

**UPAYA PENINGKATAN KEHANDALAN DAN
KETERSEDIAAN EXCAVATOR HITACHI EX-2500 PADA
AREA TAMBANG BATUBARA TERBUKA MENGGUNAKAN
*IMPORTANCE MEASURE***

TESIS

ADITYA TIRTA PRATAMA

0806422302



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
JUNI 2010**

**UPAYA PENINGKATAN KEHANDALAN DAN
KETERSEDIAAN EXCAVATOR HITACHI EX-2500 PADA
AREA TAMBANG BATUBARA TERBUKA MENGGUNAKAN
*IMPORTANCE MEASURE***

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik**

**ADITYA TIRTA PRATAMA
0806422302**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Aditya Tirta Pratama

NPM : 08 06 42 23 02

Tanda Tangan : 

Tanggal : 21 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Aditya Tirta Pratama
NPM : 0806422302
Program Studi : Teknik Industri
Judul Tesis : Upaya Peningkatan Keandalan dan Ketersediaan
Excavator Hitachi EX-2500 Pada Area Tambang
Batubara Terbuka Menggunakan *Importance
Measure*

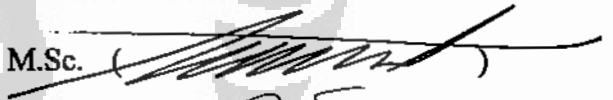
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Farizal, Ph.D.

()

Pembimbing : Armand Omar Moeis, S.T., M.Sc.

()

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo, M.Sc.

()

Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE.

()

Penguji : Arian Dhini, S.T., M.T.

()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 26 Juni 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Dalam proses penulisan tesis ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Farizal, Ph.D. selaku pembimbing ketua dan Armand Omar Moeis S.T, M.Sc., selaku pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik.
- (2) Dr. Ir. Sunaryo, M.Sc., Ir. Erlinda Muslim, MEE., dan Arian Dhini, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah melakukan pengujian terhadap tesis ini dan memberikan koreksi dan masukan untuk perbaikan tesis ini.
- (3) Segenap dosen dan karyawan Departemen Teknik Industri UI yang telah membantu selama penulis menjadi manusia.
- (4) Bapak Yose Oktavi Azmiral, Bapak Meidi Wibowo, Mas Theo, dan Mas Heri dari pihak PT. Pamapersada Nusantara yang telah banyak membantu usaha memperoleh data yang saya perlukan.
- (5) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan material.
- (6) Rekan-rekan SGU yang telah mendukung penulis untuk dapat menyelesaikan studi di UI, dan
- (7) Sahabat yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

Semoga Allah SWT memberikan pahala yang berlipat ganda atas segala kebaikan yang telah diberikan kepada saya dan semoga penulisan tesis ini bermanfaat bagi penulis dan semua pihak yang berkepentingan.

Jakarta, 21 Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Aditya Tirta Pratama
NPM : 0806422302
Program Studi : Teknik Industri
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tesis

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

**UPAYA PENINGKATAN KEHANDALAN DAN KETERSEDIAAN
EXCAVATOR HITACHI EX-2500 PADA AREA TAMBANG BATUBARA
TERBUKA MENGGUNAKAN *IMPORTANCE MEASURE***

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 21 Juni 2010

Yang menyatakan



(Aditya Tirta Pratama)

ABSTRAK

Nama : Aditya Tirta Pratama
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Upaya Peningkatan Kehandalan dan Ketersediaan
Excavator Hitachi EX-2500 Pada Area Tambang Batubara
Terbuka Menggunakan *Importance Measure*

Industri pertambangan merupakan industri yang mengolah sumber daya alam dengan mengambil dan memproses bahan tambang untuk menghasilkan berbagai produk akhir yang diperlukan manusia. Peningkatan kehandalan dan ketersediaan alat berat tambang diperlukan sebagai salah satu cara melakukan efisiensi dalam pembiayaan pemeliharaan dan peningkatan produksi tambang. Performa alat berat tambang sangat dipengaruhi oleh kehandalan peralatan yang digunakan. Oleh karena itu, analisa kehandalan diperlukan untuk menentukan subsistem yang memiliki kehandalan yang masih rendah. Studi kasus dilakukan pada satu fleet excavator Hitachi EX-2500 untuk area tambang batubara terbuka. Sistem excavator terbagi atas beberapa subsistem utama. Parameter distribusi probabilitas dan kurva kehandalan dari masing-masing subsistem ditentukan menggunakan Weibull++ 7 (Evaluation). Berdasarkan indeks importance measure diperoleh bahwa tiga subsistem utama yang kritis dari setiap excavator adalah Hydraulic System, Optional Accessories, dan Electrical System. Hasil studi ini adalah fokus pada subsistem kritis yang perlu ditingkatkan kehandalan dan ketersediaan serta rekomendasi dalam frekuensi dan durasi perawatan terjadwal yang optimal.

Kata kunci:

Kehandalan, Ketersediaan, Pertambangan, Importance Measure, Excavator

ABSTRACT

Name : Aditya Tirta Pratama
Major : Industrial Engineering
Title : Effort on Reliability and Availability Improvement of
Excavator Hitachi EX-2500 at Open-Pit Coal Mine Areas
by Using Importance Measure

Mining industry is an industry which processes natural resources by taking and processing materials to produce various end products that humans need. Improved reliability and availability of mining equipment is required as one way of efficiency in the financing of maintenance and improvement of mining production. Mining equipment performance is strongly determined by the reliability of equipment being used. Therefore, reliability analysis is needed to determine the subsystem that has low reliability. A case study has been done on one fleet excavator, Hitachi EX-2500, applied on open-pit coal mine area. The excavator system is divided into several main subsystems. The probability distribution parameter and reliability curve for each subsystem has been evaluated by using Weibull++ 7 (Evaluation). Based on importance measure index is obtained that the three main critical subsystem of each excavator are Hydraulic System, Optional Accessories, and Electrical System. Results of this study are focusing at the critical subsystem that needs to be improved on its reliability and availability and also the recommendation in optimal scheduled maintenance frequency and duration.

Key words:

Reliability, Availability, Mining, Importance Measure, Excavator

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Diagram Keterkaitan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Metodologi Penelitian	6
1.7. Sistematika Penulisan.....	8
2. LANDASAN TEORI	9
2.1. Konsep <i>Maintenance</i>	9
2.1.1. <i>Design-out Maintenance</i>	12
2.1.2. <i>Preventive Maintenance</i>	12
2.1.3. <i>Corrective Maintenance</i>	13
2.2. Konsep <i>Reliability, Availability, Maintainability</i>	13
2.2.1. Keandalan (<i>Reliability</i>).....	15
2.2.1.1. Keandalan Peralatan Tambang.....	17
2.2.1.2. Konfigurasi Keandalan	18
2.2.1.2.1. Konfigurasi Seri	18
2.2.1.2.2. Konfigurasi Pararel	20
2.2.1.2.3. Konfigurasi k-out-of-m	22
2.2.1.2.4. Konfigurasi Standby System	22

2.2.1.2.5. Konfigurasi Jembatan (Bridge Configuration)	23
2.2.2. Ketersediaan (<i>Availability</i>)	24
2.2.2.1. Inherent availability	24
2.2.2.2. Achived availability	25
2.2.2.3. Operational availability	25
2.2.3. Kemampu-rawatan (<i>Maintainability</i>)	26
2.3. Distribusi Probabilitas Untuk Kehandalan dan Ketersediaan Peralatan Tambang	27
2.3.1. Distribusi Binomial/Distribusi Bernoulli	27
2.3.2. Distribusi Eksponensial	27
2.3.3. Distribusi Rayleigh	28
2.3.4. Distribusi Weibull	28
2.3.5. Distribusi Normal/Distribusi Gaussian	29
2.3.6. Distribusi Lognormal	29
2.4. Konsep <i>Importance Measure</i>	29
2.4.1. <i>Reliability Importance Measure</i>	30
2.4.2. <i>Availability Importance Measure</i>	31
3. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	33
3.1. Praktek <i>Maintenance</i> di Industri Pertambangan	33
3.1.1. <i>Preventive Maintenance</i>	33
3.1.1.1. Periodic Maintenance	34
3.1.1.1.1. Periodic inspection	34
3.1.1.1.2. Periodic service	34
3.1.1.2. Scheduled Overhaul	35
3.1.1.3. Condition Base Maintenance	35
3.1.1.3.1. PPM (Program Pemeriksaan Mesin)	35
3.1.1.3.2. PAP (Program Analisa Pelumas)	36
3.1.1.3.3. PPU (Program Pemeliharaan Undercarriage)	37
3.1.2. <i>Corrective Maintenance</i>	37
3.2. Langkah-Langkah dalam Penelitian	39
3.2.1. Pengumpulan, Pemilahan dan Klasifikasi Data	40
3.2.2. Analisa Frekuensi Kegagalan Subsystem	42
3.2.3. Trend Test dan Serial Correlation Test	44
3.2.3.1. Trend Test	44
3.2.3.2. Serial Correlation Test	46

3.2.4.	Analisa Trend Test dan Serial Correlation Test.....	48
3.2.5.	Menentukan Kehandalan dan Ketersediaan.....	51
4.	HASIL DAN ANALISA.....	53
4.1.	Analisa Kehandalan.....	53
4.2.	Analisa Ketersediaan.....	56
4.3.	Analisa Kemampu-rawatan (MTTR dan MTBF)	57
4.4.	Model Proyeksi Peningkatan Kehandalan.....	58
4.5.	Model Proyeksi Peningkatan Ketersediaan	59
4.6.	Analisa Produksi, Manfaat dan Optimalisasi <i>Maintenance</i>	60
5.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1.	Kesimpulan.....	65
5.2.	Saran.....	66
	DAFTAR REFERENSI	67
	LAMPIRAN.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Dump-Truck, Komatsu 860E-1K.....	2
Gambar 1. 2. Excavator, Hitachi EX-2500.....	3
Gambar 1. 3. Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1. 4. Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	6
Gambar 2. 1. <i>Maintenance</i> Sebagai Proses Bisnis (Campbell dan Jardine, 2001)	10
Gambar 2. 2. Perubahan Keandalan Sistem untuk Beberapa Tipe <i>Maintenance</i> (Tasi et al, 2001).....	11
Gambar 2. 3. Kurva <i>Bath-up</i> pada Suatu Sistem.....	16
Gambar 2. 4. Faktor yang Mempengaruhi Keandalan Sistem Peralatan Tambang (B.S. Dhillon, 2008).....	18
Gambar 2. 5. Konfigurasi Seri dengan m Unit.....	18
Gambar 2. 6. Konfigurasi Paralel dengan m Unit.....	20
Gambar 2. 7. Konfigurasi Jembatan (<i>Bridge Configuration</i>).....	23
Gambar 2. 8. Sifat Kemampu-rawatan (Ebeling, 1997).....	26
Gambar 3. 1. <i>Maintenance Chart</i> (PM Training Handbook).....	33
Gambar 3. 2. Langkah-Langkah Penelitian (Javad Barabady, 2008).....	40
Gambar 3. 3. Modul Mincom Ellipse.....	42
Gambar 3. 4. Pareto Chart EX-726.....	43
Gambar 3. 5. Pareto Analysis EX-726.....	43
Gambar 3. 6. <i>Block Diagram</i> Excavator Hitachi EX-2500.....	44
Gambar 3. 7. TBF Trend Test Electrical System EX-726.....	45
Gambar 3. 8. TTR Trend Test Electrical System EX-726.....	45
Gambar 3. 9. TBF Trend Test Optional Accessories EX-726.....	46
Gambar 3. 10. TTR Trend Test Optional Accessories EX-726.....	46
Gambar 3. 11. TBF Serial Correlation Electrical System EX-726.....	47
Gambar 3. 12. TTR Serial Correlation Electrical System EX-726.....	47
Gambar 3. 13. TBF Serial Correlation Optional Accessories EX-726.....	48
Gambar 3. 14. TTR Serial Correlation Optional Accessories EX-726.....	48
Gambar 3. 15. Plot Keandalan Setiap Subsistem EX-728.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Distribusi Statistik EX-728.....	50
Tabel 3. 2. Distribusi Statistik EX-729.....	50
Tabel 3. 3. Kehandalan Subsistem pada Beberapa Interval Waktu EX-728	51
Tabel 3. 4. <i>Interval Maintenance</i> untuk Beberapa Kehandalan EX-728.....	52
Tabel 3. 5. Ketersediaan Setiap Subsistem pada EX-728.....	52
Tabel 4. 1. Kehandalan Subsistem pada Beberapa Interval Waktu EX-728	53
Tabel 4. 2. <i>Interval Maintenance</i> untuk Beberapa Kehandalan EX-728.....	54
Tabel 4. 3. <i>Reliability Importance Measure</i> untuk Beberapa Subsistem dalam Beberapa Interval Waktu pada EX-728	54
Tabel 4. 4. Subsistem EX-2500 Berdasarkan Tingkatan Kritis Menggunakan <i>Reliability Importance Measure</i>	55
Tabel 4. 5. Kehandalan Rata-Rata Subsistem untuk Excavator EX-2500.....	56
Tabel 4. 6. <i>Reliability Importance Measure</i> untuk Semua Excavator EX-2500...	56
Tabel 4. 7. <i>Interval Maintenance Rata-Rata</i> untuk Keseluruhan EX-2500	56
Tabel 4. 8. Ketersediaan Setiap Subsistem pada EX-728.....	57
Tabel 4. 9. <i>Current Reliability</i> Excavator EX-2500.....	58
Tabel 4. 10. <i>Current Production</i> dan <i>Lost Production</i> Excavator Berdasarkan Nilai Ketersediaan	61
Tabel 4. 11. Proyeksi Peningkatan Ketersediaan dan <i>Benefit</i> untuk Pencapaian Kehandalan 0.5.....	61
Tabel 4. 12. Proyeksi Peningkatan Ketersediaan dan <i>Benefit</i> untuk Pencapaian Kehandalan 0.75	62
Tabel 4. 13. Proyeksi Peningkatan Ketersediaan dan <i>Benefit</i> untuk Pencapaian Kehandalan 0.9.....	62
Tabel 4. 14. Frekuensi <i>Maintenance</i> dan Total Durasi <i>Maintenance</i> yang Optimal untuk Setiap Excavator EX-2500	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pareto Chart.....	71
Lampiran 2. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-721.....	75
Lampiran 3. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-722.....	80
Lampiran 4. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-723.....	85
Lampiran 5. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-724.....	89
Lampiran 6. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-725.....	93
Lampiran 7. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-726.....	97
Lampiran 8. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-727.....	102
Lampiran 9. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-728.....	105
Lampiran 10. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-729.....	110
Lampiran 11. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-730.....	114
Lampiran 12 Trend Test dan Serial Correlation Test SH-701.....	118
Lampiran 13 Trend Test dan Serial Correlation Test SH-702.....	121
Lampiran 14. Best-Fit Distribution.....	125
Lampiran 15. Kurva Probabilitas dan Kehandalan.....	129
Lampiran 16. <i>Reliability Based Maintenance Interval</i>	156
Lampiran 17. Kehandalan Subsistem untuk Beberapa Interval Waktu.....	159
Lampiran 18. Indeks <i>Reliability Importance Measure</i>	162
Lampiran 19. <i>Current Availability Subsistem</i> Excavator EX-2500.....	165
Lampiran 20. Proyeksi Peningkatan Ketersediaan Excavator EX-2500.....	168
Lampiran 21. Kurva Optimalisasi Frekuensi <i>Maintenance</i> dan Total Durasi <i>Maintenance</i>	171
Lampiran 22. Spesifikasi Umum Hitachi EX-2500.....	175
Lampiran 23. Layout Komponen Utama Hitachi EX-2500.....	176
Lampiran 24. <i>Scheduled Maintenance</i> untuk Beberapa Komponen Utama.....	177
Lampiran 25. Contoh Perhitungan Proyeksi Ketersediaan (EX-728).....	178
Lampiran 26. Contoh Perhitungan Benefit EX-728.....	179

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Industri pertambangan adalah industri yang mengolah sumberdaya alam dengan mengambil dan memproses bahan tambang untuk menghasilkan berbagai produk akhir yang dibutuhkan oleh manusia. Adapun jenis bahan tambang digolongkan menjadi tiga:

1. Logam, contohnya: emas, timah, tembaga
2. Mineral industri, contohnya: pasir, granit, andesit.
3. Mineral energi, contohnya: batubara, minyak dan gas bumi

Konsumsi batubara dalam beberapa tahun terakhir mengalami kenaikan yang sangat pesat. Bila pada 1990 total konsumsi batubara dunia baru mencapai 3.461 juta ton, pada 2007 meningkat menjadi 5.522 juta ton atau meningkat 59,5% atau rata-rata 3,5% per tahun. Meningkatnya konsumsi batubara dunia tidak terlepas dari meningkat pesatnya permintaan energi dunia dimana batubara merupakan pemasok energi kedua terbesar setelah minyak dengan kontribusi 26%. Meningkatnya peran batubara ini memiliki daya tarik yang sangat besar bagi para investor tak terkecuali di Indonesia. Produsen batubara terbesar dunia tercatat China, AS, India, Australia, Afrika Selatan, Rusia dan Indonesia. Pada tahun 2007, ketujuh negara produsen ini menghasilkan sekitar 90,6% dari total produksi batubara dunia. (Miranti, 2008)

Dengan masuknya Indonesia ke dalam negara-negara penghasil batubara terbesar di dunia, maka iklim investasi dalam hal eksplorasi pertambangan batubara luar biasa besar sehingga sektor pertambangan menjadi salah satu primadona penerimaan negara.

