

**USULAN PENJADWALAN DAN METODE PEMELIHARAAN  
MESIN WTM 16 PT BAKRIE PIPE INDUSTRIES  
BERDASARKAN SIMULASI MONTE CARLO DAN *FAULT  
TREE ANALYSIS***

**TUGAS AKHIR**



**Nella Sari Seftiana  
1112003041**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER  
UNIVERSITAS BAKRIE  
JAKARTA  
2015**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

---

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Nella Sari Seftiana**

**NIM : 1112003041**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 24 Agustus 2015**

## HALAMAN PENGESAHAN

---

Tugas Akhir ini diajukan oleh

Nama : Nella Sari Seftiana  
NIM : 1112003041  
Program Studi : Teknik Industri  
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer  
Judul Skripsi : Usulan Penjadwalan dan Metode Pemeliharaan  
Mesin WTM 16 PT Bakrie Pipe Industries  
Berdasarkan Simulasi Monte Carlo dan *Fault Tree Analysis*

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie.**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Mirsa Diah Novianti, S.T., MT. ( )

Penguji : Ir. Gunawarman Hartono, M.Eng. ( )

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 24 Agustus 2015

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus karena atas penyertaan dan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Usulan Penjadwalan dan Metode Pemeliharaan Mesin WTM 16 PT Bakrie Pipe Industries Berdasarkan Simulasi Monte Carlo dan *Fault Tree Analysis*”**.

Penulis menyadari bahwa banyak bantuan, dukungan dan bimbingan yang didapat dari berbagai pihak, baik dari masa perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Ir. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D., selaku rektor Universitas Bakrie.
2. Bapak Ir. Esa Haruman Wiraatmadja, M.Sc.Eng., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie Jakarta.
3. Bapak Ir. Gunawarman Hartono, M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Universitas Bakrie.
4. Ibu Mirsa Diah Novianti, S.T., MT. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam proses penyusunan proposal tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Program Studi Teknik Industri Universitas Bakrie yang telah memberikan pengajaran dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
6. Bapak Fariza Akbar, Bapak Saimun, Bapak Eryun, Bapak Eding, Bapak Yoyon serta semua pihak yang sudah banyak membantu penulis selama pengambilan data di PT Bakrie Pipe Industries.
7. Bapak Robinson Simanjuntak dan Ibu Nani Martini selaku orangtua yang sangat penulis sayangi yang senantiasa memberikan doa dan dukungan kepada penulis hingga bisa menjadi seperti sekarang.
8. Nelly Santi Seftiani dan David Daniel Fernando selaku saudara kandung penulis yang selalu memberikan dukungan dan hiburan kepada penulis.
9. Putri Yulianti, Melisa Budiasih, Fariz Hidayat, Aam Amrullah, Putri Lestari serta teman-teman Teknik Industri 2011 yang telah memberikan dukungan dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini.

10. Kak Femi Ningsi Losong, Maria Meylania, Christine Natalia Charel, Pragita Sitorus, Metaria Tri Sandi Eda, dan Mawar Mulati sebagai teman – teman penulis di Kos 71.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam penyajian dan penyusunan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga semua bantuan dan jerih payah yang telah diberikan mendapat imbalan yang setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa. Akhir kata, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat berguna bagi pihak yang berkepentingan.

Jakarta, 24 Agustus 2015

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Bakrie, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nella Sari Seftiana  
NIM : 1112003041  
Program Studi : Teknik Industri  
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer  
Jenis Tugas Akhir : Kuantitatif Kualitatif

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**USULAN PENJADWALAN DAN METODE PEMELIHARAAN MESIN  
WTM 16 PT BAKRIE PIPE INDUSTRIES BERDASARKAN SIMULASI  
MONTE CARLO DAN *FAULT TREE ANALYSIS***

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Bakrie berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta untuk kepentingan akademis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 24 Agustus 2015

Yang menyatakan

(Nella Sari Seftiana)

**USULAN PENJADWALAN DAN METODE PEMELIHARAAN  
MESIN WTM 16 PT BAKRIE PIPE INDUSTRIES  
BERDASARKAN SIMULASI MONTE CARLO DAN *FAULT  
TREE ANALYSIS***

