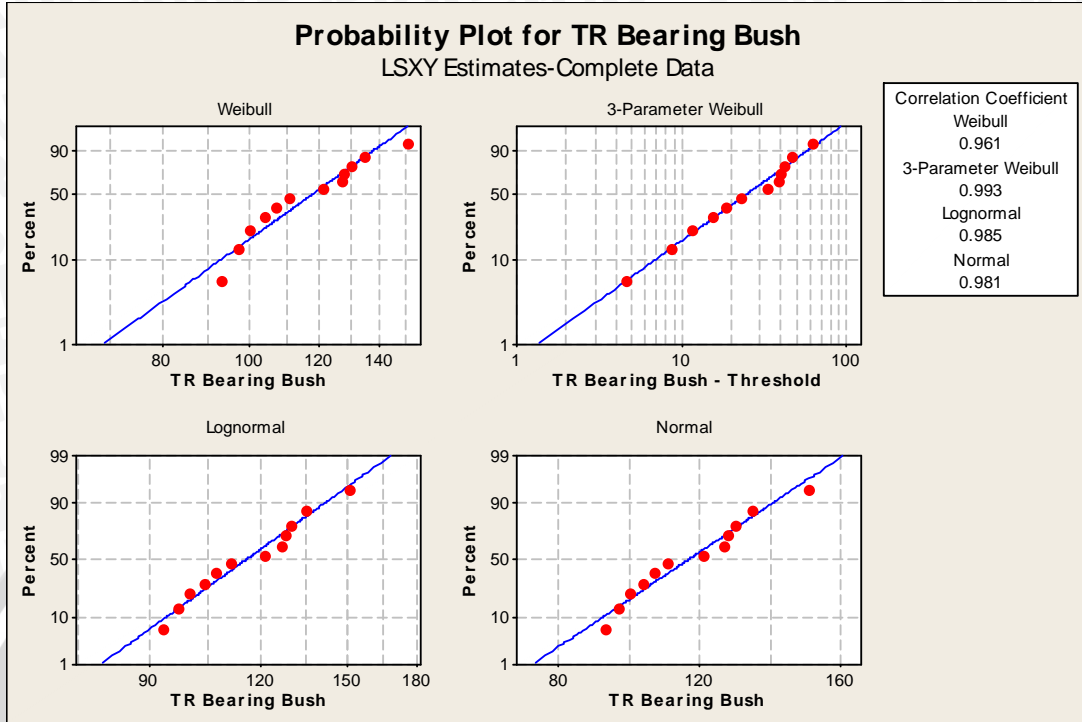
Distribution Overview Plot for TF Water Descaler

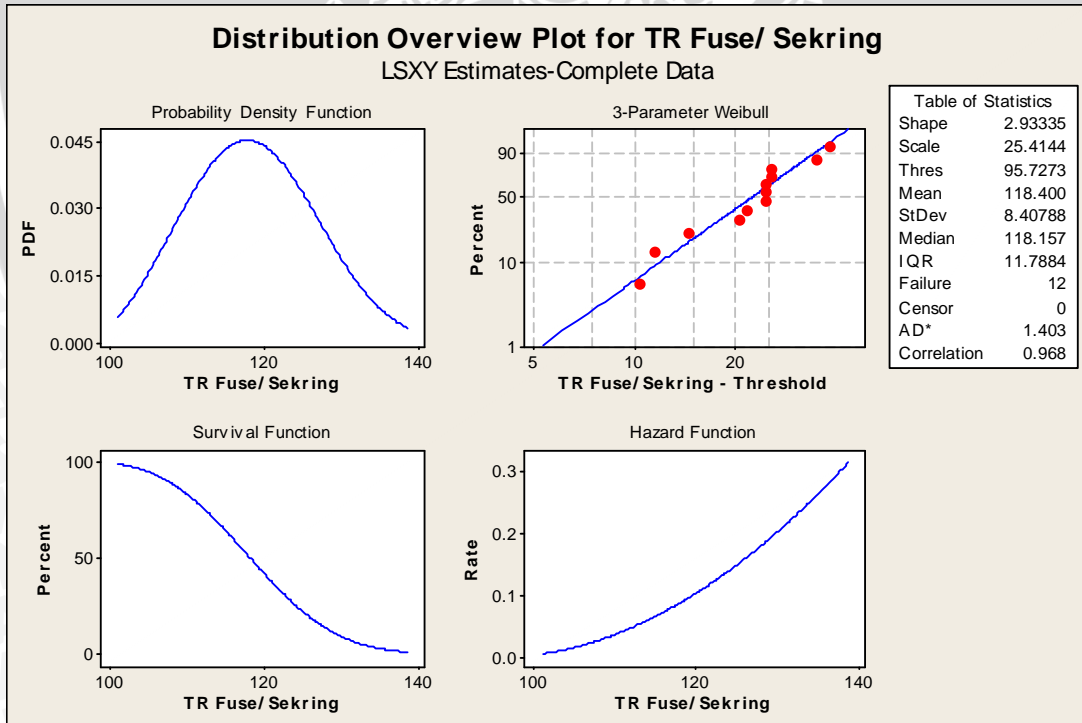
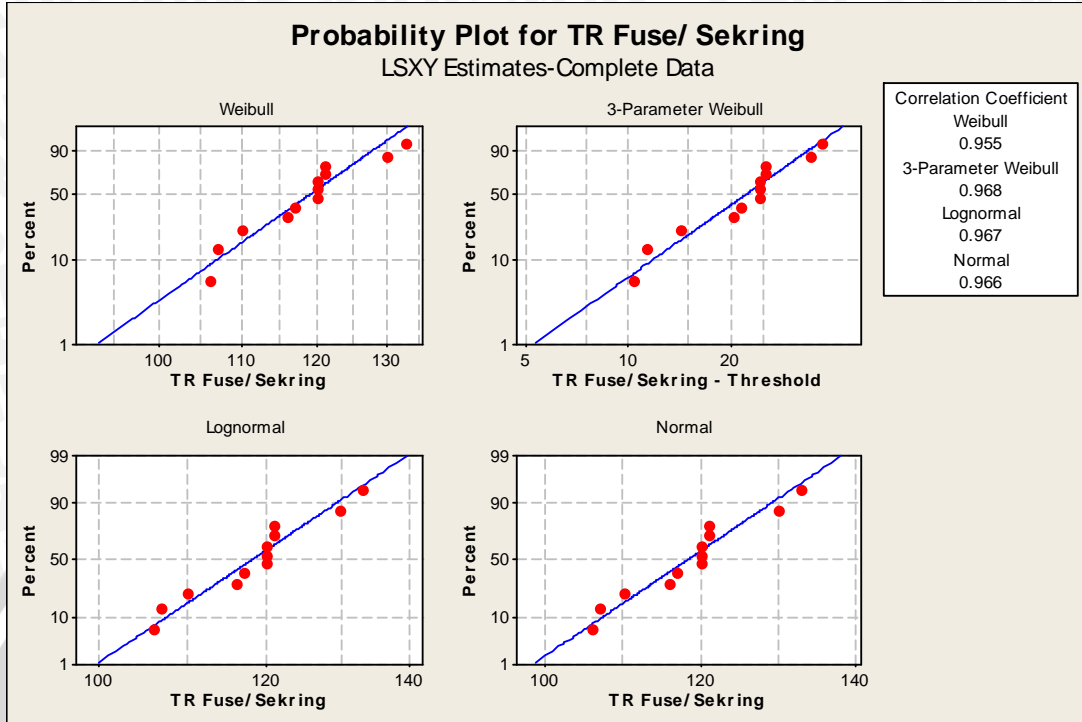
LSXY Estimates-Complete Data