Pertumbuhan industri pertambangan di Indonesia mengalami kemajuan yang cukup pesat sehingga menuntut adanya persaingan di antara industri pertambangan dalam hal memberikan produksi yang sesuai dengan permintaan. Oleh karena itu, produksi ini harus dapat ditunjang dengan adanya manajemen *maintenance* dari peralatan-peralatan berat yang digunakan dimana manajemen

maintenance peralatan berat sangat berpengaruh pada *reliability*, *availability*, dan *maintainability (RAM)* setiap aset. Seiring dengan meningkatnya tuntutan tersebut, maka diharapkan akan diperoleh *maintenance* yang lebih baik dari sebelumnya (*continuous improvement*).

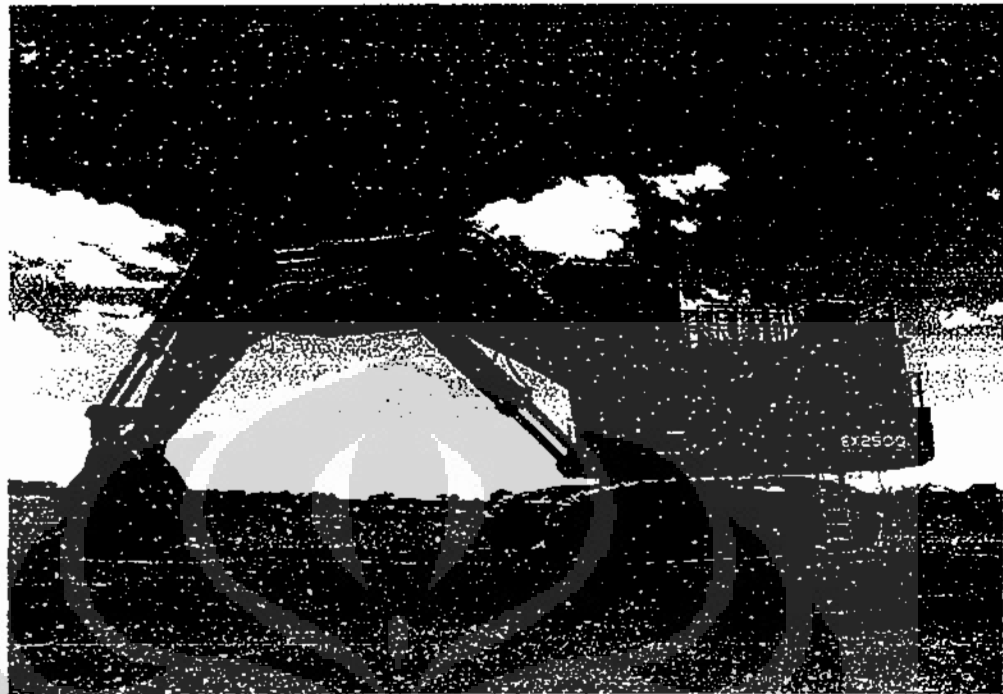
1.2. PERUMUSAN MASALAH

PT. XYZ adalah perusahaan yang bergerak di bidang kontraktor pertambangan di Indonesia sejak tahun 1993. PT. XYZ aktif dalam pengelolaan sejumlah besar pertambangan batubara, emas, batu gamping dan sebagainya. PT. XYZ juga ikut dalam pengerjaan konstruksi bendungan dan pengerjaan jalan serta berbagai proyek penggalian bumi dan transportasi.

Dalam hal sebagai kontraktor pertambangan, PT. XYZ banyak mengoperasikan peralatan-peralatan berat dalam hal eksplorasi bahan tambang. Gambar 1.1 dan gambar 1.2 menunjukkan contoh peralatan berat yang digunakan oleh PT. XYZ.



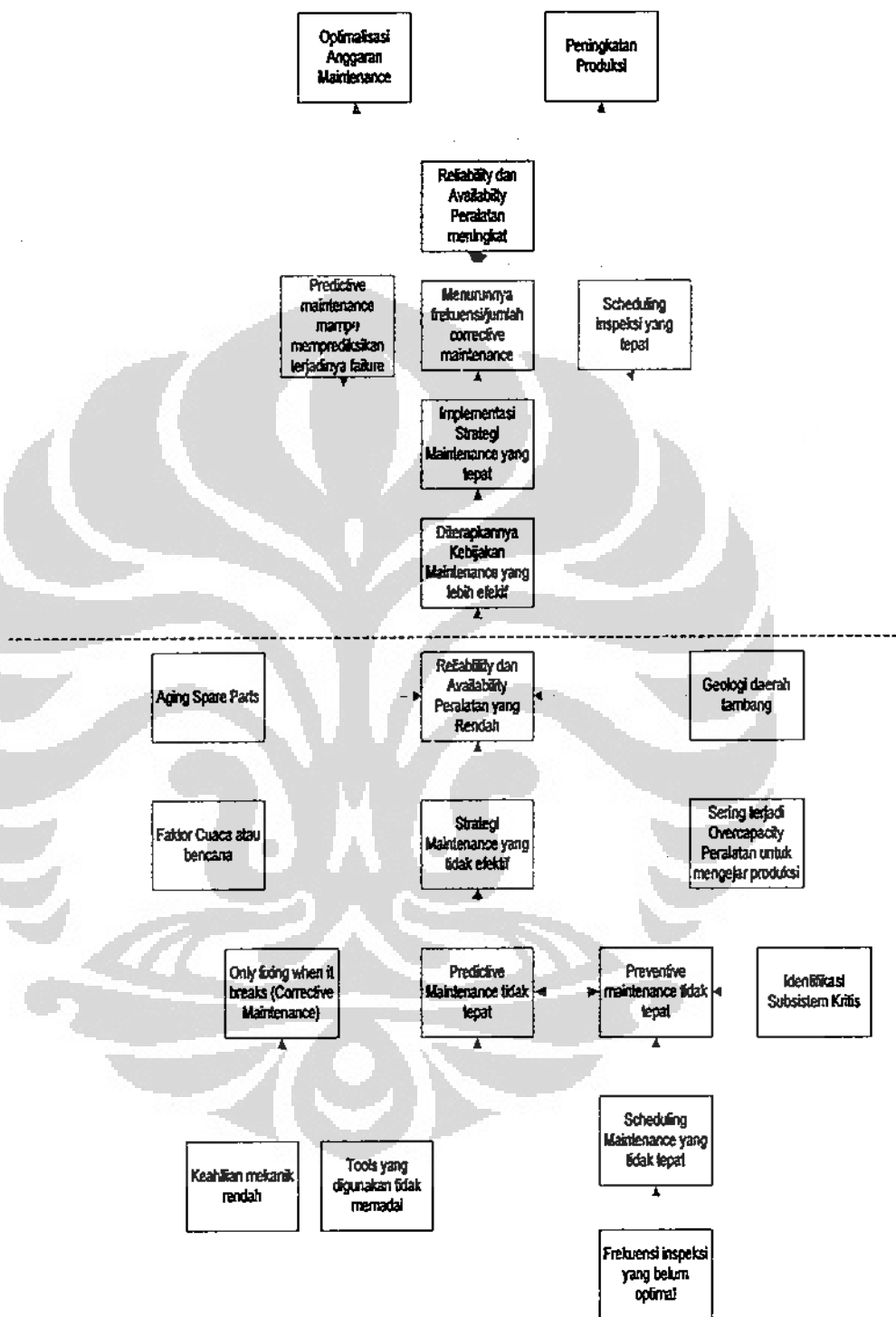
Gambar 1. 1. Dump-Truck, Komatsu 860E-1K



Gambar 1. 2. Excavator, Hitachi EX-2500

Untuk memonitor semua hal *maintenance* atau kegiatan *maintenance* peralatan berat, PT. XYZ telah melakukan implementasi CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) yang dapat memberikan informasi seputar *preventive maintenance*, *corrective maintenance*, *spare parts inventory*, *work order*, dan lain-lain. Akan tetapi, dari penerapan CMMS ini, komponen peralatan berat yang mengalami *failure* masih harus ditekan seminimal mungkin. Komponen peralatan berat yang mengalami *failure* akan menyebabkan terjadinya *breakdown* pada peralatan sehingga dibutuhkan adanya *corrective maintenance action* pada peralatan. Sedangkan, untuk mencegah terjadinya *failure* pada komponen peralatan, maka dapat dilakukan dengan mengadakan inspeksi berkala terhadap peralatan sebagai bagian dari *preventive maintenance*. Pada penelitian ini akan ditentukan inspeksi *scheduled maintenance* peralatan berat yang optimal dalam hal meningkatkan *reliability* dan *availability* peralatan berat dengan menentukan tindakan yang sesuai dan layak pada peralatan dalam konteks operasinya sehingga dapat diperoleh keadaan yang optimal yang berujung pada durasi *maintenance* yang seminimal mungkin dan kapasitas produksi yang baik.

1.3. DIAGRAM KETERKAITAN MASALAH



Gambar 1. 3. Diagram Keterkaitan Masalah

1.4. TUJUAN PENELITIAN

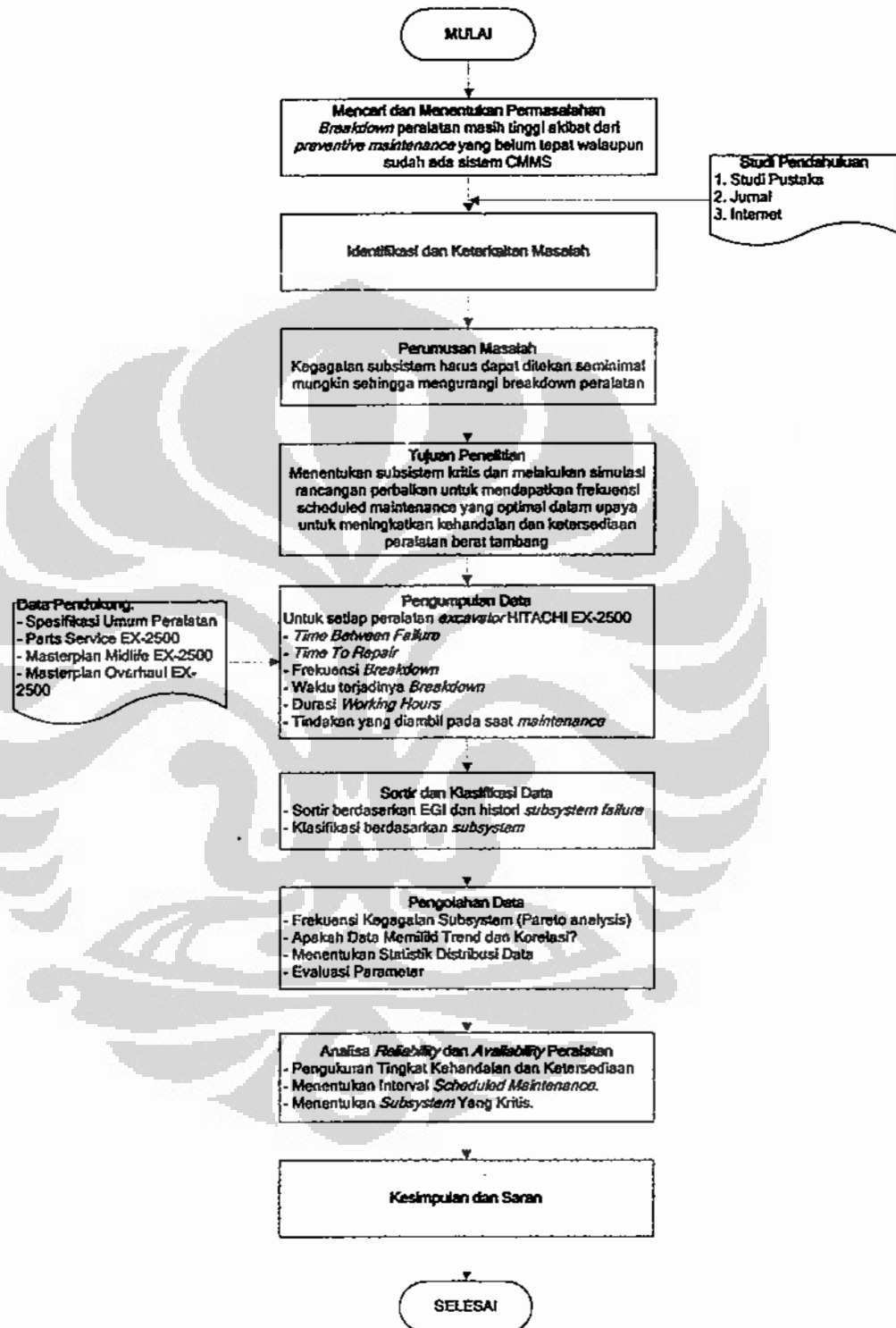
Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi subsistem kritis dan mensimulasikan rancangan perbaikan untuk mendapatkan frekuensi *scheduled maintenance* yang optimal dalam upaya untuk dapat meningkatkan kehandalan dan ketersediaan peralatan berat tambang.

1.5. BATASAN MASALAH

Pembatasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan untuk daerah operasi tambang terbuka di bagian *maintenance*.
2. Peralatan berat yang diteliti adalah satu *fleet excavator* Hitachi EX-2500.
3. Data diambil berdasarkan data yang berasal dari Ellipse dengan periode September 2007 sampai dengan September 2009.
4. Data penunjang berupa data umum *excavator* Hitachi EX-2500.
5. Tidak dilakukan analisa pada komponen biaya dari masing-masing kegiatan *maintenance*.

1.6. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. 4. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Gambar 1.4 merupakan diagram alir metodologi penelitian dimana penelitian bersifat studi kasus yang dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut:

1. Tahap awal

Tahap ini terdiri atas beberapa kegiatan, yaitu:

- a. Mencari dan menentukan permasalahan
- b. Mengidentifikasi dan mencari keterkaitan permasalahan yang akan dicari solusinya
- c. Merumuskan permasalahan
- d. Menentukan tujuan dilakukan penelitian
- e. Menentukan data yang diperlukan untuk penelitian

2. Tahap pengumpulan data

Pada tahap ini dilakukan:

- a. Melakukan diskusi dan konsultasi kepada pihak perusahaan dengan tujuan akuisisi data dan solusi permasalahan.
- b. Melakukan studi kepustakaan dengan tujuan untuk mendapatkan landasan teoritis dengan membaca dan mempelajari teori serta sumber pustaka lain yang berkaitan dengan topik penelitian.
- c. Adapun data yang akan dikumpulkan untuk perhitungan dan analisis berasal dari data sekunder perusahaan.

3. Tahap pengolahan dan analisa data

Tahap ini terdiri atas beberapa kegiatan:

- a. Pengolahan data sekunder dari setiap peralatan berat yang dioperasikan oleh perusahaan.
- b. Mempelajari kebijakan *maintenance* yang telah dilakukan oleh pihak perusahaan.
- c. Menentukan frekuensi kegagalan dari setiap subsistem (*Pareto analysis*)
- d. Mengidentifikasi *trend* dan korelasi data.
- e. Menentukan distribusi statistik dari data.
- f. Pengukuran tingkat kehandalan dan ketersediaan peralatan.

g. Menentukan subsistem kritis yang perlu peningkatan kehandalan dan interval *scheduled maintenance* yang optimal.