Nella Sari Seftiana

---

**ABSTRAK**

Mesin sebagai salah satu faktor produksi secara otomatis juga menjadi salah satu penentu kelancaran suatu proses produksi. Oleh karena itu, demi kelancaran jalannya suatu proses produksi, perlu diadakan kegiatan pemeliharaan mesin. Kegiatan pemeliharaan mesin merupakan kegiatan yang ditujukan untuk menjaga mesin agar selalu dalam kondisi yang baik dan siap dipergunakan dalam proses produksi. Mesin WTM 16 merupakan salah satu mesin utama yang diimplementasikan PT Bakrie Pipe Industries dengan desain kapasitas produksi 60.000 ton per tahun dan mampu memproduksi pipa bulat berdiameter 6 5/8 inci sampai 16 inci dengan ketebalan 4.8 mm hingga 12.7 mm. Namun, dalam prosesnya memproduksi pipa, mesin WTM 16 seringkali mengalami *breakdown* yang disebabkan oleh 7 komponen kritis, yaitu *HF Welder*, *KIB Inner*, *Annealer*, *Mechanical Cut Off*, *Uncoiler*, *DC Drive Motor* dan *Mechanical Outer*. Ketujuh komponen ini memiliki nilai reliabilitas rata – rata dibawah 50% dengan kegiatan pemeliharaan pencegahan yang saat ini dilakukan. Simulasi Monte Carlo digunakan sebagai dasar penerapan pemeliharaan pencegahan yang baru sehingga diharapkan dapat mengurangi terjadinya *breakdown* pada mesin WTM 16. Selain itu, dilakukan pula analisis lebih lanjut terhadap penyebab terjadinya *breakdown* pada komponen kritis dengan nilai reliabilitas di bawah 50% dengan *Fault Tree Analysis*. Pengetahuan terhadap akar penyebab terjadinya *breakdown* pada komponen kritis ini diharapkan dapat menjadi dasar diberlakukannya metode pemeliharaan yang sesuai yang dapat diterapkan pada mesin WTM 16.

**Kata kunci:** pemeliharaan, simulasi Monte Carlo, *fault tree analysis*

# **PROPOSED SCHEDULING AND METHOD MACHINE MAINTENANCE WTM 16 PT BAKRIE PIPE INDUSTRIES BASED ON MONTE CARLO SIMULATION AND FAULT TREE ANALYSIS**

**Nella Sari Seftiana**

---

## **ABSTRACT**

Machine as one of the factors of production is automatically also becomes one of determining the smoothness of a production process. Therefore, for the smooth of a production process, there should be the maintenance of the machine. Maintenance activity is an activity that is intended to keep the machine to keep it in good condition and ready to be used in the production process. Machine WTM 16 is one of the main engines that are implemented by PT Bakrie Pipe Industries with a production capacity design of 60,000 tons per year and is capable of producing round pipe with diameter of 6 5/8 inches to 16 inches with a thickness of 4.8 mm up to 12.7 mm. However, in the process of producing pipes, breakdown of machine WTM 16 is often occur which is caused by the 7 critical components. Those seven components mentioned are *HF Welder, KIB Inner, Annealer, Mechanical Cut Off, Uncoiler, DC Drive Motor and Mechanical Outer*. Those critical components mentioned have a mean value of reliability at below 50% with preventive maintenance activities currently undertaken. Monte Carlo simulations are used as the basis for the application of the new preventive maintenance which is expected to reduce the occurrence of breakdown at machine WTM 16. In addition, there is also conducted further analysis of the causes of the breakdown in critical components with reliability value at below 50% with Fault Tree Analysis. Knowledge of the root causes of breakdown at this critical component is expected to be the basis of the implementation of appropriate maintenance methods that can be applied to the machine WTM 16.