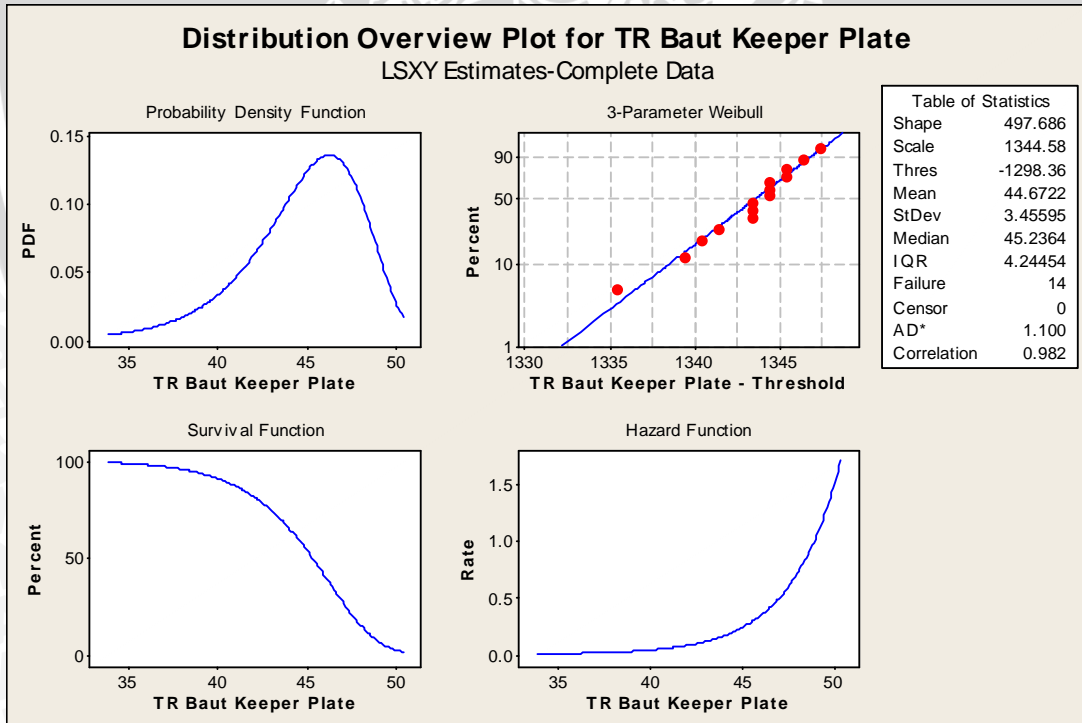
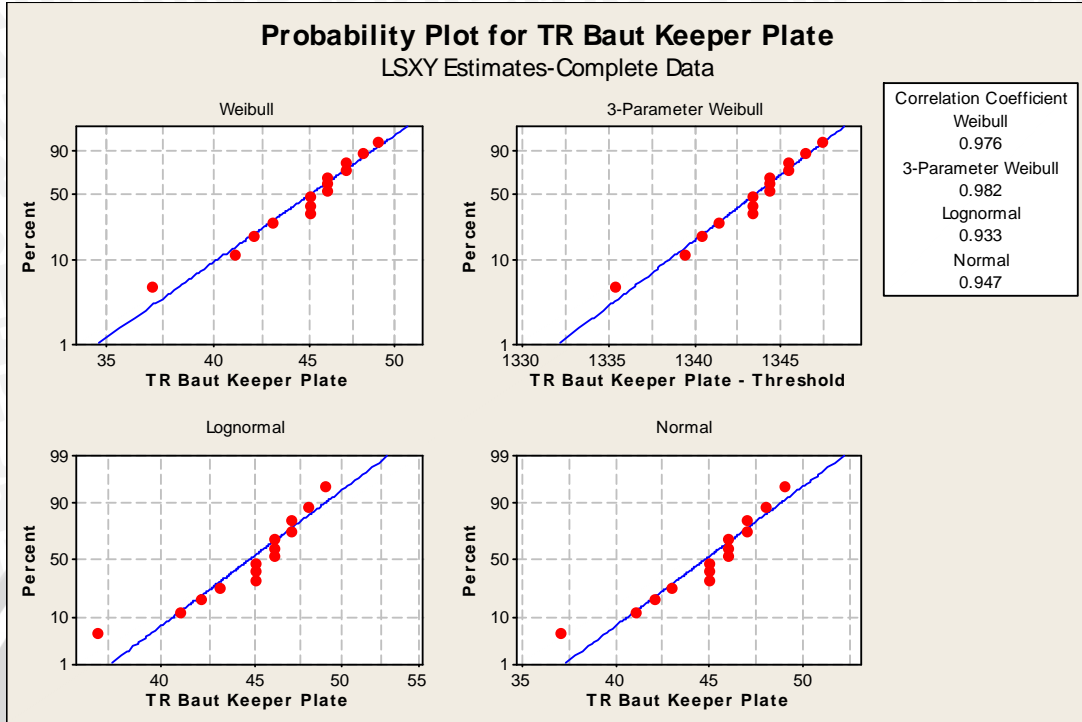


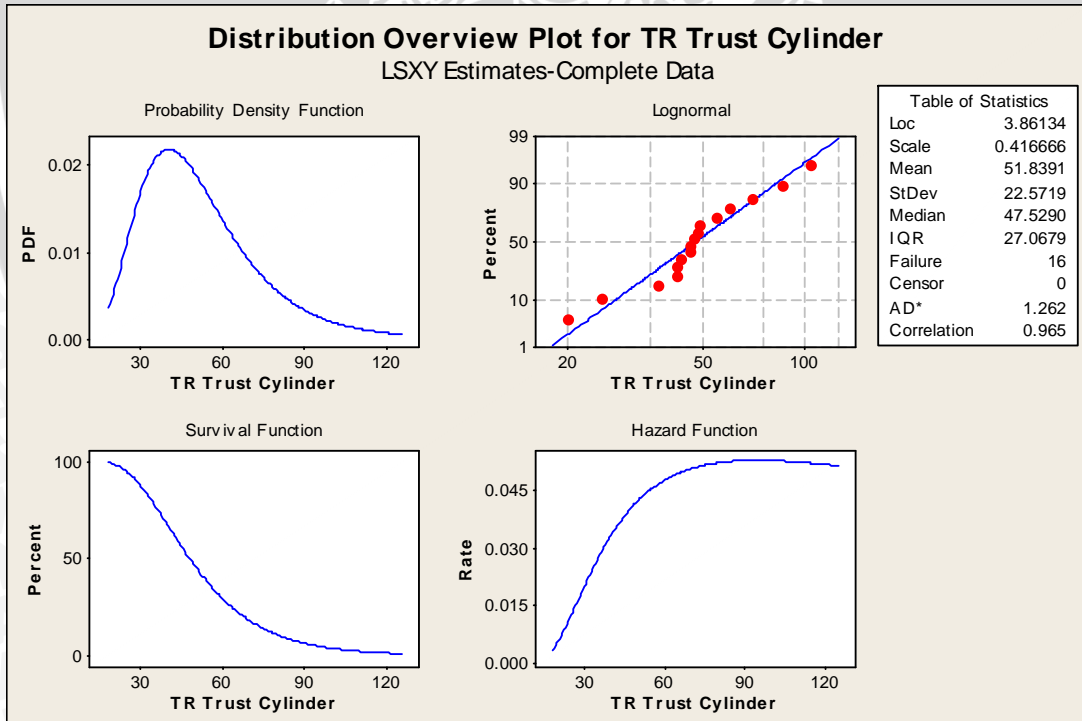
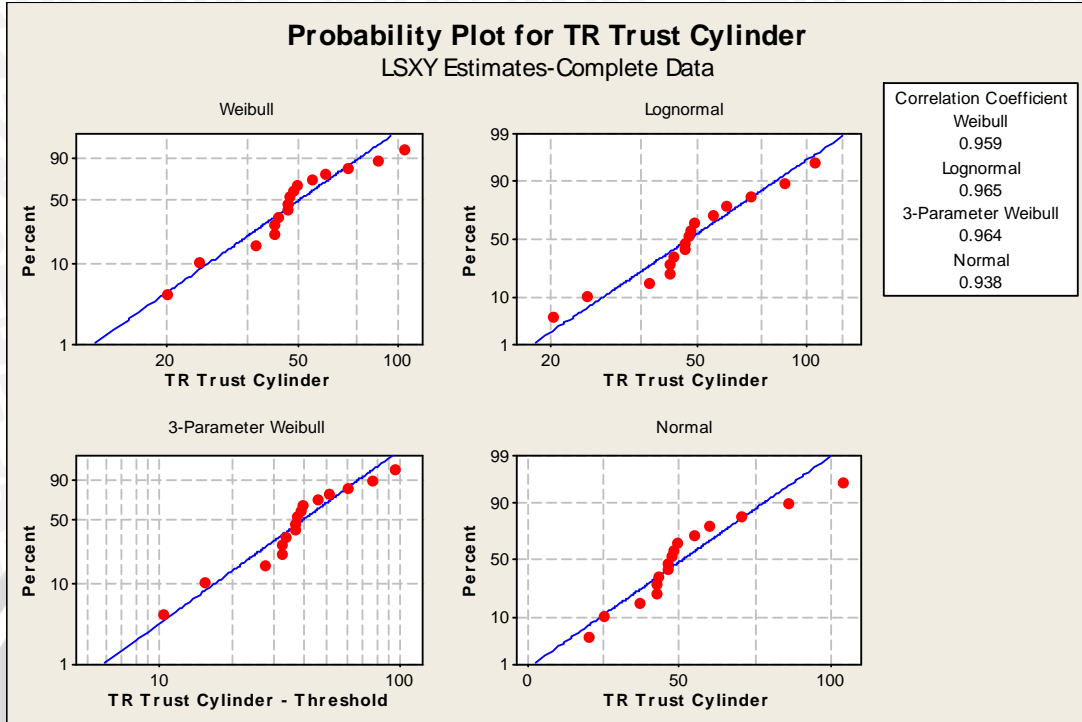
Lampiran 5. Pengolahan Data TR (Time to Repair) dengan Software MINITAB 14