4. Tahap akhir, berisikan kesimpulan yang menunjukkan ringkasan dari pembahasan.

1.7. SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tesis ini terdiri atas beberapa bab, dimana tiap-tiap bab terdiri dari beberapa sub-bab. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut: awal penulisan dimulai dengan abstrak yang berisikan mengenai uraian isi dari bahan tesis yang dijelaskan secara singkat dan jelas. Selanjutnya pada bab satu mengetengahkan latar belakang penulisan tesis, perumusan masalah, diagram keterkaitan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika penulisan. Kemudian dilanjutkan dengan bab dua berisikan landasan teori yang digunakan oleh penulis dalam permasalahan yang ada. Selanjutnya pada bab tiga berisikan pengumpulan dan pengolahan data disertai dengan penjelasan mengenai praktik *maintenance* di PT. XYZ. Kemudian dilanjutkan dengan bab empat berisikan hasil dan analisa data dalam menentukan subsistem kritis berdasarkan beberapa parameter/variabel secara matematik dan statistik dan simulasi rancangan perbaikan untuk menentukan frekuensi *scheduled maintenance* yang optimal. Tesis ini diakhiri pada bab lima dengan mengetengahkan kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

LANDASAN TEORI

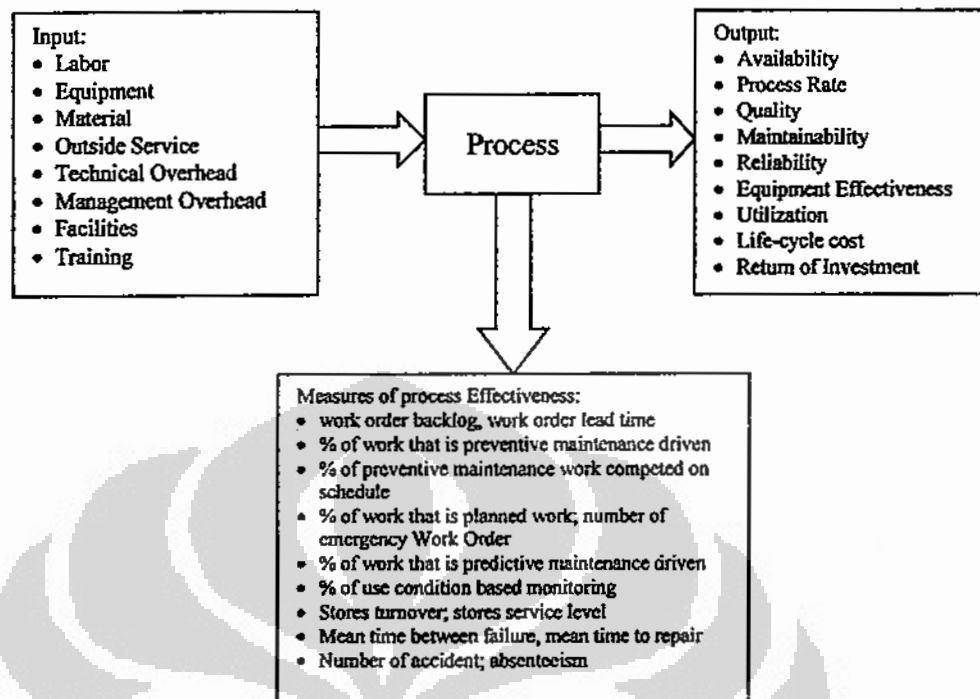
2.1. KONSEP *MAINTENANCE*

Maintenance telah ada sejak dahulu kala dimana manusia telah mulai menciptakan dan menggunakan suatu bentuk fisik, seperti bangunan, kapal, peralatan pertanian, dan lain-lain. Untuk menjaga agar tetap berfungsi dengan baik selama periode waktu yang panjang maka memerlukan layanan *maintenance* yang tepat secara teratur, perbaikan yang cukup dan penggantian suku cadang atau komponen yang mengalami gagal, penyimpanan yang benar ketika tidak digunakan dan lain sebagainya (Blischke dan Murthy, 2003). *Maintenance* adalah kombinasi dari semua tindakan-tindakan secara teknis dan administratif termasuk di dalamnya pengawasan yaitu tindakan yang ditujukan untuk mempertahankan atau mengembalikan suatu item ke keadaan di mana dapat melakukan fungsi yang diperlukan. (IEV 191-07-07, 2005).

Secara umum, *maintenance* dapat didefinisikan sebagai usaha tindakan-tindakan reparasi yang dilakukan untuk menjaga agar kondisi dan performa dari sebuah peralatan selalu seperti kondisi dan performa peralatan tersebut sewaktu masih baru tetapi dengan biaya *maintenance* yang serendah-rendahnya.

Sebagai alat, peralatan besar harus diperlakukan sebagai layaknya sebuah alat produksi, yaitu agar selalu ada dalam kondisi yang prima dan dapat bekerja secara terus-menerus dengan *breakdown* yang seminimum mungkin. Hal-hal tersebut dapat dicapai dengan perawatan atau pemeliharaan yang baik. Perawatan yang dinilai baik adalah perawatan yang menghasilkan *breakdown* yang seminimum mungkin tetapi tentu saja dengan biaya *maintenance* yang serendah mungkin.

Menurut Campbell dan Jardine (2001) *maintenance* adalah sebuah proses bisnis yang digunakan mengubah input menjadi output. Gambar 2.1 menunjukkan tiga unsur utama *maintenance* sebagai proses bisnis, yaitu:



Gambar 2. 1. Maintenance Sebagai Proses Bisnis (Campbell dan Jardine, 2001)

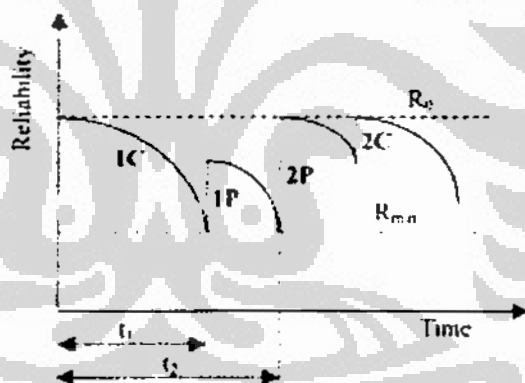
Maintenance diadakan dengan bertujuan untuk:

- a) Agar suatu alat dalam keadaan siaga siap pakai (*High availability* = berdaya guna fisik yang tinggi)
- b) Agar suatu alat selalu dengan kemampuan prima, berdaya guna mekanis yang paling baik (*Best Performance*)
- c) Agar biaya perbaikan alat menjadi lebih hemat (*Reduce Repair Cost*)

Penjadwalan pemeliharaan peralatan dapat menjaga ketersediaan tinggi dari sistem yang diperbaiki, menghindari kerusakan akibat kegagalan komponen, dan mengurangi pemborosan biaya (Zhang et al 2002). Untuk suatu sistem, biasanya kehandalan dan ketersediaan terdegradasi tergantung pada peningkatan waktu layanan pada sistem. Untuk mempertahankan kinerja yang diharapkan dari sebuah sistem, melakukan pemeliharaan selama siklus hidup mutlak diperlukan. Perawatan biasanya diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama, *Corrective Maintenance* (CM) dan *Preventive Maintenance* (PM). CM merupakan tindakan

yang dilakukan setelah sistem rusak. PM merupakan tindakan yang diambil ketika sistem sedang beroperasi. Keuntungan dari PM adalah bahwa sistem selalu dapat dijaga dalam kondisi siap saat dibutuhkan dan kerugian serius akibat kegagalan yang tak terprediksi dapat dihindari (Tsai et al, 2001).

Menurut Lie dan Chun (1986) dan Tsai et.al (2001), kegiatan CM dapat dibagi menjadi perbaikan minimal (1C) dan perbaikan penggantian (2C). Pemeliharaan-1C mengembalikan sistem ke tingkat kegagalan yang dimiliki ketika gagal dan tidak ada perubahan pada waktu sistem. Pemeliharaan-2C memperbaharui waktu sistem kembali ke nol dan kurva kehandalannya sama dengan sistem baru. Kegiatan PM juga dikelompokkan menjadi pemeliharaan preventif sederhana (1P) dan pencegahan penggantian (2P). Pemeliharaan-1P mengganti kehandalan sistem untuk waktu baru. Pemeliharaan-2P melibatkan perbaikan dengan penggantian yang mengembalikan kurva kehandalan ke bentuk yang baru, tetapi hanya terjadi pada keadaan sistem. Gambar 2.2 menunjukkan perilaku kehandalan dari sebuah sistem dalam kaitannya dengan berbagai jenis perawatan.



Gambar 2. 2. Perubahan Kehandalan Sistem untuk Beberapa Tipe Maintenance (Tasi et al, 2001)

Strategi yang efisien harus bertujuan untuk menjamin tingkat performa dan ketersediaan sistem sementara memungkinkan untuk pengurangan pengeluaran sumber daya (Borgonovo et al, 2000).

Aktivitas *maintenance* harus sesuai dengan strategi *maintenance*, yang dapat dibagi menjadi *Design-out Maintenance*, *Preventive Maintenance* dan *Corrective Maintenance*. (Javad Barabady, 2005).

2.1.1. *Design-out Maintenance*

Design-out maintenance bertujuan mengubah desain produk atau sistem dalam rangka untuk menghilangkan atau mengurangi kebutuhan akan pemeliharaan selama siklus kehidupan. Namun, *design-out maintenance* bukanlah strategi yang tepat untuk peralatan pertambangan dengan infrastruktur asset yang besar. (Javad Barabady, 2005)

2.1.2. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance telah diterima secara umum dan dianggap sebagai strategi yang efektif untuk mengurangi jumlah kegagalan sistem yang dapat menurunkan biaya pemeliharaan secara keseluruhan (Okogbaa dan Peng, 1996). Secara umum *preventive maintenance* adalah perawatan yang dilakukan dengan tujuan untuk mencegah kemungkinan munculnya gangguan/kerusakan/kegagalan pada sistem. *Preventive Maintenance* dilakukan untuk menghindari terjadinya “efek mahal” akibat kerusakan peralatan (Silver dan Fiechter, 1995). Tujuan utama dari *preventive maintenance* adalah untuk mencegah kegagalan peralatan sebelum benar-benar terjadi. *Preventive maintenance* dirancang untuk menjaga dan meningkatkan kehandalan peralatan dengan mengganti komponen yang dipakai sebelum mereka benar-benar gagal.

Menurut Javad Barabady (2005), keuntungan jangka panjang dari *preventive maintenance* meliputi:

- a) peningkatan kehandalan sistem;
- b) penurunan biaya penggantian;
- c) *downtime system* yang berkurang,
- d) pengelolaan persediaan suku cadang yang lebih baik.

Menurut Javad Barabady (2005), *preventive maintenance* merupakan pilihan yang tepat jika kondisi berikut ini terpenuhi:

- a) komponen tersebut memiliki tingkat kegagalan yang menunjukkan peningkatan terjadinya *wear-out*;
- b) biaya keseluruhan dari pemeliharaan preventif tindakan harus kurang dari keseluruhan biaya tindakan korektif.

Preventive maintenance dapat dibagi menjadi *time-based preventive maintenance* dan *condition-based preventive maintenance*. *Condition-based preventive maintenance* dapat disebut juga *predictive maintenance* diterapkan pada item di mana kegagalan dapat terjadi secara tiba-tiba. Hal ini diperlukan untuk menyajikan periode inspeksi yang optimal sebagai bentuk kebijakan *preventive maintenance* untuk meningkatkan kehandalan atau MTBF penggunaan fasilitas yang berdasarkan pada informasi statistik dari kehandalan. Pemantauan pada kondisi memiliki potensi untuk mengidentifikasi masalah sebelum kegagalan terjadi. Deteksi dini pada terjadinya degradasi pada peralatan akan memungkinkan perbaikan yang terjadwal, sehingga mengurangi biaya dan gangguan pada saat produksi.

2.1.3. *Corrective Maintenance*

Corrective maintenance didefinisikan sebagai pemeliharaan dilakukan setelah terjadi kegagalan dan dimaksudkan untuk menempatkan item tersebut ke dalam suatu keadaan di mana dapat melakukan fungsi yang semestinya. (IEV 191-07-08, 2005)

2.2. KONSEP RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY

Sejarah bidang kehandalan telah dimulai sekitar tahun 1930-an dimana konsep probabilitas diterapkan dalam masalah yang berkaitan dengan pembangkit tenaga listrik. Akan tetapi, konsep kehandalan sebenarnya adalah ketika perang dunia kedua dimana militer Jerman menerapkan konsep ini untuk meningkatkan kehandalan dari roket V1 dan V2. Pada saat sekarang ini, konsep ilmu kehandalan adalah disiplin ilmu yang telah dan terus berkembang dengan baik ke dalam beberapa cabang kekhususan. (B.S. Dhillon, 2008)

Sedangkan sejarah kemampu-rawatan dimulai pada tahun 1901 ketika *United Stated Army Signal Corps* melakukan kontrak kerjasama dengan perusahaan pesawat terbang *Wright Brother*. Pada dokumen kerjasama tersebut, dicantumkan dengan jelas bahwa pesawat terbang seharusnya “mudah dalam pengoperasian dan perawatan”. Kemudian pada tahun 1960, diterbitkan buku komersial pertama yang

membahas tentang kemampu-rawatan yang berjudul “*Electronic Maintainability*”. (B.S. Dhillon, 2008)

Pada sekitar akhir 1980-an atau awal 1990-an, produsen besar seperti *Ford Motor Company* dan *Intel Corp.*, mengidentifikasi RAM pada peralatan produksi dan mendapati bahwa program ini sangat signifikan terhadap penghematan biaya sehingga dimasukkan ke dalam strategi bisnis perusahaan (Javad Barabady, 2005). *Ford Motor Company* merupakan perusahaan industri manufaktur pertama yang mengeluarkan suatu bentuk pedoman RAM untuk peralatan pada industri manufaktur pada tahun 1990. (Brall et al, 2001)

Beberapa alasan dilakukannya program R & M adalah:

- Di masa depan, perusahaan yang akan maju dalam bisnis adalah perusahaan yang tahu dan mampu dalam mengendalikan kehandalan produknya (Kececioglu, 1991).
- Untuk perusahaan yang pada saat ini sukses dalam kompetitif yang tinggi dan lingkungan teknologi yang kompleks, sangatlah penting untuk mengetahui kehandalan, kemampu-rawatan, dan ketersediaan produk dan mampu mengendalikannya sehingga dapat menghasilkan produk pada tingkatan yang optimal. Tingkat kehandalan yang optimal menghasilkan biaya *life-cycle* yang minim bagi pengguna serta meminimalkan biaya produk dari produsen tanpa mengorbankan kehandalan produk dan kualitasnya (Kececioglu, 1991).
- Dalam kehidupan yang kompleks saat ini dimana hampir semuanya dilakukan dengan mesin, peralatan otomatis, robot, dan produk lainnya baik dalam maupun luar ruangan, maka akan sangat bergantung pada keberhasilan pengoperasian dan kemampu-rawatan produk tersebut. Pada tahap ini rekayasa pada kehandalan diperlukan untuk merancang, mengembangkan, memproduksi, dan mengirimkan produk dan suku cadang yang diperlukan bagi para pengguna sedemikian rupa sehingga kehandalan yang tinggi sebenarnya dapat ditunjukkan oleh semua peralatan dan produk selama masa *life-cycle* dengan tingkat keyakinan tinggi dan biaya yang bersaing (Kececioglu, 1991).

2.2.1. Keandalan (*Reliability*)

Menurut Leitch (1995) keandalan suatu produk adalah ukuran dari kemampuan produk untuk melaksanakan fungsinya, yang jika diperlukan, untuk waktu tertentu, dalam lingkungan tertentu. Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu sistem (komponen) akan berfungsi selama beberapa periode waktu t (Ebeling, 1997).

Fungsi umum keandalan didefinisikan dengan:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2.1)$$

$$R(t) = e^{-(\lambda \cdot t)} = e^{-(t/MTBF)} \quad (2.2)$$

$R(t)$ = keandalan pada waktu t ,

$\lambda(t)$ = *hazard rate* atau *time-dependent failure rate*

MTBF = *Mean time between failure*

Persamaan 2.1 dan 2.2 merupakan bentuk umum dari fungsi keandalan. Bentuk ini digunakan untuk menentukan keandalan dari suatu item dimana fungsi kegagalan ditentukan dengan distribusi statistik.

Untuk fungsi *hazard rate* dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

atau

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.4)$$

dimana $f(t)$ adalah kegagalan (atau probabilitas) dari fungsi densitas.