**Keywords:** maintenance, Monte Carlo simulation, fault tree analysis

## DAFTAR ISI

|                                                                                 |             |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                                                      | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>                                    | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>                                                  | <b>iii</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                      | <b>iv</b>   |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....</b>                           | <b>vi</b>   |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                            | <b>vii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                           | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                          | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                       | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                       | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                                                    | <b>xiv</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                                   | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang Masalah .....                                                | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                                        | 5           |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                                     | 5           |
| 1.4 Batasan Masalah .....                                                       | 6           |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                                                    | 6           |
| 1.5.1 Manfaat Teoritis.....                                                     | 6           |
| 1.5.2 Manfaat Praktis .....                                                     | 6           |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                                                 | 7           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                                            | <b>8</b>    |
| 2.1 Definisi Pemeliharaan.....                                                  | 8           |
| 2.1.1 Tujuan Pemeliharaan .....                                                 | 8           |
| 2.1.2 Jenis-jenis Pemeliharaan.....                                             | 10          |
| 2.2 Konsep <i>Downtime</i> .....                                                | 14          |
| 2.3 Konsep Keandalan atau Reliabilitas .....                                    | 15          |
| 2.4 <i>Time to Failure</i> (TTF) dan <i>Time to Repair</i> (TTR) .....          | 16          |
| 2.5 Distribusi Peluang.....                                                     | 16          |
| 2.5.1 Distribusi Peluang Diskrit.....                                           | 17          |
| 2.5.2 Distribusi Peluang Kontinyu.....                                          | 19          |
| 2.6 Identifikasi Distribusi .....                                               | 20          |
| 2.6.1 Identifikasi Awal.....                                                    | 21          |
| 2.6.2 Uji Kebaikan Suai ( <i>Goodness of Fit Test</i> ).....                    | 22          |
| 2.6.3 Penaksiran Parameter.....                                                 | 24          |
| 2.7 Rumus Perhitungan <i>Mean Time to Failure</i> (MTTF) dan Reliabilitas ..... | 25          |
| 2.8 Sistem Simulasi .....                                                       | 26          |
| 2.8.1 Definisi Sistem.....                                                      | 26          |
| 2.8.2 Definisi Simulasi.....                                                    | 27          |
| 2.8.3 Tujuan Simulasi .....                                                     | 27          |
| 2.8.4 Klasifikasi Model Simulasi.....                                           | 28          |
| 2.8.5 Kelebihan dan Kekurangan Simulasi.....                                    | 29          |
| 2.9 Simulasi Monte Carlo .....                                                  | 31          |
| 2.9.1 Definisi Simulasi Monte Carlo .....                                       | 31          |
| 2.9.2 Langkah-langkah Simulasi Monte Carlo .....                                | 32          |
| 2.10 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi.....                                | 33          |
| 2.11 FTA ( <i>Fault Tree Analysis</i> ).....                                    | 35          |