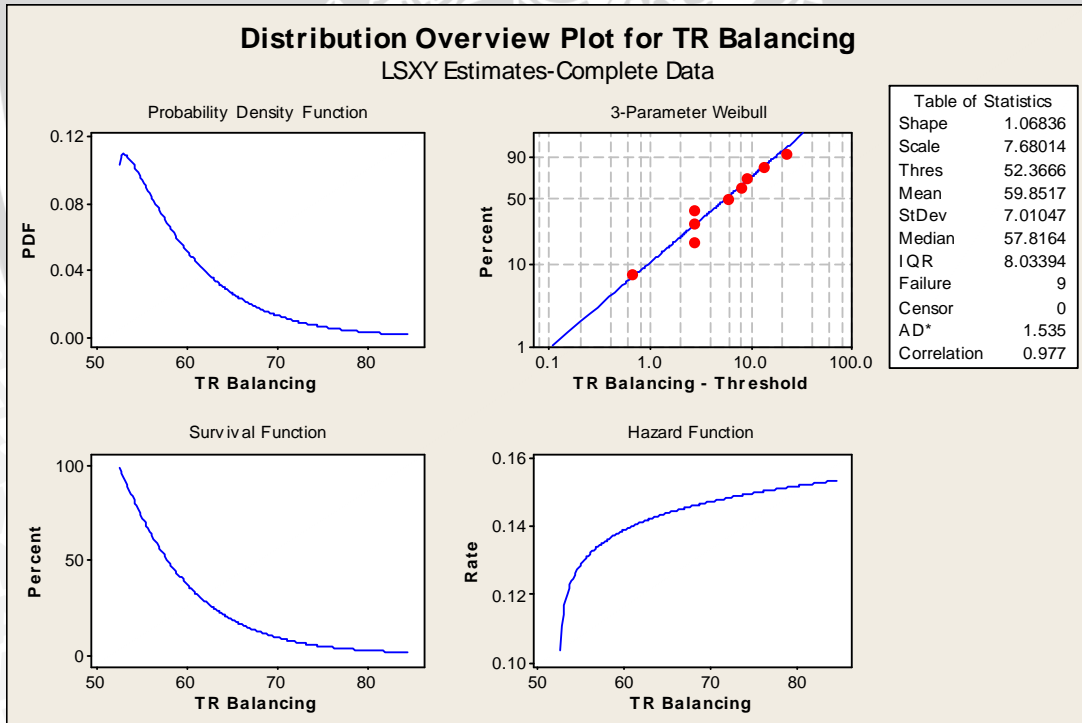
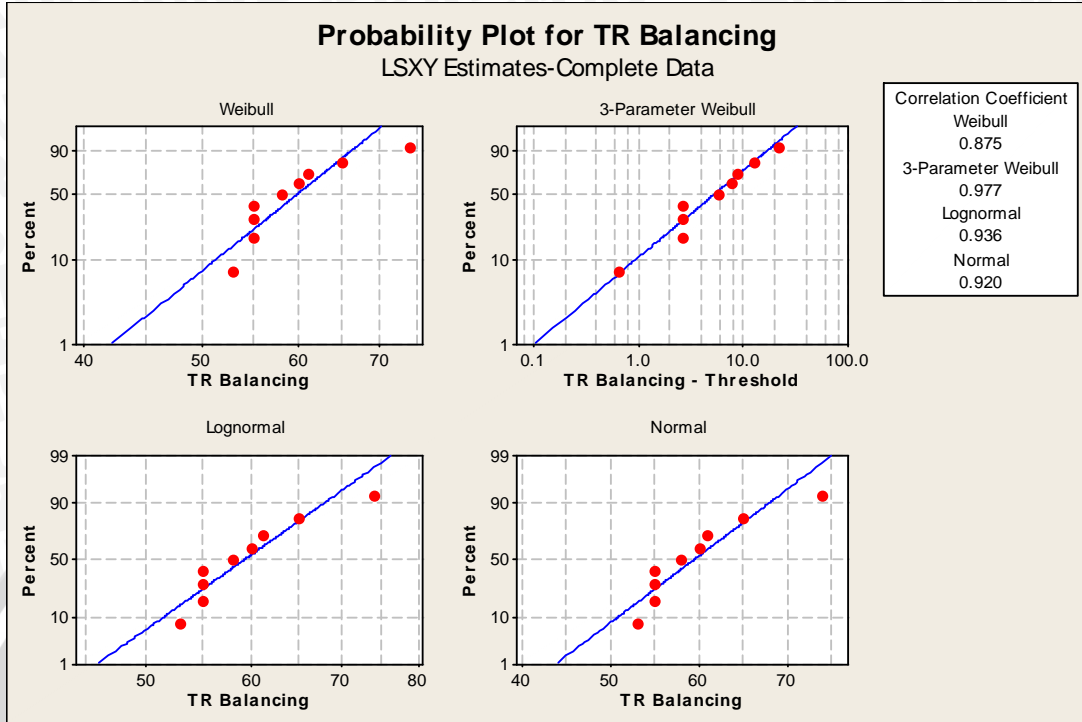


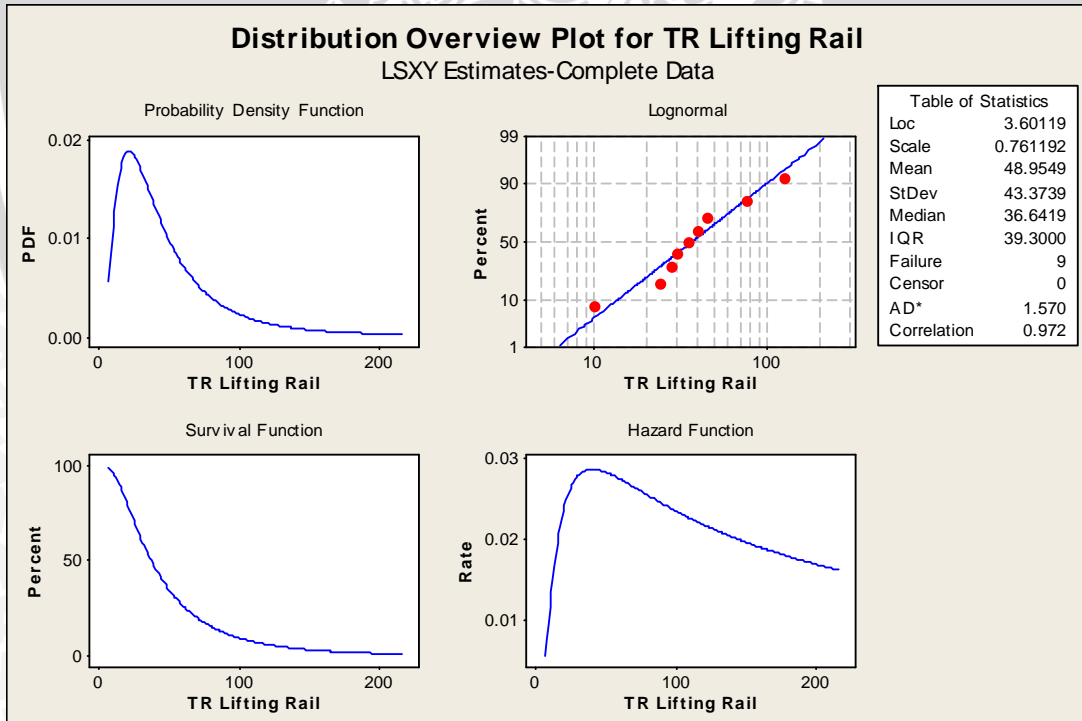
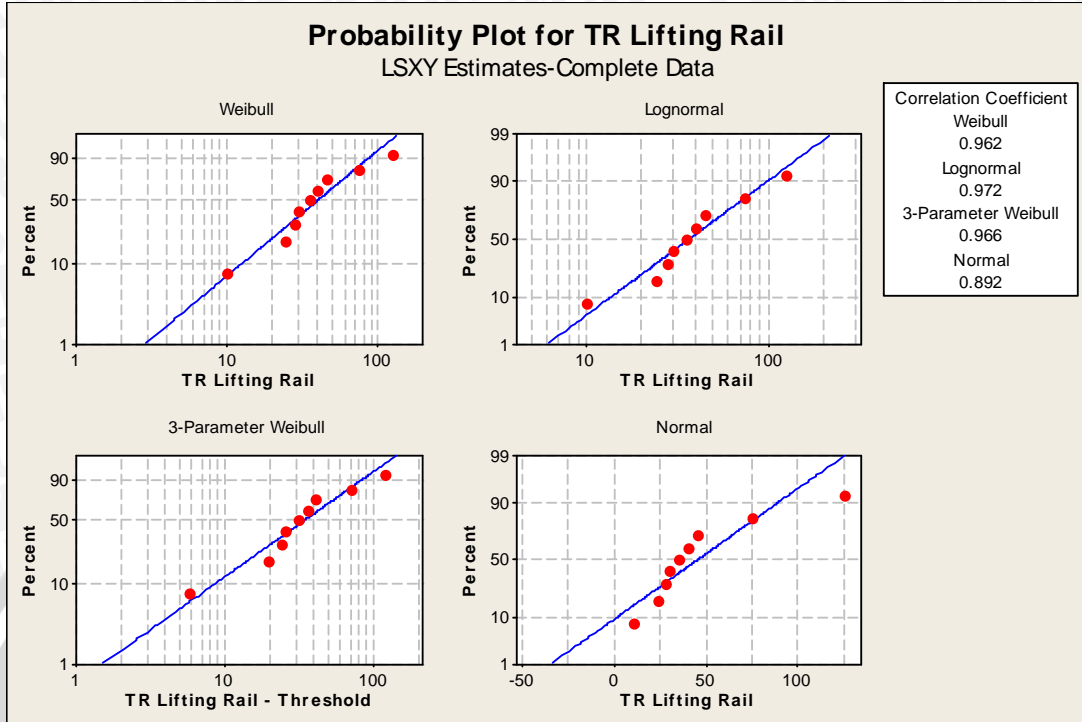