Mean time to failure dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.5)$$

atau

$$MTTF = \lim_{s \rightarrow 0} R(s) \quad (2.6)$$

atau

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (2.7)$$

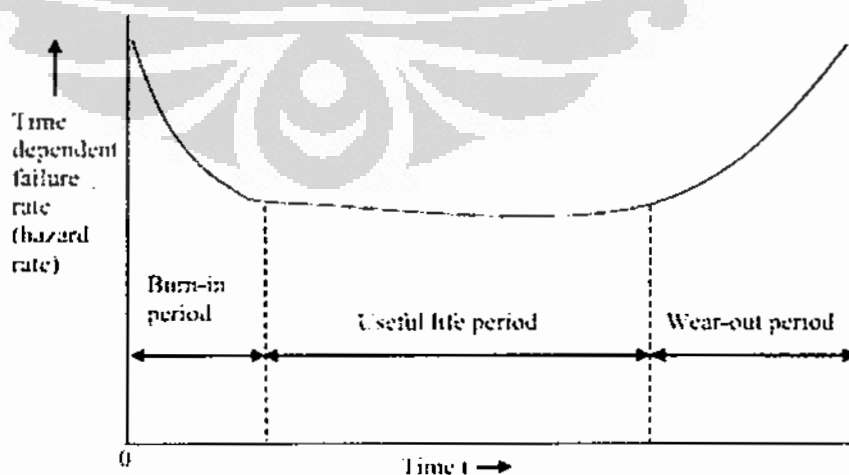
dimana

MTTF adalah *mean time to failure*

s adalah variable dari transformasi Laplace

R(s) adalah fungsi kehandalan dari transformasi Laplace, R(t).

Laju kegagalan pada sistem tinggi di awal periode operasi, kemudian menurun ke nilai konstan dan pada periode akhir meningkat lagi. Kurva umum untuk menggambarkan tingkat kegagalan komponen dari waktu ke waktu adalah *bath-up curve*. Area sebelah kiri menggambarkan tingkat kegagalan relatif tinggi pada awal siklus hidup peralatan. Masalah pada awal siklus peralatan sering disebabkan oleh kegagalan dalam desain, instalasi yang tidak benar, pengoperasian oleh operator yang kurang terlatih, dan lain-lain. Periode ini sering disebut sebagai fase *burn-in*. Tahap berikutnya dari siklus ini disebut fase *useful life* dari sistem yang sering ditandai oleh tingkat kegagalan yang konstan. Tahap ketiga dari siklus sistem ini dicirikan oleh fase *wear out* dimana tingkat kegagalan biasanya meningkat dan pada gilirannya akan ada peningkatan kebutuhan servis dan pemeliharaan.



Gambar 2. 3. Kurva *Bath-up* pada Suatu Sistem

Secara umum, barang-barang hasil rekayasa memperlihatkan pola *wear-out/keausan* yang pasti, yaitu dimana kebanyakan gagal sekitar rata-rata umur operasi meskipun beberapa gagal cepat dan beberapa gagal kemudian. Jadi ketika menjalankan sebuah sistem, pemeliharaan dan sumber daya yang lebih diperlukan pada periode *burn-in* dan *wear-out*. Sedangkan pada periode *useful-life* relatif kurang dalam pemeliharaan dan lebih sedikit sumber daya yang diperlukan. (Kumar, 2004).

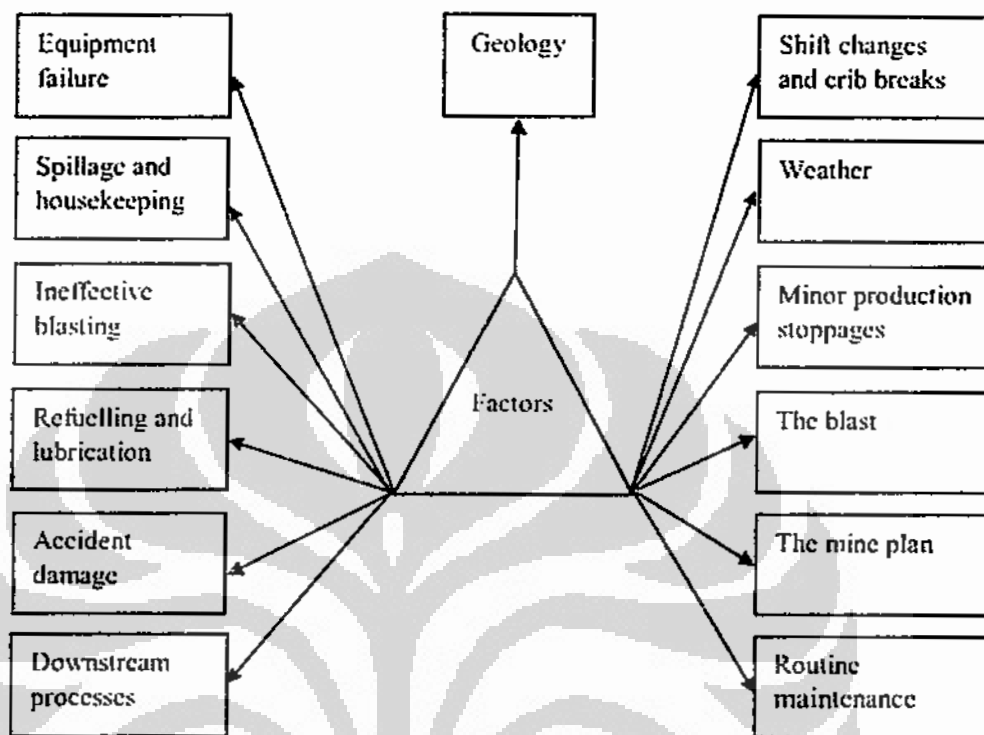
2.2.1.1. Keandalan Peralatan Tambang

Pada masa sekarang ini, peralatan tambang menjadi sangat kompleks dan canggih yang menyebabkan biaya pemeliharaan menjadi sangat tinggi. Oleh karenanya, perusahaan tambang menginginkan keandalan peralatan yang tinggi untuk menghemat anggaran pemeliharaan akan tetapi tetap dapat memenuhi target produksi yang diinginkan. Keandalan peralatan tambang merupakan indikator kinerja yang baik secara keseluruhan dari kondisi peralatan yang dapat didefinisikan sebagai probabilitas bahwa sebuah peralatan akan menjalankan fungsinya dengan memuaskan untuk jangka waktu yang diinginkan bila peralatan tersebut digunakan sesuai dengan syarat-syarat tertentu. (B.S. Dhillon, 2008)

Ada beberapa alasan dalam meningkatkan keandalan peralatan tambang, diantaranya adalah: (B.S. Dhillon, 2008)

- Untuk memaksimalkan profit
- Untuk mengurangi biaya karena keandalan yang rendah.
- Untuk mengurangi kinerja servis peralatan tambang dalam cara yang tidak direncanakan karena mendadak.
- Untuk menyediakan akurasi prediksi jangka pendek yang lebih baik terhadap jam operasi peralatan
- Untuk menghadapi tantangan dalam persaingan global
- Untuk mengambil keuntungan dan pelajaran (*lesson learned*) yang diperoleh dari sektor industri lainnya seperti industri penerbangan, pertahanan, dan tenaga nuklir.

Gambar 2.4 adalah beberapa faktor yang secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi dapat mempengaruhi kehandalan sistem peralatan tambang



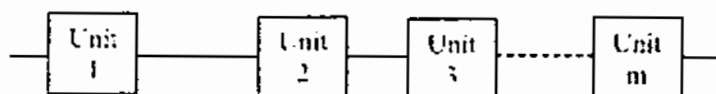
Gambar 2. 4. Faktor yang Mempengaruhi Kehandalan Sistem Peralatan Tambang (B.S. Dhillon, 2008)

2.2.1.2. Konfigurasi Kehandalan

Suatu sistem dapat membentuk berbagai jenis jaringan atau konfigurasi. Oleh karena itu, untuk analisa kehandalan didasarkan atas jenis jaringan atau konfigurasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

2.2.1.2.1. Konfigurasi Seri

Gambar 2.5 menunjukkan *block diagram* dari suatu konfigurasi seri.



Gambar 2. 5. Konfigurasi Seri dengan m Unit.

Setiap blok pada diagram tersebut merupakan sebuah komponen atau unit dari suatu sistem. Pada konfigurasi seri ini, semua unit harus dapat beroperasi dengan normal untuk mendapatkan sistem yang beroperasi dengan sukses.

Jika X_j merupakan kejadian sukses untuk unit ke- j , maka kehandalan dari konfigurasi seri dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$R_s = P(X_1 X_2 X_3 \dots X_m) \quad (2.8)$$

dimana

R_s adalah konfigurasi kehandalan secara seri
 $P(X_1 X_2 X_3 \dots X_m)$ adalah kemunculan probabilitas dari kejadian sukses $X_1 X_2 X_3 \dots$ dan X_m

Sedangkan untuk unit yang tidak saling berkaitan persamaan 2.8 dapat menjadi:

$$R_s = P(X_1)P(X_2)P(X_3)\dots P(X_m) \quad (2.9)$$

dimana

$P(X_j)$ adalah probabilitas kemunculan dari kejadian sukses X_j , untuk $j=1,2,3,\dots,m$.

Jika $R_j=P(X_j)$ untuk $j=1,2,3,\dots,m$, maka persamaan 2.9 dapat menjadi:

$$R_s = \prod_{j=1}^m R_j \quad (2.10)$$

dimana R_j adalah kehandalan dari unit j , untuk $j=1,2,3,\dots,m$

Untuk *failure rate* konstan, λ_j , dari unit j , menggunakan persamaan 2.1, kehandalan unit j dapat ditentukan menjadi;

$$R_j(t) = e^{-\int_0^t \lambda_j dt} = e^{-\lambda_j t} \quad (2.11)$$

dimana $R_j(t)$ adalah kehandalan dari unit j untuk waktu t .

Dengan melakukan substitusi 2.10 dan 2.11, didapatkan:

$$R_s(t) = e^{-\sum_{j=1}^m \lambda_j t} \quad (2.12)$$

dimana $R_s(t)$ adalah kehandalan dari sistem seri untuk waktu t

Dengan memasukkan persamaan 2.12 ke dalam 2.5, diperoleh:

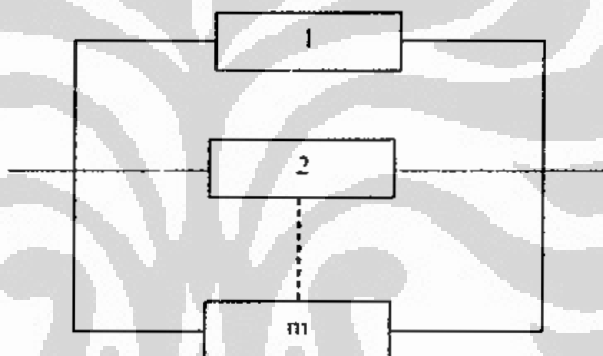
$$MTTF_s = \int_0^{\infty} e^{-\sum_{j=1}^m \lambda_j t} dt = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \lambda_j} \quad (2.13)$$

dimana $MTTF_s$ adalah rata-rata banyak kegagalan dalam konfigurasi seri.

2.2.1.2.2. Konfigurasi Pararel

Pada konfigurasi pararel, semua m unit harus aktif dan/atau salah satu dari unit tersebut harus beroperasi secara normal sehingga system dapat beroperasi dengan sukses.

Gambar 2.6 menunjukkan *block diagram* dari m unit dalam konfigurasi system berbentuk pararel.



Gambar 2. 6. Konfigurasi Pararel dengan m Unit

Jika \bar{X}_j merupakan kejadian ketidakberhasilan dari unit ke- j , maka probabilitas kegagalan dari suatu sistem dengan konfigurasi pararel adalah:

$$F_p = P(\bar{X}_1 \bar{X}_2 \dots \bar{X}_m) \quad (2.14)$$

dimana

F_p adalah kehandalan dengan konfigurasi pararel

$P(\bar{X}_1 \bar{X}_2 \dots \bar{X}_m)$ adalah probabilitas kemunculan terjadinya kegagalan

$\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m$

Untuk unit yang independen, persamaan 2.14 menjadi:

$$F_p = P(\bar{X}_1)P(\bar{X}_2)\dots P(\bar{X}_m) \quad (2.15)$$

dimana $P(\bar{X}_j)$ adalah probabilitas munculnya terjadinya kegagalan \bar{X}_j ; untuk $j=1,2,3,\dots,m$.

Jika pada persamaan 2.14, $F_j=P(\bar{X}_j)$ untuk $j=1,2,\dots,m$, maka dapat ditulis:

$$F_p = \prod_{j=1}^m F_j \quad (2.16)$$

dimana F_j adalah probabilitas kegagalan dari unit j ; untuk $j=1,2,\dots,m$

Subtraksi persamaan 2.16, diperoleh:

$$R_p = 1 - \prod_{j=1}^m F_j \quad (2.17)$$

dimana R_p kehandalan dari konfigurasi paralel.

Untuk keadaan *failure rate* konstan λ_j dari unit j , diperoleh:

$$R_p(t) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - e^{-\lambda_j t}) \quad (2.18)$$

dimana $R_p(t)$ adalah kehandalan konfigurasi paralel untuk waktu t .

Untuk unit yang identik/sama, dengan persamaan 2.5 dan 2.18, diperoleh:

$$MTTF_p = \int_0^{\infty} [1 - (1 - e^{-\lambda t})^m] dt = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^m \frac{1}{j} \quad (2.19)$$

dimana

λ adalah unit *constant failure rate*

$MTTF_p$ adalah *mean time to failure* untuk konfigurasi paralel

2.2.1.2.3. Konfigurasi *k-out-of-m*

Pada konfigurasi ini, sejumlah unit m dalam keadaan aktif dan paling sedikit unit k harus beroperasi secara normal sehingga system dapat berjalan dengan sukses.

Dengan menggunakan distribusi binomial, untuk unit yang identik dan independen, maka dapat didefinisikan sebagai:

$$R_{k/m} = \sum_{j=k}^m \binom{m}{j} R^j (1-R)^{m-j} \quad (2.20)$$

$$\binom{m}{j} = \frac{m!}{(m-j)! j!} \quad (2.21)$$

dimana

$R_{k/m}$ adalah kehandalan dengan konfigurasi *k-out-of-m*

R adalah kehandalan unit

Untuk kondisi konstan *failure rate*, akan diperoleh:

$$R_{k/m}(t) = \sum_{j=k}^m \binom{m}{j} e^{-j\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{m-j} \quad (2.22)$$

dimana

$R_{k/m}(t)$ adalah kehandalan dengan konfigurasi *k-out-of-m* pada waktu t

λ adalah unit *constant failure rate*

Dengan melakukan substitusi persamaan 2.5 dan 2.22 didapatkan:

$$MTTF_{k/m} = \int_0^{\infty} \left[\sum_{j=k}^m \binom{m}{j} e^{-j\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{m-j} \right] dt = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=k}^m \frac{1}{j} \quad (2.23)$$

dimana

$MTTF_{k/m}$ adalah *mean time to failure* untuk konfigurasi *k-out-of-m*

2.2.1.2.4. Konfigurasi *Standby System*

Konfigurasi ini terdiri atas $(n+1)$ unit dan hanya ada satu unit boleh beroperasi sedangkan n unit lainnya dalam kondisi *standby*. Bila unit yang beroperasi mengalami kegagalan, maka mekanisme saklar otomatis mendeteksi kegagalan tersebut dan kemudian mengoperasikan salah satu dari n unit yang *standby*. Sistem dikatakan gagal bila semua n *standby* unit gagal.

Untuk unit yang identik dan independen, maka kehandalan dari *standby system* adalah:

$$R_{sb}(t) = \sum_{j=0}^n \left[\left[\int_{j=0}^t \lambda(t) dt \right]^j e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \right] / j! \quad (2.24)$$

dimana

$R_{sb}(t)$ adalah kehandalan *standby system* pada waktu t

$\lambda(t)$ adalah unit *time dependent failure rate*

n adalah jumlah unit *standby*

Untuk *failure rate* konstan, maka:

$$R_{sb}(t) = \sum_{j=0}^n \left[(\lambda t)^j e^{-\lambda t} / j! \right] / j! \quad (2.25)$$

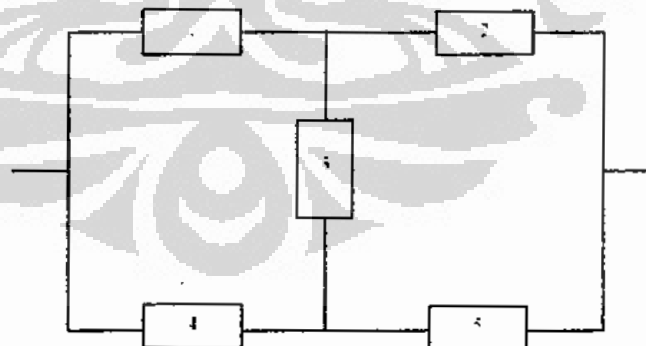
Substitusikan persamaan 2.25 ke persamaan 2.5, diperoleh:

$$MTTF_{sb} = \int_0^{\infty} \left[\sum_{j=0}^n (\lambda t)^j e^{-\lambda t} / j! \right] dt = \frac{n+1}{\lambda} \quad (2.26)$$

dimana $MTTF_{sb}$ adalah *mean time to failure* untuk *standby system*.