|                |                                                                                                                       |    |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.11.1         | Pengertian FTA ( <i>Fault Tree Analysis</i> ).....                                                                    | 35 |
| 2.11.2         | Simbol dan Istilah dalam <i>Fault Tree</i> .....                                                                      | 36 |
| 2.11.3         | Aturan Membangun <i>Fault Tree</i> .....                                                                              | 44 |
| 2.11.4         | Langkah-langkah Membangun <i>Fault Tree</i> .....                                                                     | 45 |
| 2.12           | Alat Kendali Kualitas .....                                                                                           | 47 |
| <b>BAB III</b> | <b>METODE PENELITIAN</b> .....                                                                                        | 50 |
| 3.1            | Objek Penelitian.....                                                                                                 | 50 |
| 3.2            | Metode Penelitian .....                                                                                               | 50 |
| 3.3            | Diagram Alir Metodologi Penelitian .....                                                                              | 50 |
| 3.4            | Uraian Diagram Alir Metodologi Penelitian .....                                                                       | 51 |
| <b>BAB 4</b>   | <b>ANALISIS MASALAH</b> .....                                                                                         | 58 |
| 4.1            | Sistem Pemeliharaan Mesin WTM 16.....                                                                                 | 58 |
| 4.2            | Komponen Kritis pada Mesin WTM 16 .....                                                                               | 58 |
| 4.3            | Performa Mesin WTM 16 Berdasarkan MTTF dan Nilai Reliabilitasnya ..                                                   | 60 |
| 4.3.1          | Identifikasi Awal ( <i>Index of Fit Test</i> ).....                                                                   | 61 |
| 4.3.2          | Uji Kebaikan Suai ( <i>Goodness of Fit Test</i> ) .....                                                               | 63 |
| 4.3.3          | Penaksiran Parameter.....                                                                                             | 64 |
| 4.3.4          | Perhitungan <i>Mean Time to Failure</i> (MTTF) dan Nilai Reliabilitas<br>Komponen – komponen Kritis Mesin WTM 16..... | 67 |
| 4.4            | Usulan Penjadwalan Pemeliharaan Komponen Kritis Mesin WTM 16<br>dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo.....          | 72 |
| 4.4.1          | Pembangkitan Bilangan Acak Data TTF Komponen Kritis Mesin<br>WTM 16.....                                              | 72 |
| 4.4.2          | Validasi Data TTF Hasil Pembangkitan Bilangan Acak .....                                                              | 73 |
| 4.4.3          | Penaksiran Parameter Data TTF Komponen Kritis Hasil<br>Pembangkitan Bilangan Acak.....                                | 74 |
| 4.4.4          | Perhitungan Kembali MTTF serta Nilai Reliabilitas Data TTF<br>Komponen Kritis Hasil Pembangkitan Bilangan Acak .....  | 74 |
| 4.5            | Usulan Penjadwalan Pemeliharaan Komponen Kritis Mesin WTM 16 .....                                                    | 78 |
| 4.6            | Analisis Penyebab Kegagalan Fungsi Mesin WTM 16 Berdasarkan <i>Fault<br/>Tree Analysis</i> (FTA) .....                | 79 |
| 4.6.1          | <i>HF Welder</i> .....                                                                                                | 79 |
| 4.6.2          | <i>KIB Inner</i> .....                                                                                                | 82 |
| 4.6.3          | <i>Annealer</i> .....                                                                                                 | 84 |
| 4.6.4          | <i>Mechanical Cut Off</i> .....                                                                                       | 86 |
| 4.6.5          | <i>DC Drive Motor</i> .....                                                                                           | 87 |
| 4.7            | Usulan Metode Pemeliharaan Mesin WTM 16 .....                                                                         | 89 |
| <b>BAB 5</b>   | <b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....                                                                                     | 92 |
| 5.1            | Kesimpulan.....                                                                                                       | 92 |
| 5.2            | Saran .....                                                                                                           | 93 |
|                | <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                                                                                           | 94 |
|                | <b>LAMPIRAN</b> .....                                                                                                 | 98 |

## DAFTAR TABEL

|             |                                                                                                                        |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1. 1  | Rencana vs Aktual <i>Coil</i> Yang Diproses Mesin WTM 16 Periode Januari 2014 - Agustus 2014 .....                     | 2  |
| Tabel 1. 2  | Daftar Nama Komponen Mesin WTM 16 dan Total Waktu <i>Downtime</i> Periode Januari - Desember 2014 .....                | 3  |
| Tabel 3. 1  | Tahapan Pengolahan Data .....                                                                                          | 53 |
| Tabel 4. 1  | Daftar Komponen dan Waktu <i>Downtime</i> Mesin WTM 16 Periode Januari - Desember 2014 .....                           | 59 |
| Tabel 4. 2  | Data <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen <i>HF Welder</i> .....                                                      | 61 |
| Tabel 4. 3  | Rekapitulasi Hasil Uji <i>Index Of Fit</i> Komponen Kritis Mesin WTM 16 .....                                          | 62 |
| Tabel 4. 4  | Rekapitulasi Hasil Uji <i>Goodness Of Fit</i> Komponen Kritis Mesin WTM 16 .....                                       | 64 |
| Tabel 4. 5  | Rekapitulasi Hasil Penaksiran Parameter Komponen Kritis Mesin WTM 16 .....                                             | 67 |
| Tabel 4. 6  | Rekapitulasi Perhitungan MTTF dan Nilai Reliabilitas Komponen Kritis Mesin WTM 16 .....                                | 71 |
| Tabel 4. 7  | Contoh Hasil Pembangkitan Bilangan Acak Data TTF Komponen <i>HF Welder</i> .....                                       | 73 |
| Tabel 4. 8  | Rekapitulasi Hasil Penaksiran Parameter Data TTF Replikasi 1 Komponen Kritis .....                                     | 74 |
| Tabel 4. 9  | Rekapitulasi Hasil Perhitungan MTTF Serta Nilai Reliabilitas dari Hasil Pembangkitan Bilangan Acak (Replikasi 1) ..... | 77 |
| Tabel 4. 10 | Usulan Penjadwalan Penerapan <i>Preventive Maintenance</i> pada Komponen - Komponen Kritis Mesin WTM 16 .....          | 78 |