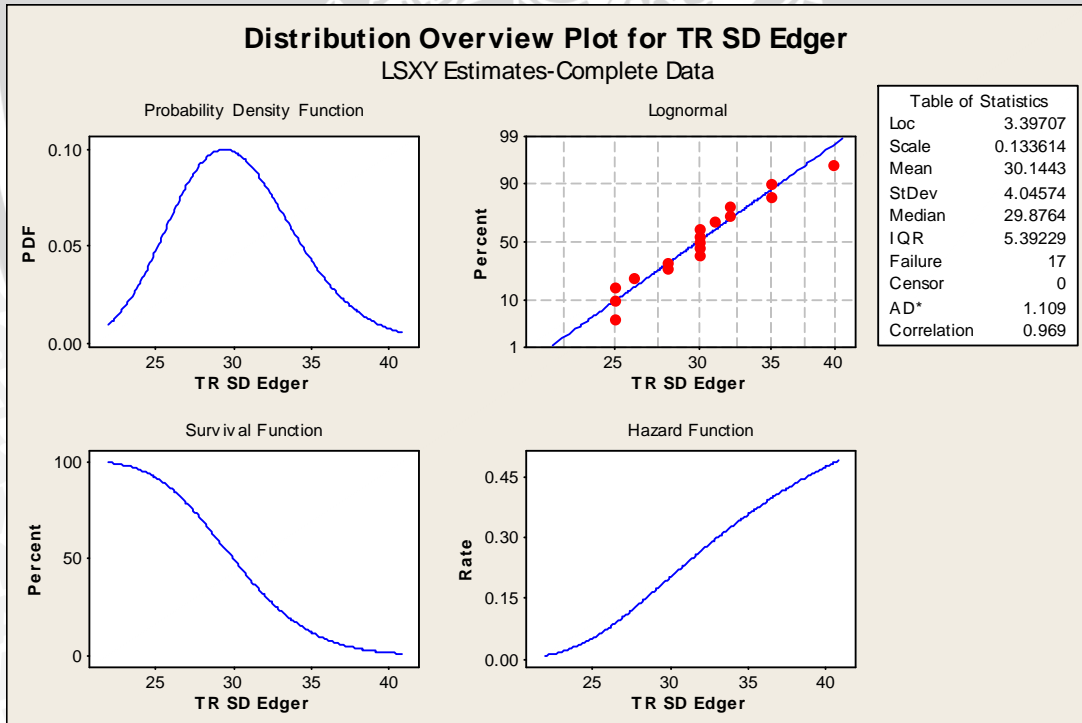
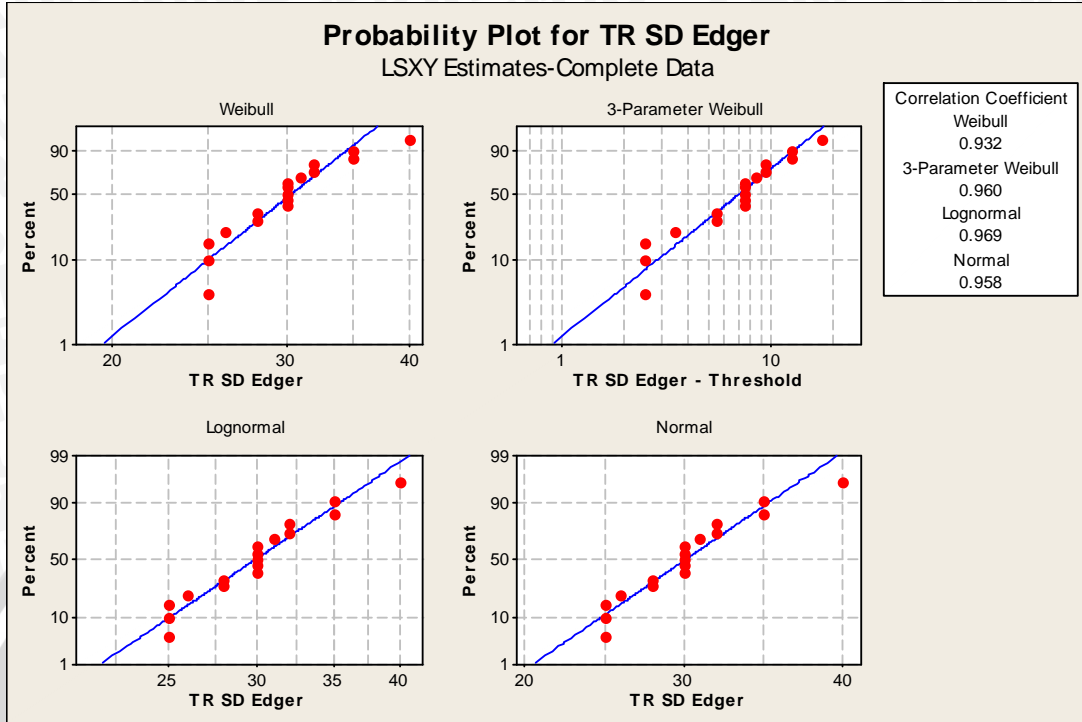