2.2.1.2.5. Konfigurasi Jembatan (Bridge Configuration)

Gambar 2.7 menunjukkan *block diagram* dari suatu konfigurasi jembatan.



Gambar 2. 7. Konfigurasi Jembatan (Bridge Configuration)

Untuk unit-unit yang saling independen, maka konfigurasi jembatan dapat didefinisikan:

$$R_b = 2R_1R_2R_3R_4R_5 + R_2R_3R_4 + R_1R_3R_5 + R_1R_4 + R_2R_5 - R_2R_3R_4R_5 - R_1R_2R_3R_4 - R_5R_1R_2R_3 - R_1R_3R_4R_5 - R_1R_2R_4R_5 \quad (2.27)$$

dimana

R_b adalah kehandalan konfigurasi jembatan

R_j adalah kehandalan dari unit j ; untuk $j=1,2,3,\dots,5$

Untuk unit yang identik dan *failure rate* dari unit yang konstan, maka:

$$R_b(t) = 2e^{-5\lambda t} - 5e^{-4\lambda t} + 2e^{-3\lambda t} + 2e^{-2\lambda t} \quad (2.28)$$

dimana

$R_b(t)$ adalah kehandalan dari konfigurasi jembatan pada waktu t

λ adalah unit *constant failure rate*

Substitusikan persamaan 2.28 ke dalam persamaan 2.5 adalah:

$$MTTF_b = \int_0^{\infty} [2e^{-5\lambda t} - 5e^{-4\lambda t} + 2e^{-3\lambda t} + 2e^{-2\lambda t}] dt = \frac{49}{60\lambda} \quad (2.29)$$

dimana $MTTF_b$ adalah *mean time to failure* dari konfigurasi jembatan (*bridge*)

2.2.2. Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan adalah probabilitas bahwa suatu sistem atau komponen yang melaksanakan fungsi yang diperlukan pada suatu titik waktu tertentu atau selama periode waktu dinyatakan bila dioperasikan dan dipelihara dengan cara yang ditentukan (Ebeling, 1997).

Ada beberapa bentuk *steady-state* yang berbeda pada ketersediaan tergantung pada definisi *uptime* dan *downtime*. Beberapa jenis ketersediaan adalah sebagai berikut:

2.2.2.1. *Inherent availability*

Merupakan probabilitas bahwa suatu sistem atau peralatan ketika digunakan dalam kondisi yang dinyatakan merupakan suatu dukungan lingkungan yang ideal (contoh: tersedia alat-alat, suku cadang, pemeliharaan personil, dan lain-lain),

yang akan beroperasi secara memuaskan pada setiap titik dalam waktu yang dibutuhkan (Blanchard dan Fabryky, 1998). *Inherent availability* dapat dinyatakan sebagai persamaan 2.30.

$$A_i = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.30)$$

Dimana MTBF adalah *mean time between failure* dan MTTR adalah *mean time to repair*.

Inherent availability hanya berdasarkan distribusi kegagalan dan distribusi waktu perbaikan. Oleh karena itu, *inherent availability* dapat dilihat sebagai parameter desain peralatan dan *trade-off* antara kehandalan dan kemampu-rawatan. (Ebeling, 1997).

2.2.2.2. *Achived availability*

Merupakan probabilitas bahwa suatu sistem atau peralatan, bila digunakan dalam kondisi dinyatakan merupakan dukungan lingkungan yang ideal (seperti: tersedia alat-alat, suku cadang, personalia, dll), yang akan beroperasi secara memuaskan pada setiap titik waktu (Blanchard dan Fabryky, 1998). *Achived availability* dapat didefinisikan oleh persamaan 2.31.

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}} \quad (2.31)$$

dimana MTBM adalah *mean time between maintenance* yaitu *unscheduled* dan *preventive maintenance* dan \bar{M} adalah *mean active maintenance time*.

2.2.2.3. *Operational availability*

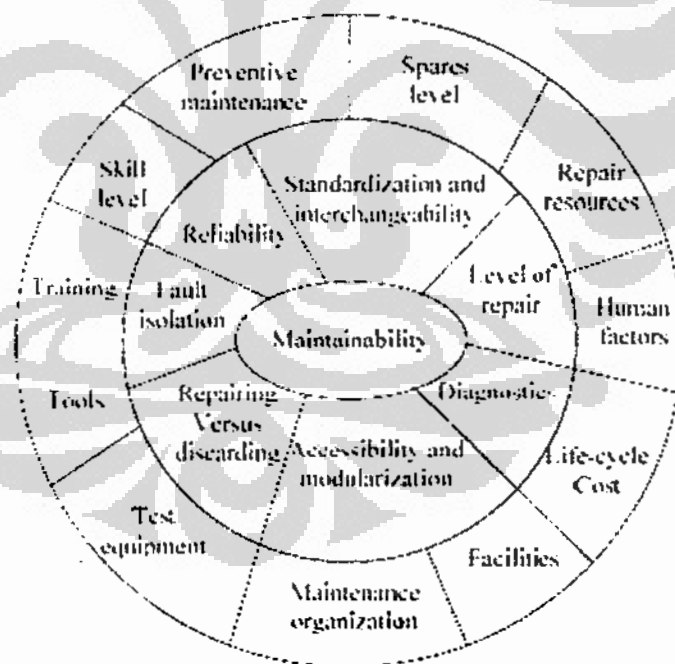
Merupakan probabilitas bahwa suatu sistem atau peralatan, ketika digunakan dengan kondisi yang dinyatakan di lingkungan operasional yang sebenarnya, akan beroperasi dengan memuaskan ketika digunakan (Blanchard dan Fabryky, 1998). Ketersediaan operasional didefinisikan oleh persamaan 2.32.

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (2.32)$$

dimana MDT adalah *mean maintenance down time*.

2.2.3. Kemampu-rawatan (*Maintainability*)

Secara umum, kemampu-rawatan adalah usaha/kemampuan untuk mendapatkan kembali kondisi operasional suatu peralatan sesegera mungkin ketika peralatan itu gagal. Kemampu-rawatan adalah probabilitas bahwa suatu tindakan pemeliharaan aktif untuk suatu item di bawah suatu kondisi penggunaan yang diberikan dapat dilakukan dalam interval waktu yang dinyatakan, ketika pemeliharaan dilakukan di bawah kondisi yang dinyatakan dan menggunakan prosedur dan sumber daya yang dinyatakan (IEV191-13-01, 2005). Tujuan kemampu-rawatan adalah untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan serta untuk mengurangi biaya pemeliharaan peralatan, bila pemeliharaan dilakukan di bawah kondisi yang diberikan dan menggunakan prosedur dan sumber daya yang dinyatakan. Gambar 2.8 menunjukkan sifat-sifat dalam kemampu-rawatan. Lingkaran bagian dalam adalah sifat-sifat kemampu-rawatan yang *inherent*, sedangkan lingkaran bagian luar adalah sifat-sifat yang mempengaruhi penentuan total *downtime* sistem.



Gambar 2. 8. Sifat Kemampu-rawatan (Ebeling, 1997)

2.3. DISTRIBUSI PROBABILITAS UNTUK KEHANDALAN DAN KETERSEDIAAN PERALATAN TAMBANG

Adapun beberapa distribusi probabilitas yang berguna dalam beberapa aplikasi di kehandalan dan ketersediaan peralatan tambang adalah sebagai berikut:

2.3.1. Distribusi Binomial/Distribusi Bernoulli

Distribusi ini digunakan pada kondisi dimana hanya satu probabilitas munculnya kejadian (misal: kegagalan) dalam sejumlah percobaan atau dengan kata lain, dari setiap percobaan memiliki dua kemungkinan hasil (sukses atau gagal), tetapi probabilitas dari setiap percobaan selalu tetap.

Adapun fungsi densitas probabilitas binomial, $f(x)$ dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{m!}{x!(m-x)!} p^x q^{m-x} \quad (2.33)$$

untuk $x=0, 1, 2, 3, \dots, m$

dimana

p adalah percobaan tunggal munculnya kejadian (sukses)

q adalah percobaan tunggal tidak munculnya kejadian (gagal)

x adalah banyaknya kejadian tidak muncul (gagal) dalam m percobaan

Untuk fungsi distribusi kumulatif adalah

$$F(x) = \sum_{i=0}^x \frac{m!}{i!(m-i)!} p^i q^{m-i} \quad (2.34)$$

dimana

$F(x)$ adalah probabilitas x

2.3.2. Distribusi Eksponensial

Fungsi densitas probabilitas eksponensial adalah:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.35)$$

untuk $\lambda > 0, t \geq 0$

dimana

$f(t)$ adalah fungsi densitas kemungkinan

t adalah waktu

λ adalah parameter distribusi atau konstanta tingkat kegagalan (*constant failure rate*)

Sedangkan fungsi distribusi kumulatif adalah

$$F(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.36)$$

2.3.3. Distribusi Rayleigh

Fungsi densitas probabilitas Rayleigh adalah:

$$f(t) = \frac{2}{\alpha^2} t e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^2} \quad (2.37)$$

untuk $\alpha > 0, t \geq 0$

dimana α adalah parameter distribusi.

Untuk fungsi distribusi kumulatif didefinisikan:

$$F(t) = \int_0^t \frac{2}{\alpha^2} x e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^2} dx = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^2} \quad (2.38)$$

2.3.4. Distribusi Weibull

Fungsi densitas probabilitas Weibull adalah:

$$f(t) = \frac{\theta}{\alpha^\theta} t^{\theta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\theta} \quad (2.39)$$

untuk $t \geq 0, \alpha > 0, \theta > 0$

dimana

θ adalah bentuk distribusi (*shape*)

α adalah skala distribusi (*scale*)

Sedangkan persamaan fungsi distribusi kumulatif:

$$F(t) = \int_0^t \frac{\theta}{\alpha^\theta} x^{\theta-1} e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\theta} dx = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\theta} \quad (2.40)$$

Perlu diperhatikan bahwa distribusi eksponensial dan distribusi Rayleigh adalah kasus khusus dari distribusi Weibull untuk $\theta=1$ dan $\theta=2$.

2.3.5. Distribusi Normal/Distribusi Gaussian

Fungsi densitas distribusi normal adalah:

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

untuk $-\infty < t < +\infty$

dimana

μ adalah rata-rata distribusi

σ adalah standar deviasi

Sedangkan fungsi distribusi kumulatif adalah:

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

2.3.6. Distribusi Lognormal

Fungsi densitas distribusi Lognormal adalah:

$$f(t) = \frac{1}{t\theta\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - m)^2}{2\theta^2}\right] \quad (2.43)$$

untuk $t \geq 0$

dimana m dan θ adalah parameter distribusi.

Untuk fungsi distribusi kumulatif didefinisikan sebagai:

$$F(t) = \frac{1}{\theta\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\ln x} \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{(\ln x - m)^2}{2\theta^2}\right] dx \quad (2.44)$$

2.4. KONSEP IMPORTANCE MEASURE

Birnbaum pada tahun 1969 adalah yang pertama kali memperkenalkan konsep *importance measure* dan secara luas telah digunakan yang dikenal sebagai *Birnbaum's component importance* (Frickes dan Triredi, 2003). Konsep

importance measure berasal dari persepsi bahwa dalam susunan teratur dari komponen-komponen dalam suatu sistem, beberapa komponen lebih utama dibandingkan lainnya yang dapat memberikan karakteristik sistem tertentu. Menurut Besson dan Andrews (2003), analisa *importance measure* adalah bagian utama dari proses kuantifikasi kehandalan sistem yang memungkinkan daerah terlemah dari sistem dapat teridentifikasi dan menunjukkan modifikasi-modifikasi yang dapat meningkatkan kehandalan sistem. Upaya untuk meningkatkan kehandalan dapat berkonsentrasi pada kontribusi komponen-komponen yang menunjukkan dengan dilakukan peningkatan pada komponen-komponen tersebut sehingga peningkatan maksimum pada kehandalan sistem dapat tercapai. *Reliability* dan *availability importance measure* menetapkan angka numerik antara 0 dan 1 untuk masing-masing komponen pada suatu sistem. Angka 1 menandakan level penting tertinggi sedangkan angka 0 menandakan level penting terendah. *Importance measures* dapat memberikan beberapa informasi tentang bagaimana kehandalan dan ketersediaan saling mempengaruhi (Javad Barabady, 2005).

2.4.1. *Reliability Importance Measure*

Reliability importance measure didefinisikan sebagai probabilitas bahwa komponen *i* sangat kritis pada kegagalan sistem (Andrews & Besson, 2003). *Reliability importance measure* adalah suatu indeks dari seberapa banyak atau sedikit komponen individu berkontribusi terhadap kehandalan sistem secara keseluruhan. *Reliability importance measure* dapat ditentukan berdasarkan karakteristik kegagalan komponen dan kaitan posisi komponen di dalam sistem. *Reliability importance measure* pada komponen *i* pada suatu sistem dari *n* komponen adalah:

$$I'_A = \frac{\partial R_s(t)}{\partial R_i(t)} \quad (2.45)$$

$R_s(t)$ adalah kehandalan sistem dan $R_i(t)$ adalah kehandalan komponen.

Reliability importance measure yang berdasarkan fungsi waktu akan sangat berguna untuk mendapatkan indeks penting kehandalan dari tiap-tiap komponen

dalam suatu sistem sebelum melakukan investasi sumber daya terhadap perbaikan komponen secara lebih spesifik. Hal ini dilakukan untuk menentukan dimana harus fokus pada sumber daya untuk mencapai penggunaan yang paling maksimum dari upaya perbaikan. Jika kehandalan sistem perlu diperbaiki, maka usaha pertama adalah harus berkonsentrasi pada peningkatan kehandalan dari komponen yang memiliki pengaruh terbesar pada kehandalan sistem. (Javad Barabady, 2008)

2.4.2. *Availability Importance Measure*

Availability importance measures merupakan fungsi dari waktu pengoperasian, tingkat kegagalan, tingkat perbaikan, dan struktur sistem dan sangat berguna untuk memperoleh nilai ketersediaan dari setiap komponen dalam sistem sebelum mengerahkan sumber daya ke arah peningkatan komponen tertentu (Javad Barabady, 2005). Hal ini dilakukan untuk menentukan komponen yang perlu diperbaiki dalam rangka untuk mencapai efek maksimal dari upaya perbaikan (Javad Barabady, 2005). *Availability importance measure* dari komponen i dalam suatu sistem dari n komponen diberikan pada persamaan:

$$I'_A = \frac{\partial A_s}{\partial A_i} \quad (2.46)$$

dimana A_s adalah ketersediaan sistem dan A_i adalah ketersediaan komponen

Availability importance measure menunjukkan bahwa adanya efek ketersediaan komponen i pada ketersediaan seluruh sistem. *Availability importance measures* dari suatu komponen merupakan indeks yang menunjukkan seberapa besar atau kecil suatu komponen berkontribusi terhadap ketersediaan sistem secara keseluruhan. Jika ketersediaan sistem perlu diperbaiki, maka usaha pertama adalah harus berkonsentrasi pada peningkatan komponen yang memiliki pengaruh terbesar pada ketersediaan sistem (Javad Barabady, 2005).