## DAFTAR GAMBAR

|              |                                                                                    |    |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. 1  | Grafik Perbandingan Rencana vs Aktual <i>Coil</i> yang Diproses Mesin WTM 16 ..... | 3  |
| Gambar 2. 1  | Diagram Jenis - jenis Pemeliharaan (Corder, 1992).....                             | 12 |
| Gambar 2. 2  | <i>Basic Event</i> .....                                                           | 37 |
| Gambar 2. 3  | <i>Undeveloped Event</i> .....                                                     | 38 |
| Gambar 2. 4  | <i>Conditioning Event</i> .....                                                    | 38 |
| Gambar 2. 5  | <i>External Event</i> .....                                                        | 39 |
| Gambar 2. 6  | <i>Intermediate Event</i> .....                                                    | 39 |
| Gambar 2. 7  | Gerbang OR.....                                                                    | 39 |
| Gambar 2. 8  | Kejadian A terjadi jika B atau C terjadi .....                                     | 40 |
| Gambar 2. 9  | Contoh Gerbang OR .....                                                            | 40 |
| Gambar 2. 10 | Gerbang AND.....                                                                   | 41 |
| Gambar 2. 11 | Kejadian A terjadi jika B dan C terjadi .....                                      | 41 |
| Gambar 2. 12 | Contoh Gerbang AND .....                                                           | 41 |
| Gambar 2. 13 | Gerbang INHIBIT .....                                                              | 42 |
| Gambar 2. 14 | Gerbang INHIBIT dengan kejadian khusus .....                                       | 42 |
| Gambar 2. 15 | Contoh Gerbang INHIBIT .....                                                       | 42 |
| Gambar 2. 16 | Gerbang EXCLUSIVE OR.....                                                          | 43 |
| Gambar 2. 17 | Gerbang PRIORITY AND .....                                                         | 43 |
| Gambar 2. 18 | <i>Triangle-in</i> .....                                                           | 43 |
| Gambar 2. 19 | <i>Triangle-out</i> .....                                                          | 43 |
| Gambar 2. 20 | Contoh Diagram Pareto .....                                                        | 49 |
| Gambar 4. 1  | Diagram Pareto Komponen Kritis Mesin WTM 16 .....                                  | 60 |
| Gambar 4. 2  | Hasil Uji Korelasi Komponen <i>HF Welder</i> dengan Minitab 17 .....               | 62 |