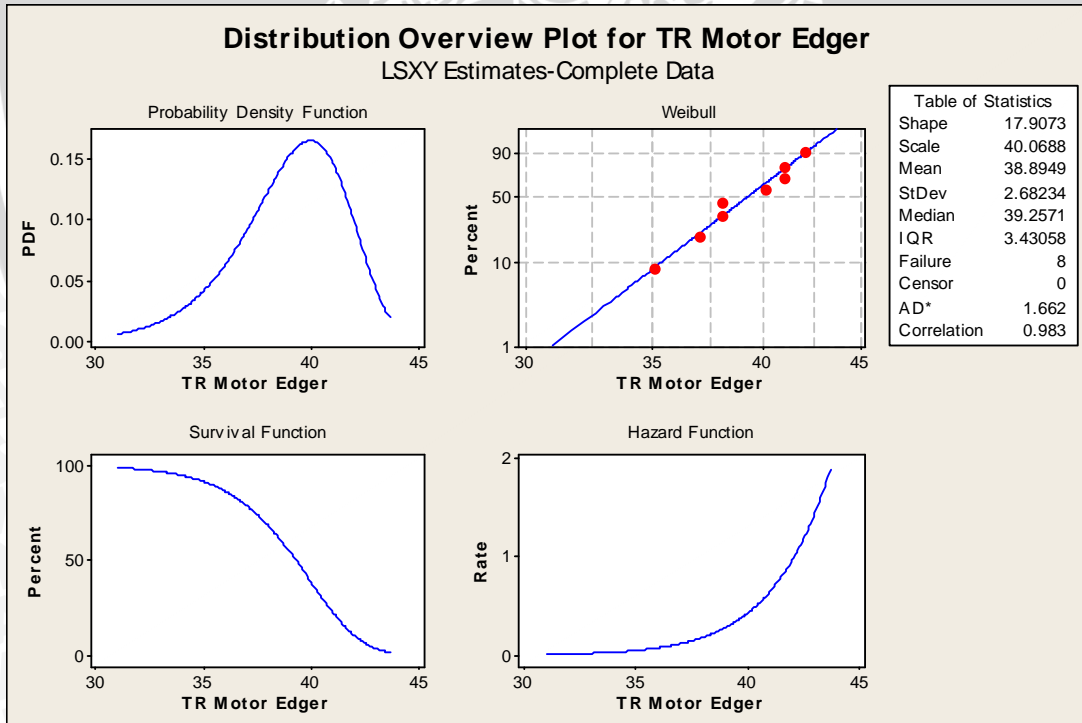
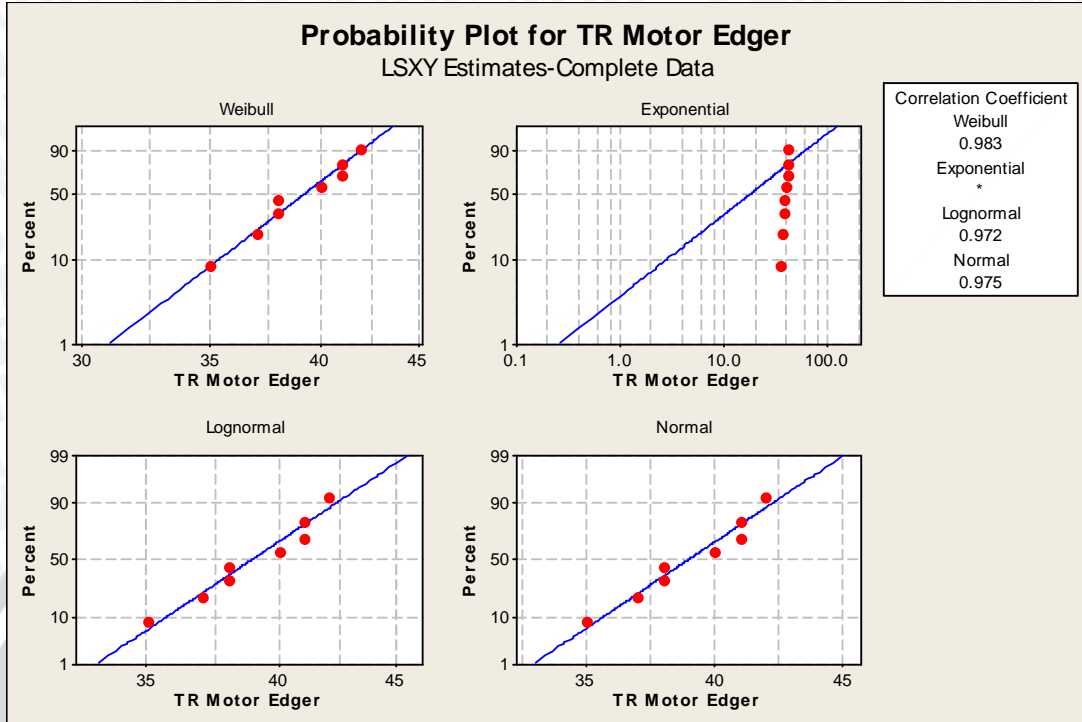


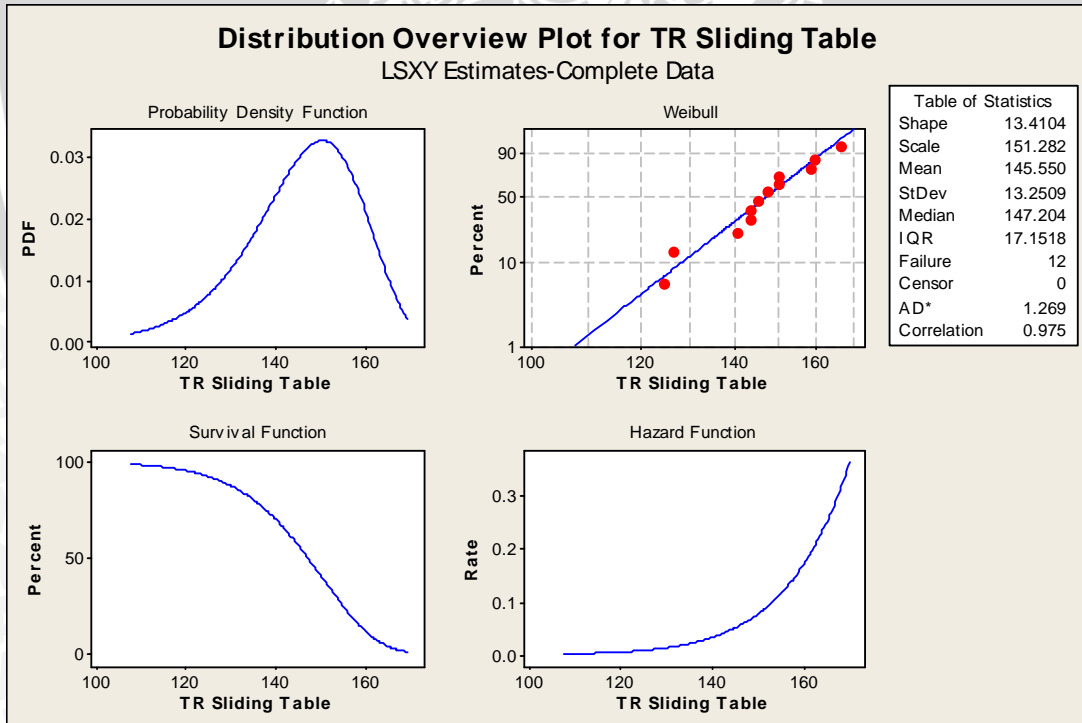
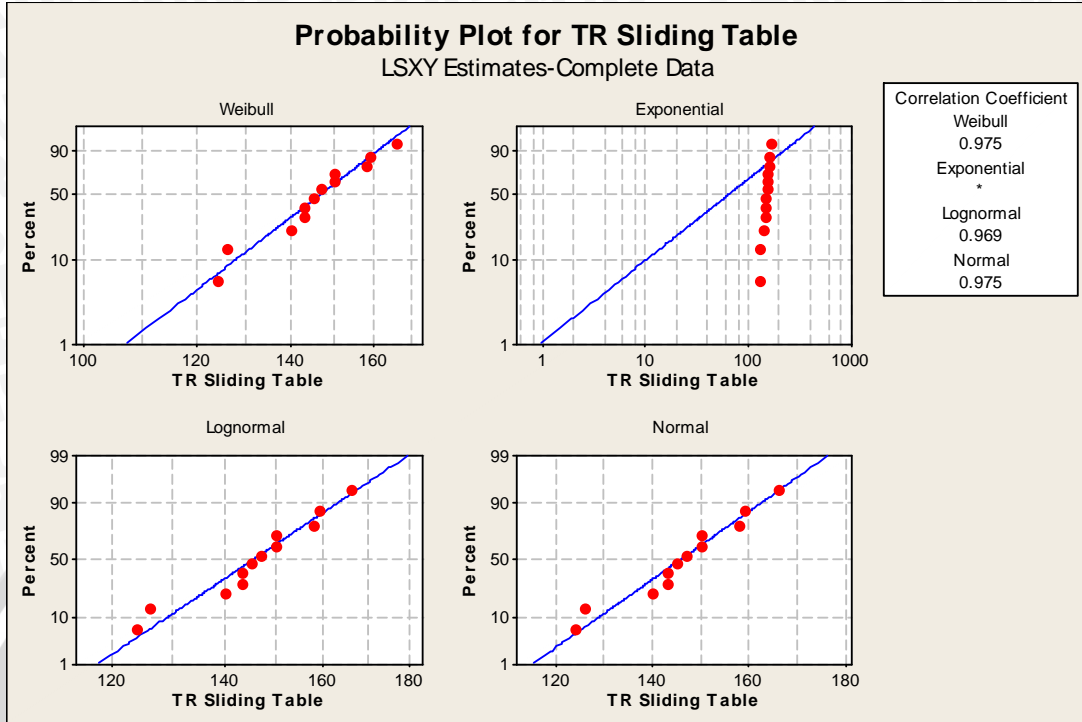