Availability importance measure berdasarkan tingkat kegagalan menunjukkan efek dari tingkat kegagalan subsistem i pada ketersediaan seluruh sistem, dan subsistem dengan nilai terbesar memiliki pengaruh terbesar pada ketersediaan seluruh sistem. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$I'_{A,\lambda_i} = -\frac{\partial A_s}{\partial \lambda_i} \quad (2.47)$$

Availability importance measure berdasarkan tingkat perbaikan menunjukkan efek dari tingkat perbaikan komponen i pada ketersediaan seluruh sistem, dan subsistem dengan nilai terbesar memiliki pengaruh terbesar pada ketersediaan seluruh sistem. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$I'_{A,\mu_i} = -\frac{\partial A_s}{\partial \mu_i} \quad (2.48)$$

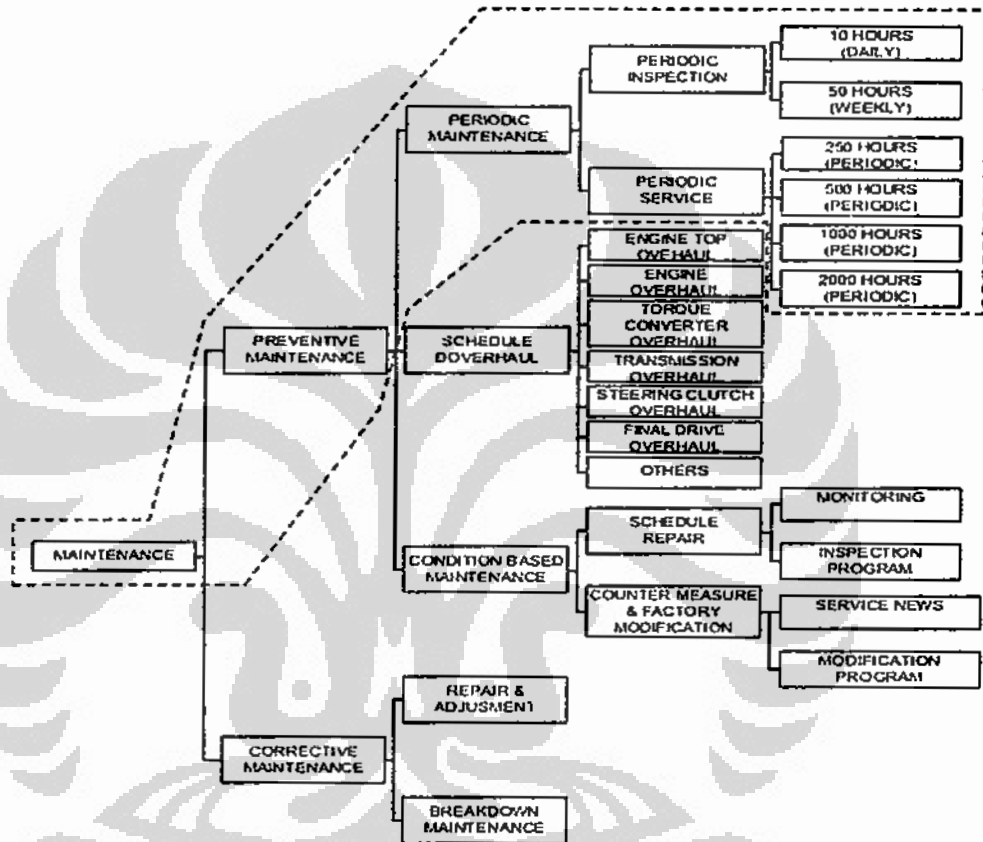
Dengan membandingkan kedua nilai *availability importance measure* menunjukkan yang mana dari dua faktor, tingkat kegagalan atau tingkat perbaikan, yang memiliki pengaruh yang lebih besar pada ketersediaan seluruh sistem. Dengan kata lain, perbandingan ini akan menunjukkan apakah peningkatan ketersediaan harus didasarkan pada pengurangan tingkat kegagalan atau meningkatkan tingkat perbaikan komponen atau subsistem kritis (Javad Barabady, 2005).

BAB 3

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

3.1. PRAKTEK *MAINTENANCE* DI INDUSTRI PERTAMBANGAN

Praktek *maintenance* yang diterapkan pada PT. XYZ adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1. *Maintenance Chart* (PM Training Handbook)

3.1.1. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance dapat dibagi atas tiga jenis *maintenance*:

- a) *Periodic Maintenance*
- b) *Scheduled Overhaul*
- c) *Condition Base Maintenance*

3.1.1.1. Periodic Maintenance

Adalah pelaksanaan servis yang harus dilakukan setelah peralatan bekerja untuk jumlah jam operasi tertentu. Jumlah jam kerja ini adalah sesuai dengan jumlah yang ditunjukkan oleh pencatat jam operasi (*service meter*) yang ada pada alat tersebut. Untuk melaksanakan *periodic maintenance* ini, meliputi:

3.1.1.1.1. Periodic inspection

Pemeriksaan atau inspeksi harian sebelum unit dioperasikan dan pemeriksaan mingguan, hal ini untuk mengetahui keadaan mesin apakah aman untuk dioperasikan.

Dalam melaksanakan *periodic inspection* terutama dalam pelaksanaan perawatan harian (*daily maintenance*), bisa menggunakan beberapa alat bantu, antara lain:

- *Check sheet* : Suatu form (daftar) yang dipergunakan untuk mencatat hasil operasi dari tiap-tiap alat dalam satu hari operasi.
- *Daily check* : Suatu form (daftar) seperti halnya *check sheet*, perbedaannya hanya pada ukurannya yaitu *pocket size* sehingga operator atau service-man akan dengan mudah mencatatnya.

3.1.1.1.2. Periodic service

Perawatan unit yang teratur adalah sangat penting demi menjamin pengoperasian yang bebas dari kerusakan dan memperpanjang umur unit. Waktu dan uang yang dikeluarkan untuk melaksanakan *periodic service* (perawatan berkala) akan dikompensasikan dengan secukupnya dengan memperpanjang umur unit dan berkurangnya biaya operasi unit. Semua angka yang menunjukkan jumlah jam kerja pada keterangan yang tertera pada *check sheet* adalah didasarkan pada angka-angka yang dilihat pada *service meter*. Tetapi dalam praktek sangat dianjurkan pelaksanaan perawatan lebih memudahkan dan menyenangkan.

Pada lapangan pekerjaan berat atau kondisi operasi yang berarti, maka perlu mempersingkat jadwal waktu perawatan yang ditentukan pada buku petunjuk. Jadi *periodic service* adalah suatu usaha untuk mencegah timbulnya kerusakan yang dilakukan secara kontinyu dengan interval pelaksanaan yang telah tertentu berdasarkan *Hour Meter (HM)*.

3.1.1.2. *Scheduled Overhaul*

Jenis perawatan yang dilakukan dengan interval tertentu sesuai dengan standar *overhaul* dilakukan yang telah ditemukan terhadap masing-masing komponen yang ada. *Scheduled overhaul* dilaksanakan untuk mere-kondisi alat agar kembali ke kondisi standar sesuai dengan *Standard Factory*. Interval waktu yang telah ditentukan dipengaruhi oleh kondisi yang beraneka ragam seperti kondisi medan operasi, periode *service*, *skill* operator, dan sebagainya.

Overhaul dilaksanakan secara terjadwal tanpa menunggu alat tersebut rusak. Dalam pelaksanaannya kadang kala terjadi sesuatu yang merubah penjadwalan.

Adapun beberapa macam *overhaul* antara lain:

- *Engine Overhaul*
- *Transmission Overhaul*
- *Final Drive Overhaul*
- *General Overhaul*, dan sebagainya.

3.1.1.3. *Condition Base Maintenance*

Jenis perawatan yang bertujuan untuk mengembalikan kondisi unit seperti semula (standar), dengan cara melakukan pekerjaan *service*, seperti: PPM (Program Pemeliharaan Mesin), PPU (Program Perencanaan Undercarriage), PPB (Program Pemeriksaan Bucket) yang hasil pengukurannya disesuaikan dengan standar terbaru (*service news* dan *modification program*).

3.1.1.3.1. *PPM (Program Pemeriksaan Mesin)*

PPM (Program Pemeriksaan Mesin) yang teratur dan terencana bertujuan untuk mendapatkan data yang akurat atas kondisi unit. Caranya dengan menggunakan Metode Pengukuran dan Instrumen Diagnostik. Berdasarkan data yang didapat, rekomendasi yang diperlukan dapat diberikan untuk memperbaiki keadaan mesin menuju kondisi operasi yang optimal. Data yang telah terkumpul kemudian dimasukkan dalam Sistem Manajemen Mesin untuk mencatat umur pemakaian mesin, biaya perbaikan dan membantu jadwal penggantian mesin dan sebagai *historical* dari mesin.

Pemeriksaan:

- Terhadap motor penggerak (*engine*) dan tenaga bergerak (*driveline*) yang lengkap
- Sistem *Hydraulics*
- Sistem Pengontrol Elektronik dan Sistem Listrik
- Pemeriksaan *track* (rantai roda)
- Kerangka mesin (*chassis frame*), *Boom*, *Arm*, dan *Bucket*

Penyetelan dan Penyesuaian:

Selama pemeriksaan mesin, dilakukan penyetelan dan penyesuaian yang perlu untuk meningkatkan performa sistem mesinnya agar lebih sempurna.

Analisa:

Kemudian dibuatkan analisa dan laporan berdasarkan seluruh data dan hasil penyetelan dalam bentuk:

- Laporan kondisi mesin
- Laporan pemeriksaan *undercarriage*
- Laporan *Chassis Frame*, *Boom*, *Arm*, dan *Bucket*.
- Memberikan daftar suku cadang yang direkomendasikan atau diperlukan untuk meningkatkan kondisi unit yang siap pakai.

3.1.1.3.2. PAP (Program Analisa Pelumas)

Analisa minyak pelumas dan keausan adalah merupakan suatu sistem perawatan yang dilakukan secara ilmiah. Hal ini untuk mengetahui sendiri keausan dan kerusakan komponen yang disebabkan oleh keausan yang tidak wajar tanpa harus membongkar komponen tersebut.

Program ini akan mengambil contoh minyak pelumas pada alat besar dan dilakukan secara berkala. Setiap contoh minyak pelumas yang diambil akan dianalisa di laboratorium untuk mengetahui jenis serta kadar logam yang terdapat di dalam minyak pelumas, sehingga diketahui tingkat kerusakan yang timbul.

Dengan PAP dapat diketahui juga gejala penurunan kemampuan *engine*, masalah-masalah pembakaranm kebocoran air pendingin atau bahan *anti freeze* dan kotoran-kotoran yang bercampur dengan oli.

Dengan demikian kerusakan yang berakibat fatal dapat diketahui secepatnya, di samping membantu rencana perawatan yang lebih ekonomis untuk dapat meningkatkan produktivitas.

3.1.1.3.3. PPU (*Program Pemeliharaan Undercarriage*)

Program ini bertujuan untuk mengurangi biaya pemeliharaan *undercarriage*. Dengan mengikuti program ini, proses peremajaan bisa dihemat sebesar 60% dari harga komponen baru dengan kualitas yang dijamin 80% dari jangka waktu pakai komponen baru.

Program ini terdiri atas 2 bagian yaitu:

- Inspeksi keausan secara berkala atas komponen-komponen *undercarriage* seperti *Track Link, Track Roller, Carrier Roller, Front Idler, Sprocket*.
- Analisa keausan komponen *undercarriage* berupa *Track Inspection Report* yang memberikan rekomendasi secara terperinci mengenai langkah-langkah yang sebaiknya diambil untuk pemeliharaan *undercarriage* agar dapat mencapai jangka waktu pakai maksimal.

Peremajaan:

Dalam banyak hal peremajaan merupakan cara pemeliharaan yang paling tepat. Dengan menghemat sampai 60% dari biaya pemasangan komponen baru, dan dengan kualitas yang dijamin 80% dari jangka waktu pakai komponen baru tergantung dari kondisi keausan komponen *undercarriage* yang bersangkutan.

3.1.2. *Corrective Maintenance*

Perawatan yang dilakukan untuk mengembalikan alat ke kondisi standar bisa berupa perbaikan atau penyetelan dengan *preventive maintenance* yang pelaksanaannya teratur tanpa menunggu adanya kerusakan. Pada *corrective maintenance* justru perbaikan dilakukan setelah unit tersebut telah menunjukkan adanya gejala kerusakan atau rusak sama sekali.

Corrective maintenance dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu:

- *Repair dan Adjustment*

Perawatan yang sifatnya memperbaiki kerusakan yang belum parah atau unit belum *break down* (tidak bisa digunakan).

- *Break Down Maintenance*

Perawatan yang dilaksanakan setelah unit tersebut betul-betul rusak. Hal ini biasanya terjadi karena adanya kerusakan yang diabaikan/diabaikan terus tanpa ada usaha untuk memperbaiki. Sehingga kerusakan tersebut makin lama makin parah. Bila seperti ini, umumnya kerusakan kecil tadi menjadi besar dan menyebabkan komponen lain ikut-ikutan menjadi rusak. Perawatan yang demikian ini akan menyebabkan biaya perbaikan yang melambung tinggi. Untuk menghindari ini, harus dilakukan *preventive maintenance* dengan baik dan segera perbaiki bila ada gejala kerusakan yang lebih besar dapat dihindari.

Praktek maintenance yang diterapkan oleh manajemen didasarkan kepada *preventive maintenance* dengan menggunakan *manual handbook* yang diberikan oleh pihak manufaktur. *Preventive maintenance* diterapkan berupa kegiatan inspeksi dengan menekankan pada identifikasi kegagalan/cacat pada setiap kegagalan. Koreksi dapat dilakukan pada saat kegiatan inspeksi berlangsung atau pada saat kegagalan peralatan timbul.

Pemeliharaan alat berat berdasarkan *operation manual handbook* terdiri atas beberapa *check sheet* yang nantinya dapat digunakan sebagai data penunjang kegiatan maintenance. Adapun kegiatan maintenance yang dilakukan antara lain:

- a. Kegiatan pengecekan harian atau setiap 10 jam

Dilakukan oleh 1 orang mekanik dengan waktu inspeksi yang dianjurkan selama 20 menit dan mengisi lembar *check sheet* inspeksi harian.

- b. Kegiatan pengecekan mingguan atau setiap 50 jam

Sama halnya seperti kegiatan inspeksi harian, dilakukan oleh satu orang mekanik dengan waktu inspeksi yang dianjurkan 20 menit dan mengisi lembar *check sheet* inspeksi mingguan.

c. Kegiatan pengecekan bulanan atau setiap 250 jam

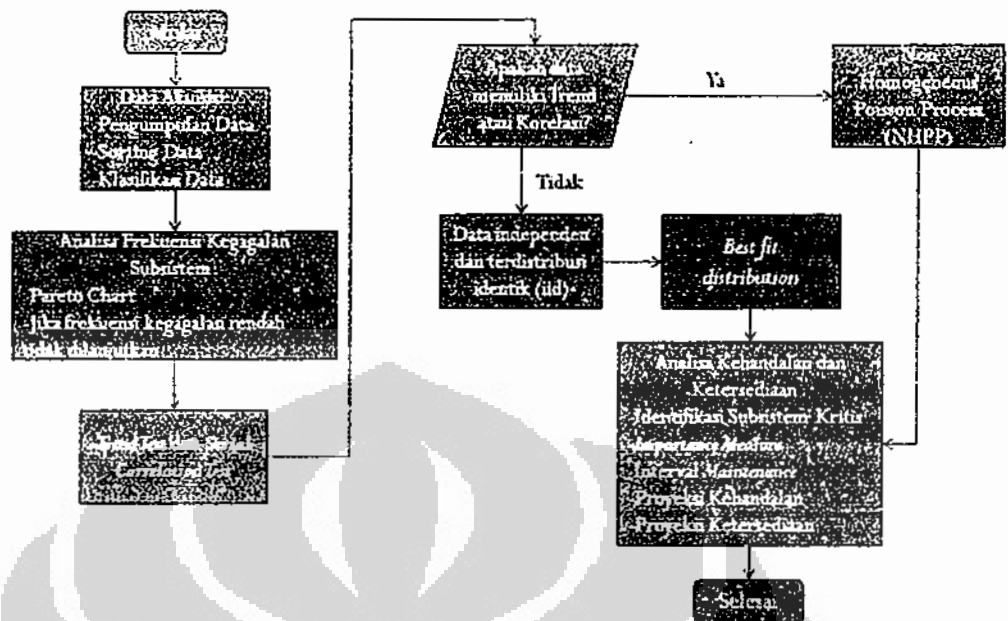
Dilakukan oleh 2 orang mekanik dengan waktu pelaksanaan berdurasi 4 jam. Pada waktu ini dapat dilakukan kegiatan penggantian komponen mesin dan mengisi lembar *check sheet* bulanan.

d. Kegiatan pengecekan secara visual

Visual check dilakukan setelah mesin dioperasikan 3000 jam. Kemudian kegiatan ini dilakukan berulang-ulang setiap bulan atau 250 jam. *Visual check* dilakukan dengan memeriksa bagian-bagian dari peralatan yang memiliki kemungkinan mengalami deteriorasi secara fisika atau kimia yang dapat disebabkan oleh faktor umur alat, penggunaan dan gesekan yang dapat berisiko menyebabkan peralatan rusak atau kecelakaan kerja. Dianjurkan dilakukan oleh 1 orang mekanik dengan durasi pengecekan selama 4 jam.