|              |                                                                                                                     |    |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 3  | Hasil Uji <i>Goodness of Fit</i> Komponen <i>HF Welder</i> dengan Minitab 17 .....                                  | 64 |
| Gambar 4. 4  | Hasil Penaksiran Parameter Komponen <i>HF Welder</i> dengan Minitab 17 .....                                        | 65 |
| Gambar 4. 5  | Hasil Penaksiran Parameter Komponen <i>Uncoiler</i> dengan Minitab 17 .....                                         | 66 |
| Gambar 4. 6  | Hasil Penaksiran Parameter Komponen <i>Mechanical Outer</i> dengan Minitab 17 .....                                 | 67 |
| Gambar 4. 7  | Hasil <i>Paired Sample T-Test</i> Komponen <i>HF Welder</i> antara Data TTF Sistem Riil dan Hasil Replikasi 1 ..... | 73 |
| Gambar 4. 8  | Komponen <i>HF Welder</i> .....                                                                                     | 79 |
| Gambar 4. 9  | <i>Fault Tree</i> Komponen <i>HF Welder</i> .....                                                                   | 80 |
| Gambar 4. 10 | <i>Fault Tree</i> Komponen <i>HF Welder</i> dengan Pemisalan .....                                                  | 82 |
| Gambar 4. 11 | <i>Fault Tree</i> Komponen <i>KIB Inner</i> .....                                                                   | 83 |
| Gambar 4. 12 | <i>Fault Tree</i> Komponen <i>KIB Inner</i> dengan Pemisalan .....                                                  | 83 |
| Gambar 4. 13 | Komponen <i>Annealer</i> .....                                                                                      | 84 |
| Gambar 4. 14 | <i>Fault Tree</i> Komponen <i>Annealer</i> .....                                                                    | 85 |
| Gambar 4. 15 | <i>Fault Tree</i> Komponen <i>Annealer</i> dengan Pemisalan .....                                                   | 85 |
| Gambar 4. 16 | Komponen <i>Mechanical Cut Off</i> .....                                                                            | 86 |
| Gambar 4. 17 | <i>Fault Tree</i> Komponen <i>Mechanical Cut Off</i> .....                                                          | 86 |
| Gambar 4. 18 | <i>Fault Tree</i> Komponen <i>Mechanical Cut Off</i> dengan Pemisalan .....                                         | 87 |
| Gambar 4. 19 | Komponen <i>DC Drive Motor</i> .....                                                                                | 88 |
| Gambar 4. 20 | <i>Fault Tree</i> Komponen <i>DC Drive Motor</i> .....                                                              | 88 |
| Gambar 4. 21 | <i>Fault Tree</i> Komponen <i>DC Drive Motor</i> dengan Pemisalan .....                                             | 89 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|             |                                                                                                                                                           |     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 1  | Data Olahan <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen <i>HF Welder</i> .....                                                                                  | 98  |
| Lampiran 2  | Data Olahan <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen <i>HF Welder (Cont.)</i><br>.....                                                                       | 99  |
| Lampiran 3  | Data Olahan <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen <i>HF Welder (Cont.)</i><br>.....                                                                       | 100 |
| Lampiran 4  | Data Olahan <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen <i>KIB Inner</i> .....                                                                                  | 101 |
| Lampiran 5  | Data Olahan <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen <i>Annealer</i> .....                                                                                   | 102 |
| Lampiran 6  | Data Olahan <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen <i>Mechanical Cut Off</i> .....                                                                         | 103 |
| Lampiran 7  | Data Olahan <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen <i>Uncoiler dan DC Drive Motor</i> .....                                                                | 104 |
| Lampiran 8  | Data Olahan <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen <i>Mechanical Outer</i><br>.....                                                                        | 105 |
| Lampiran 9  | Hasil Uji Korelasi Data TTF Komponen <i>KIB Inner</i> dan <i>Annealer</i><br>dengan Minitab 17 .....                                                      | 106 |
| Lampiran 10 | Hasil Uji Korelasi Data TTF Komponen <i>Mechanical Cut Off</i> dan<br><i>Uncoiler</i> dengan Minitab 17.....                                              | 107 |
| Lampiran 11 | Hasil Uji Korelasi Data TTF Komponen <i>DC Drive Motor</i> dan<br><i>Mechanical Outer</i> dengan Minitab 17.....                                          | 108 |
| Lampiran 12 | Hasil Uji Kebaikan Suai ( <i>Goodness Of Fit Test</i> ) Data TTF<br>Komponen <i>KIB Inner</i> dan <i>Annealer</i> dengan Minitab 17.....                  | 109 |
| Lampiran 13 | Hasil Uji Kebaikan Suai ( <i>Goodness Of Fit Test</i> ) Data TTF<br>Komponen <i>Mechanical Cut Off</i> dan <i>Uncoiler</i> dengan Minitab 17<br>.....     | 110 |
| Lampiran 14 | Hasil Uji Kebaikan Suai ( <i>Goodness Of Fit Test</i> ) Data TTF<br>Komponen <i>DC Drive Motor</i> dan <i>Mechanical Outer</i> dengan Minitab<br>17 ..... | 111 |
| Lampiran 15 | Hasil Penaksiran Parameter Data TTF Komponen <i>KIB Inner</i> dan<br><i>Annealer</i> dengan Minitab 17 .....                                              | 112 |