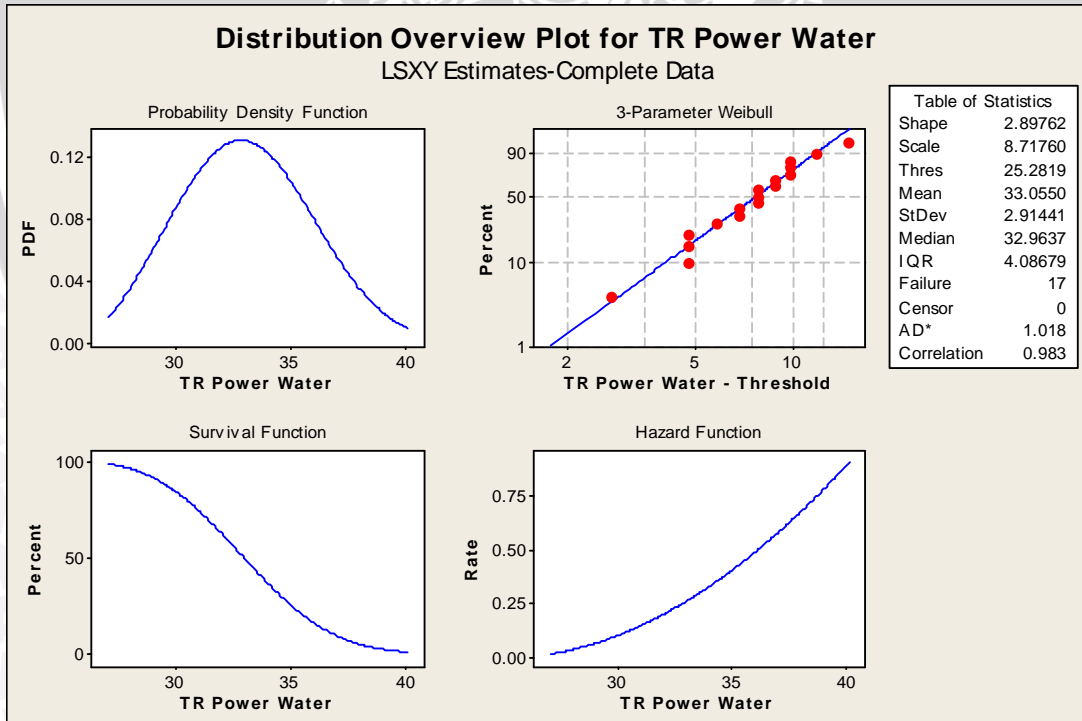
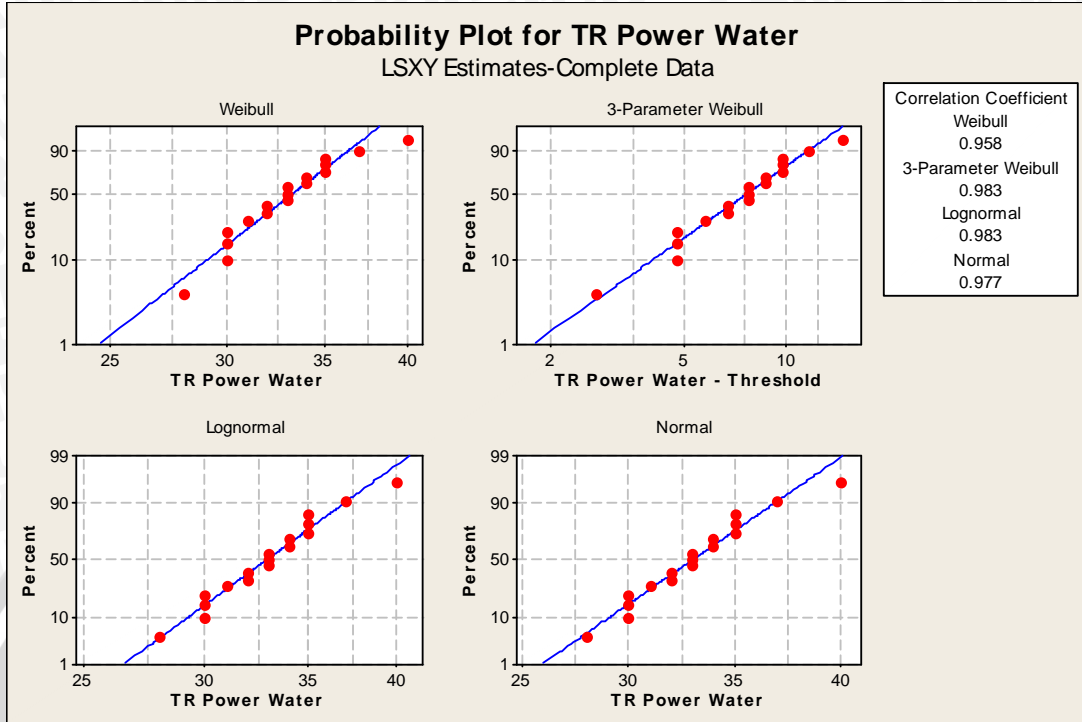


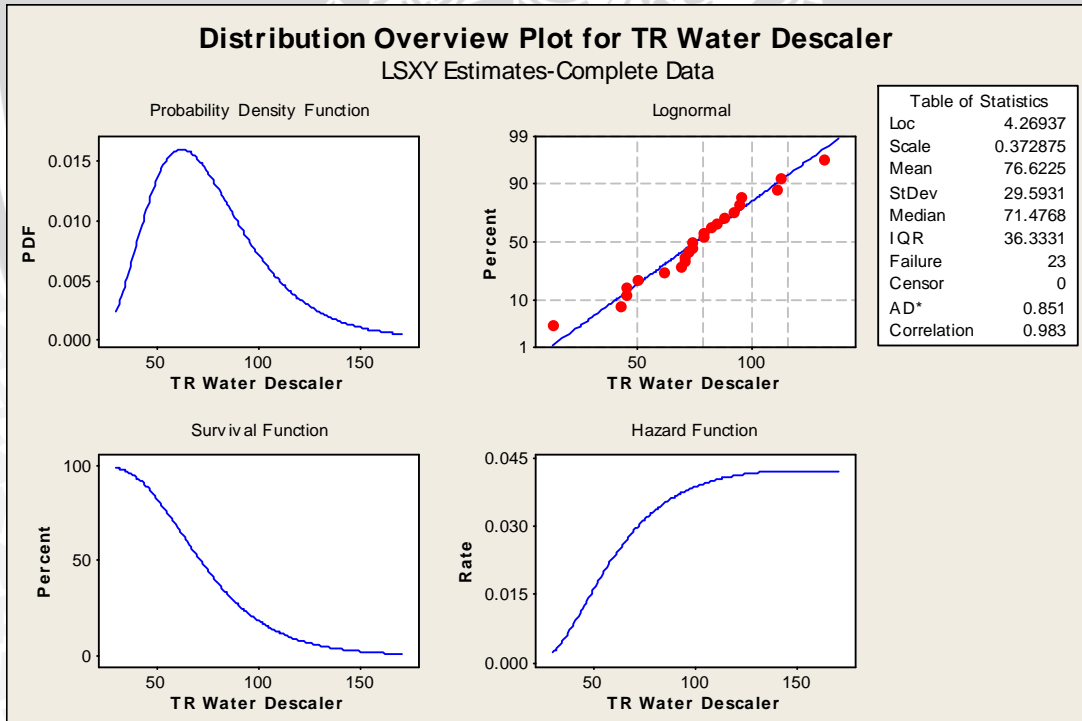
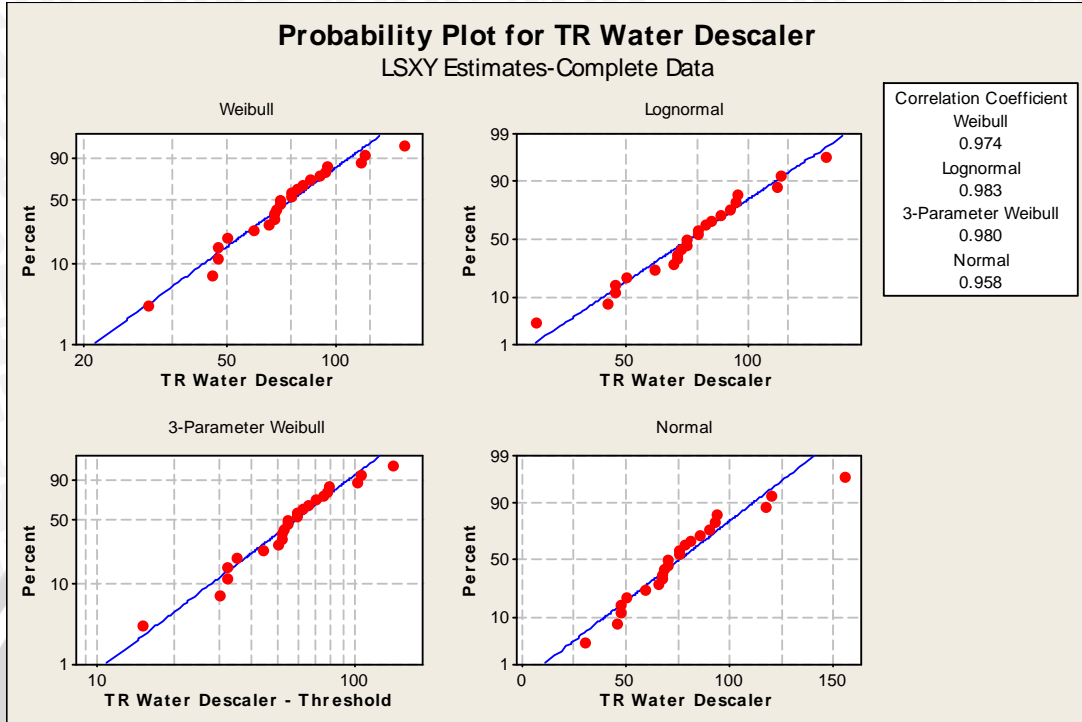