3.2. LANGKAH-LANGKAH DALAM PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada daerah tambang terbuka untuk satu *fleet* peralatan berat. Satu *fleet* peralatan berat diwakilkan kepada dua belas *excavator* Hitachi EX-2500 dimana masing-masing sistem *excavator* terbagi atas beberapa subsistem utama. Kehandalan dari sistem *excavator* merupakan konfigurasi seri dari masing-masing subsistem. Gambar 3.2 menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian:



Gambar 3. 2. Langkah-Langkah Penelitian (Javad Barabady, 2008)

Secara umum, langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian adalah sebagai berikut:

- Memahami sistem dan identifikasi subsistem dan kegagalan yang terjadi.
- Pengumpulan, pemilahan, dan klasifikasi data berdasarkan TBF dan TTR dari setiap subsistem.
- Analisa data dan verifikasi dengan asumsi *iid* (*independent and identically distributed*) dari data TTR dan TBF.
- Menentukan distribusi probabilitas TBF dan TTR subsistem.
- Estimasi kehandalan dan ketersediaan dari subsistem berdasarkan jenis distribusi probabilitasnya.
- Identifikasi subsistem yang kritis berdasarkan kegagalan yang terjadi dan perumusan kebijakan *maintenance* yang lebih baik untuk meningkatkan kehandalan dan ketersediaan.

3.2.1. Pengumpulan, Pemilahan dan Klasifikasi Data

Tahap pertama adalah mengumpulkan data peralatan tambang yang didapatkan dengan mengunduh dari *Mincom Ellipse*. Data *maintenance* yang digunakan pada

studi ini adalah data *work order maintenance* excavator Hitachi EX-2500 untuk jangka September 2007 s/d September 2009.

Mincom Ellipse dikembangkan oleh *Mincom Pty. Ltd.*, Australia. Modul yang digunakan adalah *Asset and Work Management*, yaitu:

- Mengoptimalkan penggunaan aset perusahaan dengan cara memperbaiki metode penggunaan aset, menjamin kesiapan dan keamanan peralatan, meningkatkan produktivitas tambang dan peralatan dan menurunkan biaya siklus. Penghematan biaya produksi diperoleh melalui :
 - Peningkatan ketersediaan aset melalui aplikasi teknik penjadwalan pekerjaan
 - Penerapan pemeliharaan aset secara pro-aktif bukan reaktif
 - Peningkatan kehandalan peralatan melalui penerapan strategi berbasis resiko
 - Penurunan pengeluaran modal melalui peningkatan daya pakai peralatan
- *Work Planner* menunjang perencanaan pemeliharaan aset secara tepat dan menyeluruh sehingga dapat menyeimbangkan antara ketersediaan aset terhadap penurunan biaya pengadaan aset secara optimal. Dengan tampilan grafis dan kemampuan untuk mengatur dan mereka-ulang jadwal, *Work Planner* mempermudah koordinasi aktivitas kerja dalam jangka pendek maupun panjang. Selain itu, *Work Planner* juga menyediakan sarana pengelolaan yang fleksibel dan membuat penjadwalan dan penjadwalan ulang ratusan kegiatan menjadi mudah dan efisien.



Gambar 3. 3. Modul *Mincom Ellipse*

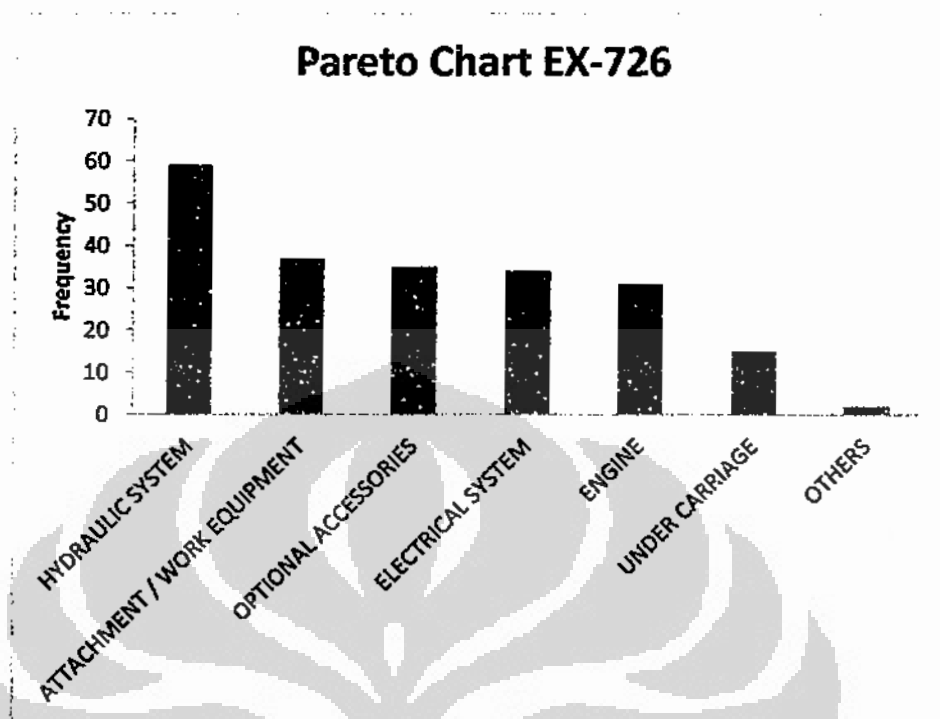
Kemudian data dipilah dan diklasifikasikan berdasarkan nomor peralatan, tanggal kerusakan terjadi, subsistem yang mengalami kerusakan, jenis kerusakan, HM (*hour machine*) dari peralatan, durasi aktual perbaikan, dan jenis tindakan perbaikan yang diambil.

3.2.2. Analisa Frekuensi Kegagalan Subsistem

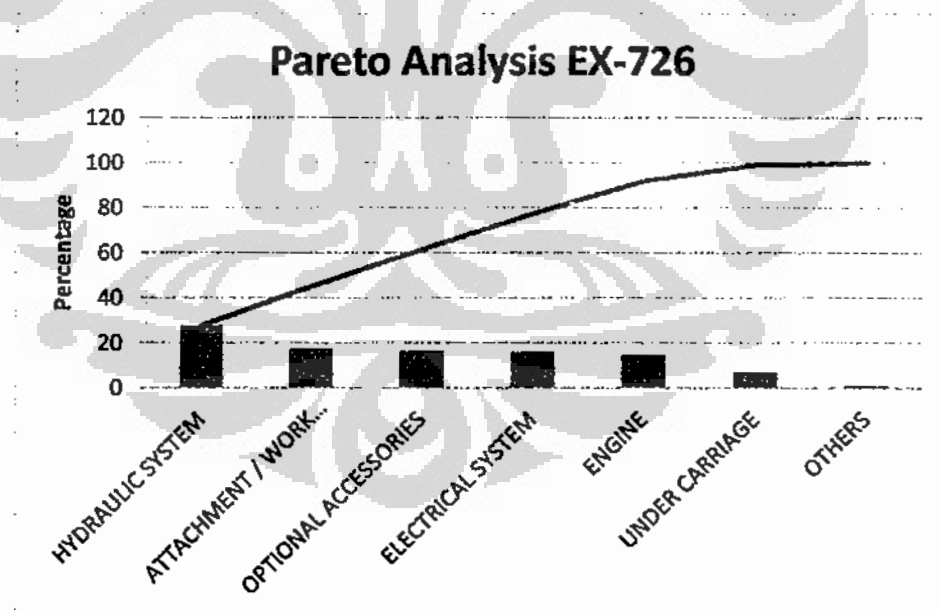
Frekuensi kegagalan dari masing-masing subsistem atau komponen didapatkan dengan menggunakan prinsip Pareto dimana Prinsip Pareto atau aturan 80-20 menyatakan bahwa untuk banyak kejadian, sekitar 80% daripada efeknya disebabkan oleh 20% penyebabnya.

Tujuan dari analisa Pareto adalah untuk menemukan subsistem-subsistem yang mempengaruhi kegagalan dari sistem excavator keseluruhan yang meliputi frekuensi kegagalan dari subsistem yang menyusun sistem dan peringkat kegagalan dari setiap subsistem. Pareto chart merupakan analisa yang menunjukkan prioritas kegagalan subsistem terhadap keseluruhan subsistem dari suatu sistem.

Gambar 3.4 dan gambar 3.5 menampilkan salah satu contoh *Pareto chart* dan *Pareto analysis* dari EX-726:



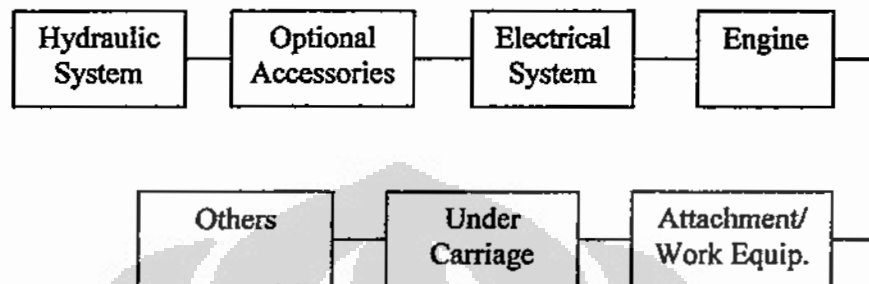
Gambar 3. 4. Pareto Chart EX-726



Gambar 3. 5. Pareto Analysis EX-726

Berdasarkan hasil analisa Pareto untuk 12 system excavator Hitachi EX-2500, maka dapat dibagi menjadi 7 bagian utama yaitu: Hydraulic System, Optional

Accessories, Engine, Under Carriage, Attachment/Work Equipment, Electrical System, dan Others. Gambar 3.6 menunjukkan *block diagram* excavator Hitachi EX-2500:



Gambar 3. 6. Block Diagram Excavator Hitachi EX-2500

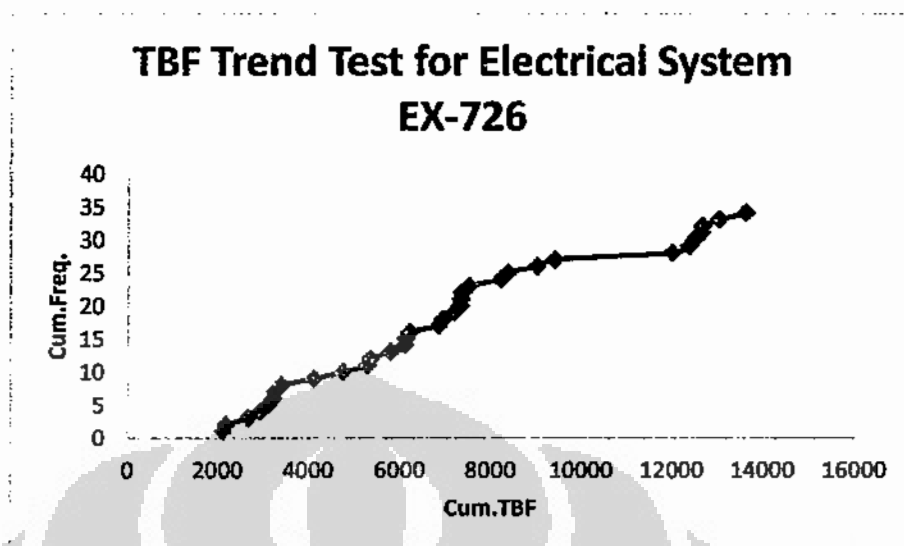
3.2.3. Trend Test dan Serial Correlation Test

Analisa kehandalan dan ketersediaan dari data pemeliharaan peralatan pada umumnya didasarkan pada suatu asumsi bahwa banyak terjadinya antar kegagalan adalah independen dan terdistribusi secara identik (iid) dalam domain waktu. Oleh karena itu, sebelum melakukan analisa lebih lengkap, sangatlah penting untuk melakukan analisis verifikasi formal dengan asumsi bahwa kegagalan/perbaikan adalah terdistribusi secara independen dan identik (iid).

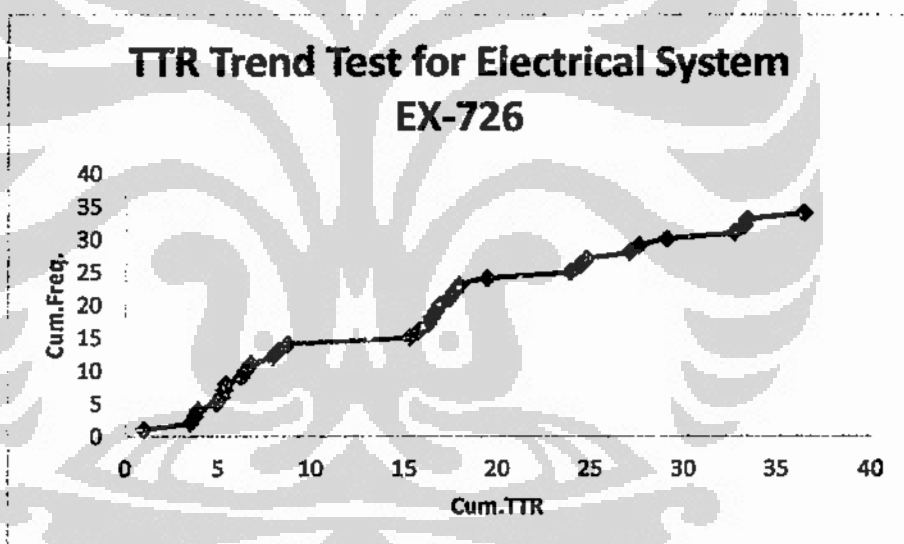
3.2.3.1. Trend Test

Trend test dapat dibuat dengan metode grafis. Dengan menggunakan metode grafis, *trend test* melibatkan jumlah kumulatif kegagalan terhadap jumlah kumulatif waktu. Jika kurva menunjukkan cekung ke atas, data menunjukkan suatu peningkatan sistem, dan jika cekung ke bawah, data menunjukkan suatu deteriorasi sistem. Jika diperoleh suatu kurva yang mendekati garis lurus, maka data terdistribusi secara identik dan bebas dari kecenderungan (Ascher dan Feingold, 1984).

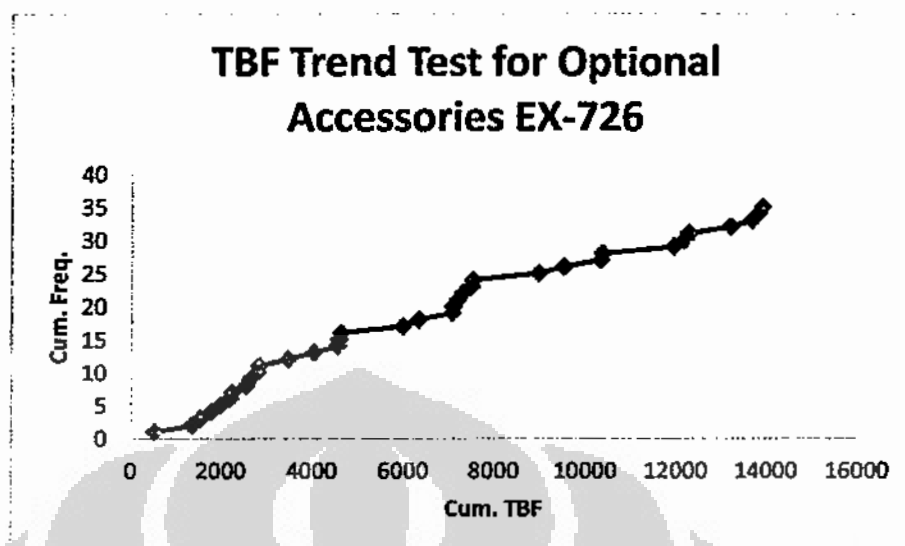
Gambar 3.7, 3.8, 3.9 dan 3.10 menunjukkan *trend test* untuk data TBF dan TTR pada beberapa subsistem EX-726:



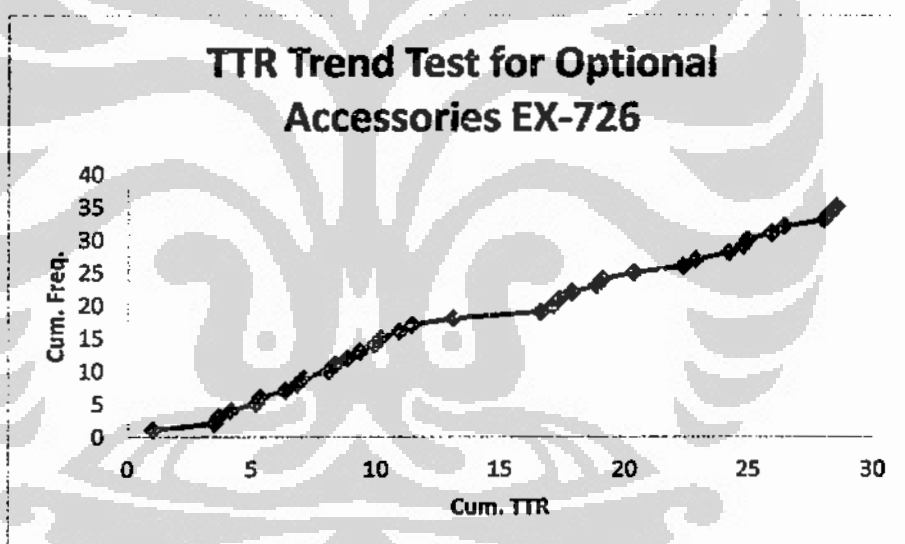
Gambar 3. 7. TBF Trend Test Electrical System EX-726