|             |                                                                                                                                               |     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 16 | Hasil Penaksiran Parameter Data TTF Komponen <i>Mechanical Cut Off</i> dan <i>DC Drive Motor</i> dengan Minitab 17 .....                      | 113 |
| Lampiran 17 | Hasil Pembangkitan Bilangan Acak Data TTF Komponen <i>HF Welder</i> dengan Minitab 17 .....                                                   | 114 |
| Lampiran 18 | Hasil Pembangkitan Bilangan Acak Data TTF Komponen <i>HF Welder</i> dengan Minitab 17 ( <i>Cont.</i> ).....                                   | 115 |
| Lampiran 19 | Hasil Pembangkitan Bilangan Acak Data TTF Komponen <i>HF Welder (Cont.)</i> dan <i>KIB Inner</i> dengan Minitab 17 .....                      | 116 |
| Lampiran 20 | Hasil Pembangkitan Bilangan Acak Data TTF Komponen <i>Annealer</i> dan <i>Mechanical Cut Off</i> dengan Minitab 17.....                       | 117 |
| Lampiran 21 | Hasil Pembangkitan Bilangan Acak Data TTF Komponen <i>Uncoiler</i> dan <i>DC Drive Motor</i> dengan Minitab 17 .....                          | 118 |
| Lampiran 22 | Hasil Pembangkitan Bilangan Acak Data TTF Komponen <i>Mechanical Outer</i> dengan Minitab 17.....                                             | 119 |
| Lampiran 23 | Hasil <i>Paired Sample T-Test</i> Komponen <i>KIB Inner</i> dan <i>Annealer</i> Antara Data Sistem Riil dan Replikasi 1 .....                 | 120 |
| Lampiran 24 | Hasil <i>Paired Sample T-Test</i> Komponen <i>Mechanical Cut Off</i> dan <i>Uncoiler</i> Antara Data Sistem Riil dan Replikasi 1.....         | 121 |
| Lampiran 25 | Hasil <i>Paired Sample T-Test</i> Komponen <i>DC Drive Motor</i> dan <i>Mechanical Outer</i> Antara Data Sistem Riil dan Replikasi 1.....     | 122 |
| Lampiran 26 | Hasil Penaksiran Parameter Data TTF Komponen <i>HF Welder</i> dan <i>KIB Inner</i> Hasil Simulasi Monte Carlo dengan Minitab 17 .....         | 123 |
| Lampiran 27 | Hasil Penaksiran Parameter Data TTF Komponen <i>Annealer</i> dan <i>Mechanical Cut Off</i> Hasil Simulasi Monte Carlo dengan Minitab 17 ..... | 124 |
| Lampiran 28 | Hasil Penaksiran Parameter Data TTF Komponen <i>Uncoiler</i> dan <i>DC Drive Motor</i> Hasil Simulasi Monte Carlo dengan Minitab 17 .....     | 125 |
| Lampiran 29 | Hasil Penaksiran Parameter Data TTF Komponen <i>Mechanical Outer</i> Hasil Simulasi Monte Carlo dengan Minitab 17.....                        | 126 |
| Lampiran 30 | Jadwal <i>Preventive Maintenance</i> untuk Periode Per 2 dan 3 Bulan Mesin WTM 16 .....                                                       | 127 |

|             |                                                                                                |     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 31 | Jadwal <i>Preventive Maintenance</i> untuk Periode Per 2 Dan 3 Bulan Mesin WTM 16 (Cont.)..... | 128 |
| Lampiran 32 | Jadwal <i>Preventive Maintenance</i> untuk Periode Per 2 Dan 3 Bulan Mesin WTM 16 (Cont.)..... | 129 |
| Lampiran 33 | Tabel Fungsi Gamma .....                                                                       | 130 |
| Lampiran 34 | Tabel <i>Standardized Normal Probabilities</i> .....                                           | 131 |
| Lampiran 35 | Tabel <i>Standardized Normal Probabilities (Cont.)</i> .....                                   | 132 |
| Lampiran 36 | Tabel <i>Standardized Normal Probabilities (Cont.)</i> .....                                   | 133 |
| Lampiran 37 | Tabel <i>Standardized Normal Probabilities (Cont.)</i> .....                                   | 134 |
| Lampiran 38 | Tabel <i>Standardized Normal Probabilities (Cont.)</i> .....                                   | 135 |
| Lampiran 39 | Tabel <i>Standardized Normal Probabilities (Cont.)</i> .....                                   | 136 |