Lampiran 6. Perhitungan MTTF dan MTTR

Tabel 1. Tabel fungsi Gamma

No.	x	$\Gamma(x)$
1.	1,0	1
2.	1,1	0,9513507699
3.	1,2	0,9181687424
4.	1,3	0,8974706963
5.	1,4	0,8872638175
6.	1,5	0,88622692555
7.	1,6	0,8935153493
8.	1,7	0,9086387329
9.	1,8	0,9313837710
10.	1,9	0,9617658319
11.	2,0	1

Screw Down

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 30553.7 \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.28652}\right) \\
 &= 30553.7 \Gamma(1.777291) = 30553.7 \times 0.93138 = 28457.11 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 8.61493 + 57.65 \Gamma\left(1 + \frac{1}{2.65511}\right) \\
 &= 8.61493 + 57.65 \Gamma(1.376632) = 59.77 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Sliding Contact Bearing

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 69210.3 \Gamma\left(1 + \frac{1}{0.6767}\right) \\
 &= 69210.3 \Gamma(2.47776) = 69210.3 \times 1.47776 \Gamma(1.47776) = 90640.25 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 88.4073 + 32.583 \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.45421}\right) \\
 &= 88.4073 + 32.583 \Gamma(1.687659) = 118.01 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Fuse / Sekring Motor RM

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 62835.3 \Gamma \left(1 + \frac{1}{0.587745} \right) \\
 &= 62835.3 \Gamma(2.701418) = 69210.3 \times 1.701418 \Gamma(1.701418) = 97141.89 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 95.7273 + 25.4144 \Gamma \left(1 + \frac{1}{2.933335} \right) \\
 &= 95.7273 + 25.4144 \Gamma(1.340909) = 118.54 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Baut Keeper Plate

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 70758.5 \Gamma \left(1 + \frac{1}{0.680097} \right) \\
 &= 70758.5 \Gamma(2.470378) = 70758.5 \times 1.470378 \Gamma(1.470378) = 92204.91 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 1298.36 + 1344.58 \Gamma \left(1 + \frac{1}{497.686} \right) \\
 &= 1298.36 + 1344.58 \Gamma(1) = 46.22 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Trust Cylinder

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 45090.5 \Gamma \left(1 + \frac{1}{1.07592} \right) \\
 &= 45090.5 \Gamma(1.929437) = 43366.69 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) = \exp \left(3.86134 + \frac{0.4166^2}{2} \right) \\
 &= \exp(3.948118) = 51.8377 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Balancing

$$MTTF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 105783 \Gamma \left(1 + \frac{1}{0.682103} \right)$$

$$= 105783 \Gamma(2.466054) = 70758.5 \times 1.466054 \Gamma(1.466054) = 137439.73 \text{ menit}$$

$$MTTR = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 52.3666 + 7.68014 \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.06836}\right)$$

$$= 52.3666 + 7.68014 \Gamma(1.936014) = 59.75 \text{ menit}$$

Lifting Rail

$$MTTF = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 159578 \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.28095}\right)$$

$$= 159578 \Gamma(1.780671) = 159578 \times 0.93138 = 148627.76 \text{ menit}$$

$$MTTR = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) = \exp\left(3.60119 + \frac{0.761192^2}{2}\right)$$

$$= \exp(3.890897) = 48.95476 \text{ menit}$$

Screw Down Edger

$$MTTF = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 66597.5 \Gamma\left(1 + \frac{1}{0.938015}\right)$$

$$= 66597.5 \Gamma(2.066081) = 66597.5 \times 1.066081 \Gamma(1.066081) = 70998.33 \text{ menit}$$

$$MTTR = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) = \exp\left(3.39707 + \frac{0.133614^2}{2}\right)$$

$$= \exp(3.405996) = 30.14432 \text{ menit}$$

Motor Edger

$$MTTF = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 139929 \Gamma\left(1 + \frac{1}{0.971571}\right)$$

$$= 139929 \Gamma(2.029261) = 139929 \times 1.029261 \Gamma(1.029261) = 144023.46 \text{ menit}$$

$$MTTR = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 40.0688 \Gamma\left(1 + \frac{1}{17.9073}\right)$$

$$= 40.0688\Gamma(1.055843) = 38.12\text{menit}$$

Sliding Table

$$\begin{aligned} MTF = \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) &= 71730.9\Gamma\left(1 + \frac{1}{0.654254}\right) \\ &= 71730.9\Gamma(2.528458) = 71730.9 \times 1.528458\Gamma(1.528458) = 97164.19\text{menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MTTR = \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) &= 151.282\Gamma\left(1 + \frac{1}{13.4104}\right) \\ &= 151.282\Gamma(1.074569) = 143.92\text{menit} \end{aligned}$$

Power Water

$$\begin{aligned} MTF = \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) &= 57992.8\Gamma\left(1 + \frac{1}{0.976829}\right) \\ &= 57992.8\Gamma(2.023721) = 57992.8 \times 1.023721\Gamma(1.023721) = 59368.43\text{menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MTTR = \gamma + \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) &= 25.2819 + 8.7176\Gamma\left(1 + \frac{1}{2.89762}\right) \\ &= 25.2819 + 8.7176\Gamma(1.345111) = 33.11\text{menit} \end{aligned}$$

Water Descaler

$$\begin{aligned} MTF = \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) &= 38758.2\Gamma\left(1 + \frac{1}{0.827252}\right) \\ &= 38758.2\Gamma(2.208821) = 38758.2 \times 1.208821\Gamma(1.208821) = 43017.87\text{menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MTTR = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) &= \exp\left(4.26937 + \frac{0.372875^2}{2}\right) \\ &= \exp(4.338888) = 76.62228\text{menit} \end{aligned}$$

Lampiran 7. Perhitungan TM (*Time Maintenance*)

Rumus TM :

$$TM = \eta \times \left(\frac{CM}{CF(\beta - 1)} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

Perhitungan TM masing-masing komponen

$$TM_{ScrewDownRM} = 30553.7 \times \left(\frac{22500000}{274440680.12(1.28652 - 1)} \right)^{\frac{1}{1.28652}} = 11552.28 \text{menit}$$

$$TM_{BearingBush} = 69210.3 \times \left(\frac{70000000}{540967973.82(0.67670 - 1)} \right)^{\frac{1}{0.67670}} = 17885.31 \text{menit}$$

$$TM_{Fuse/sekring} = 62835.3 \times \left(\frac{65000000}{540265304.33(0.58775 - 1)} \right)^{\frac{1}{0.58775}} = 7730.08 \text{menit}$$

$$TM_{BautKeeperPlate} = 70758.5 \times \left(\frac{62500000}{210543389.51(0.68010 - 1)} \right)^{\frac{1}{0.68010}} = 63390.02 \text{menit}$$

$$TM_{TrustCylinder} = 45090.5 \times \left(\frac{30000000}{236693512.32(1.07592 - 1)} \right)^{\frac{1}{1.07592}} = 72603.57 \text{menit}$$

$$TM_{Balancyng} = 105783 \times \left(\frac{105000000}{272436028.84(0.68210 - 1)} \right)^{\frac{1}{0.68210}} = 140292.42 \text{menit}$$

$$TM_{LiftingRail} = 159578 \times \left(\frac{120000000}{224109880.44(1.28095 - 1)} \right)^{\frac{1}{1.28095}} = 264017.06 \text{menit}$$

$$TM_{SDEdger} = 66597.5 \times \left(\frac{50000000}{139034005.31(0.93802 - 1)} \right)^{\frac{1}{0.93802}} = 433987.56 \text{menit}$$

$$TM_{MotorEdger} = 139929 \times \left(\frac{98000000}{173799778.21(0.97157 - 1)} \right)^{\frac{1}{0.97157}} = 3028910.83 \text{menit}$$

$$TM_{SlidingTable} = 71730.9 \times \left(\frac{70000000}{656110078.71(0.65425 - 1)} \right)^{\frac{1}{0.65425}} = 11891.06 \text{menit}$$

$$TM_{PowerWater} = 57992.8 \times \left(\frac{42500000}{151567870.48(0.97683 - 1)} \right)^{\frac{1}{0.97683}} = 744554.78 \text{menit}$$

$$TM_{WaterDescaler} = 38758.2 \times \left(\frac{30000000}{351910612.34(0.82725 - 1)} \right)^{\frac{1}{0.82725}} = 16503.99 \text{menit}$$



Lampiran 8. Perhitungan Biaya Perawatan Komponen

$$\text{Rumus TC : } TC = \frac{CF}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{CM}{TM}$$

Perhitungan TC masing-masing komponen

$$TC_{\text{ScrewDown}} = \frac{274440680.12}{30553.7^{1.28652}} 192.54^{1.28652-1} + \frac{22500000}{192.54} = Rp.118,963.24 / \text{jam}$$

$$TC_{\text{BearingBush}} = \frac{540967973.82}{69210.3^{0.67670}} 298.09^{0.67670-1} + \frac{70000000}{298.09} = Rp.280,315.05 / \text{jam}$$

$$TC_{\text{Fuse / sekring}} = \frac{540265304.33}{62835.3^{0.58775}} 128.83^{0.58775-1} + \frac{65000000}{128.83} = Rp.615,832.96 / \text{jam}$$

$$TC_{\text{BautKeeperPlate}} = \frac{210543389.51}{70758.5^{0.68010}} 1056.5^{0.68010-1} + \frac{62500000}{1056.5} = Rp.70,577.86 / \text{jam}$$

$$TC_{\text{TrustCylinder}} = \frac{236693512.32}{45090.5^{1.07592}} 1210.06^{1.07592-1} + \frac{30000000}{1210.06} = Rp.28,780.67 / \text{jam}$$

$$TC_{\text{Balancing}} = \frac{272436028.84}{105783^{0.68210}} 2338.21^{0.68210-1} + \frac{105000000}{2338.21} = Rp.53,558.62 / \text{jam}$$

$$TC_{\text{LiftingRail}} = \frac{224109880.44}{159578^{1.28095}} 4400.28^{1.28095-1} + \frac{120000000}{4400.28} = Rp.27,783.06 / \text{jam}$$

$$TC_{\text{SDEdger}} = \frac{139034005.31}{66597.5^{0.93802}} 7233.13^{0.93802-1} + \frac{50000000}{7233.13} = Rp.9,308.3 / \text{jam}$$

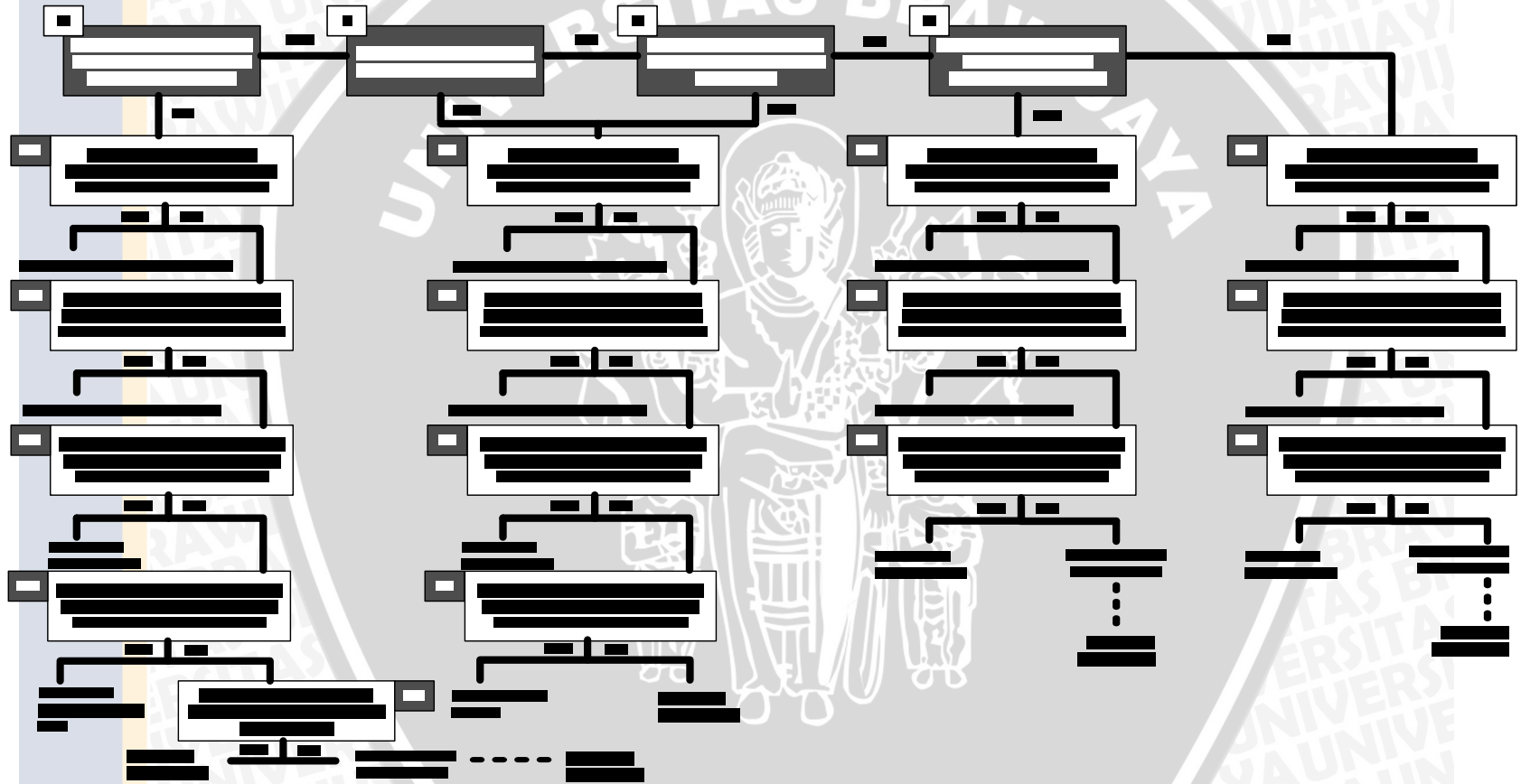
$$TC_{\text{MotorEdger}} = \frac{173799778.21}{139929^{0.97157}} 50481.85^{0.97157-1} + \frac{98000000}{50481.85} = Rp.3,219.88 / \text{jam}$$

$$TC_{\text{SlidingTable}} = \frac{65611007871}{71730.9^{0.65425}} 198.18^{0.65425-1} + \frac{70000000}{198.18} = Rp.423,337.26 / \text{jam}$$

$$TC_{\text{PowerWater}} = \frac{151567870.48}{57992.8^{0.97683}} 12409.25^{0.97683-1} + \frac{42500000}{12409.25} = Rp.6,133.49 / \text{jam}$$

$$TC_{\text{WaterDescaler}} = \frac{351910612.34}{38758.2^{0.82725}} 275.07^{0.82725-1} + \frac{30000000}{275.07} = Rp.130.409,32 / \text{jam}$$

DECISION DIAGRAM



Lampiran 10. Gambar Area Fungsional Roughing Mill