Gambar 3. 8. TTR Trend Test Electrical System EX-726



Gambar 3. 9. TBF Trend Test Optional Accessories EX-726

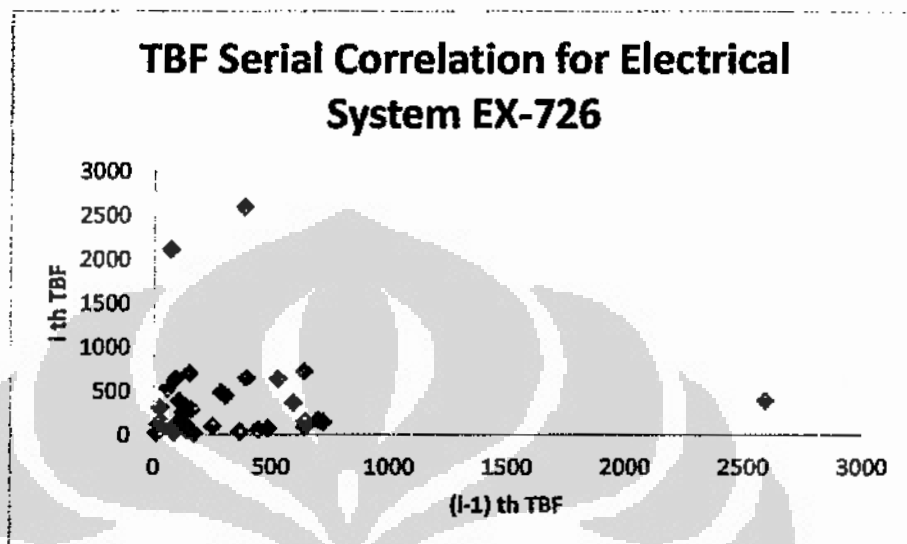


Gambar 3. 10. TTR Trend Test Optional Accessories EX-726

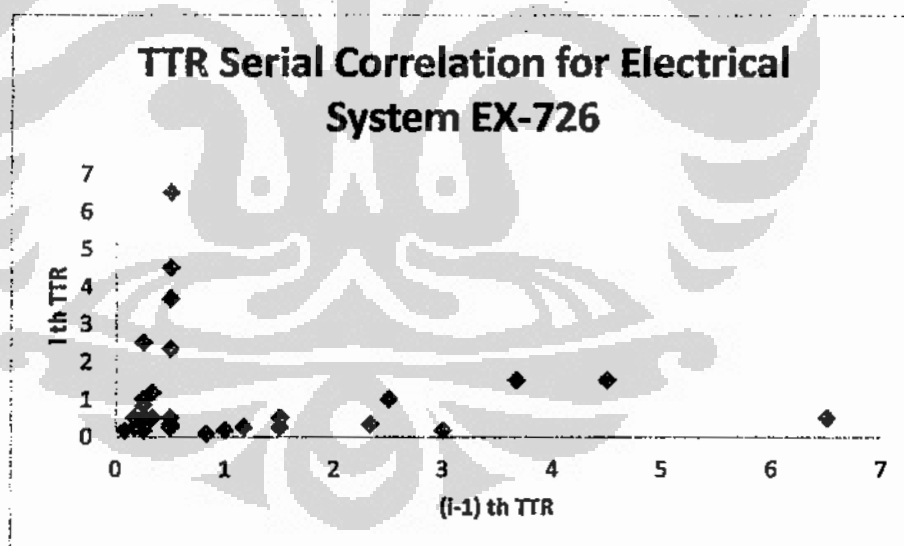
3.2.3.2. Serial Correlation Test

Tes korelasi serial dapat dilakukan dengan melakukan analisa grafis dengan memplot TBF atau TTR ke- i dengan TBF atau TTR ke- $(i-1)$ dengan $i=1,2,3,\dots,n$ (Ascher dan Feingold, 1984, Kumar dan Klefsjö, 1992). Jika titik-titik hasil plotting tersebar secara normal tanpa adanya pola-pola tertentu, dapat diinterpretasikan bahwa data tersebut bebas dari korelasi serial sehingga data tersebut tidak saling bergantung atau berkorelasi.

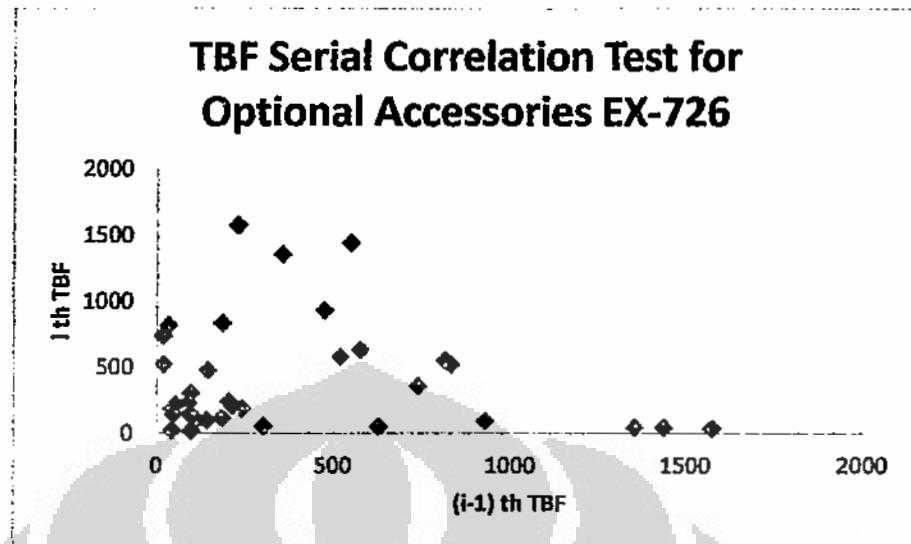
Gambar 3.11, 3.12, 3.13, dan 3.14 menunjukkan *serial correlation test* untuk data TBF dan TTR pada beberapa subsistem EX-726:



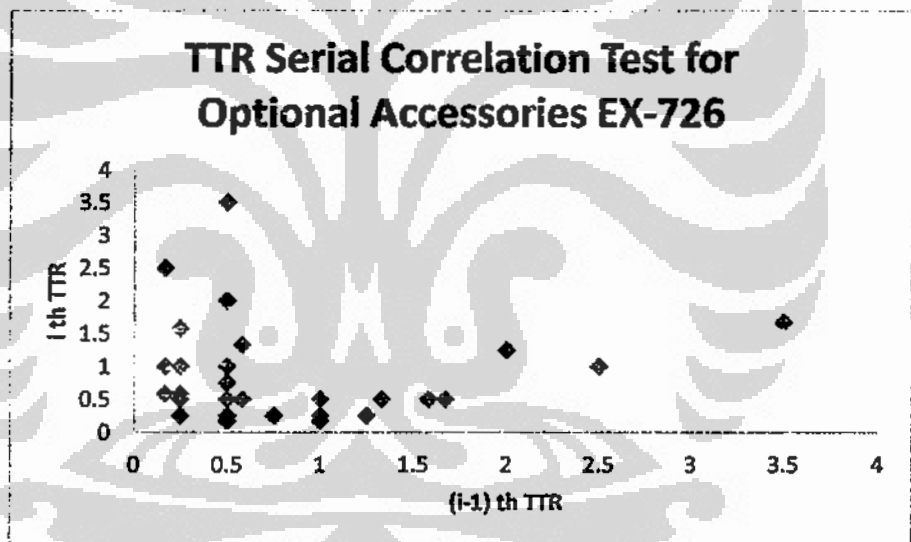
Gambar 3. 11. TBF Serial Correlation Electrical System EX-726



Gambar 3. 12. TTR Serial Correlation Electrical System EX-726



Gambar 3. 13. TBF Serial Correlation Optional Accessories EX-726



Gambar 3. 14. TTR Serial Correlation Optional Accessories EX-726

3.2.4. Analisa Trend Test dan Serial Correlation Test

Berdasarkan *trend test* dan *serial correlation test*, maka dapat diketahui karakteristik dari data kegagalan pada masing-masing subsistem untuk setiap sistem excavator. Bila dari kedua pengujian tersebut didapatkan karakteristik data iid maka dapat dilanjutkan untuk menentukan distribusi probabilitas dan kehandalan menggunakan Weibull++ 7 (Evaluation).

Weibull++ 7 (Evaluation) menggunakan uji statistik Kolmogorov-Smirnov. Konsep dasar dari uji Kolmogorov-Smirnov adalah dengan membandingkan distribusi data (yang akan diuji normalitasnya) dengan distribusi normal baku. Distribusi normal baku adalah data yang telah ditransformasikan ke dalam bentuk Z-Score dan diasumsikan normal. Jadi uji Kolmogorov-Smirnov adalah uji beda antara data yang diuji normalitasnya dengan data normal baku. Seperti pada uji beda biasa, jika signifikansi di bawah 0.05 berarti terdapat perbedaan yang signifikan, dan jika signifikansi di atas 0.05 maka tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Penerapan pada uji Kolmogorov-Smirnov adalah bahwa jika signifikansi di bawah 0.05 berarti data yang akan diuji mempunyai perbedaan yang signifikan dengan data normal baku, berarti data tersebut tidak normal. Fungsi distribusi empiris dihitung dengan metode peringkat rata-rata menurut persamaan 3.1.

$$F^*(t_i) = \frac{\sum c_i}{N+1} \quad (3.1)$$

dimana $\sum c_i$ adalah jumlah kegagalan kumulatif pada waktu t_i . $F^*(t_i)$ adalah nilai teoritis dihitung untuk setiap waktu t_i . Batas nilai absolut dari perbedaan antara distribusi data dan distribusi normal baku (DN) dibandingkan dengan nilai tabel DN sesuai dengan α . Hipotesa akan ditolak jika:

$$DN = \text{Max}(F^*(t_i) - F(t_i)) > DN, \alpha \quad (3.2)$$

Sedangkan, bila data dari kedua pengujian mendapatkan karakteristik data yang non-iid, maka dilakukan analisa menggunakan *Power Law NHPP (Non Homogeneous Poission Process)*.

Menurut Ascher dan Feingold (1984), Kumar dan Klefsjö (1992), fungsi intesitas kegagalan didefinisikan:

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \times \left(\frac{t}{\eta}\right)^{(\beta-1)} \quad (3.3)$$

$$\beta = n / \sum_{i=1}^n \ln(t_n / t_i) \quad (3.4)$$

$$\eta = \frac{t_n}{n^{1/\beta}} \quad (3.5)$$

dimana : β = shape parameter, η = scale parameter, n = jumlah kejadian kegagalan, t_n = total waktu berjalan, t_i = waktu berjalan pada setiap kejadian kegagalan, $i=1,2,3,\dots,n$

Tabel 3.1 dan tabel 3.2 menunjukkan hasil analisa distribusi data TBF masing-masing subsistem EX-728 dan EX-729 dengan menggunakan Weibull++ 7 (Evaluation) dan *Power Law Process NHPP*:

Tabel 3. 1. Distribusi Statistik EX-728

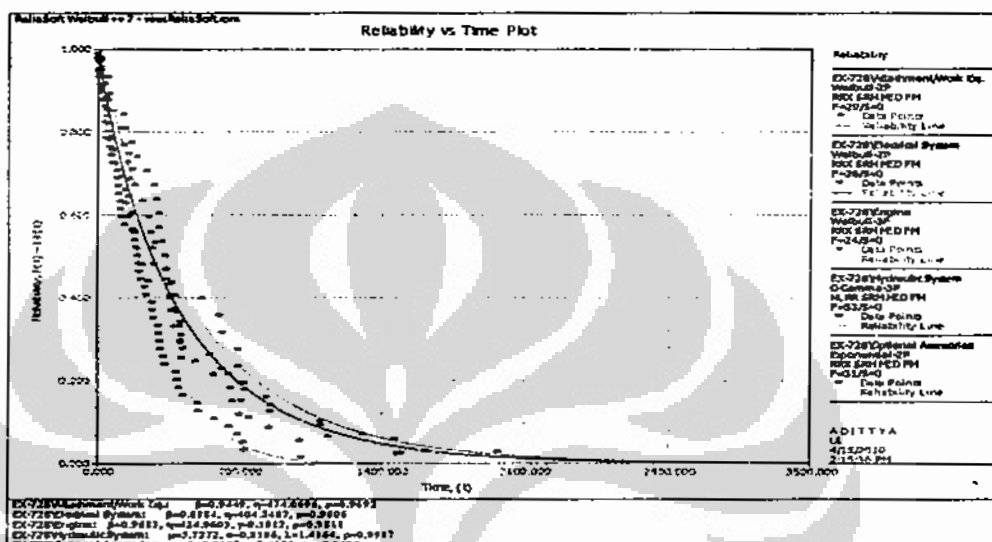
Name	Subsystem		Best-fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-728	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.7272, Sigma=0.8586, Lambda=1.4364
		TTR	non-iid	Beta=1.208, Eta=1.247
	ATTACHMENT / WORK EQUIPMENT	TBF	Weibull 2	Beta=0.9449, Eta=474.0696
		TTR	non-iid	Beta=0.986, Eta=0.935
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	Exponential 2	Lambda=0.0027, Gamma=2.4123
		TTR	non-iid	Beta=0.935, Eta=0.656
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	Weibull 2	Beta=0.8884, Eta=404.2487
		TTR	Weibull 3	Beta=0.7384, Eta=0.8413, Gamma=0.1582
	ENGINE	TBF	Weibull 3	Beta=0.7384, Eta=0.8413, Gamma=0.1582
		TTR	non-iid	Beta=1.419, Eta=1.579

Tabel 3. 2. Distribusi Statistik EX-729

Name	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-729	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.4396, Sigma=0.9704, Lambda=1.3461
		TTR	G-Gamma 3	Mu=1.0734, Sigma=1.0744, Lambda=0.6686
	ENGINE	TBF	non-iid	Beta=1.4777, Eta=1229.73
		TTR	non-iid	Beta=1.047, Eta=5.257
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	non-iid	Beta=0.8113, Eta=320.229
		TTR	non-iid	Beta=0.364, Eta=0.0196
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	Weibull 3	Beta=0.8952, Eta=450.3271, Gamma=8.9513
		TTR	Weibull 3	Beta=0.6757, Eta=1.3759, Gamma=0.1358

3.2.5. Menentukan Kehandalan dan Ketersediaan

Langkah berikutnya adalah menentukan kehandalan dan ketersediaan system excavator berdasarkan parameter distribusi statistik. Gambar 3.15 adalah plot kehandalan untuk masing-masing excavator berdasarkan parameter distribusi statistik yang dimiliki.



Gambar 3. 15. Plot Kehandalan Setiap Subsystem EX-728

Berdasarkan plot kehandalan pada gambar 3.15, dengan menentukan titik potong antara nilai kehandalan dan waktu maka dapat ditentukan kehandalan masing-masing subsystem untuk beberapa interval waktu

Tabel 3. 3. Kehandalan Subsystem pada Beberapa Interval Waktu EX-728

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ELECTRICAL SYSTEM	ENGINE	ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT	TOTAL
0	1	1	1	1	1	1
20	0.913	0.953	0.933	0.973	0.951	0.7512
40	0.849	0.903	0.880	0.925	0.908	0.5666
60	0.791	0.854	0.832	0.881	0.868	0.4298
80	0.738	0.809	0.789	0.839	0.830	0.3280
100	0.688	0.766	0.749	0.800	0.795	0.2510

Berdasarkan plot kehandalan terhadap waktu juga dapat ditentukan waktu interval untuk melakukan *preventive maintenance* pada masing-masing subsystem dengan menentukan titik potong pada antara kehandalan dan waktu.

Tabel 3. 4. Interval Maintenance untuk Beberapa Kehandalan EX-728

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Kehandalan Yang Berbeda-beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	21.46	74.74	189.83
OPTIONAL ACCESSORIES	47.42	106.53	257.60
ELECTRICAL SYSTEM	30.25	97.17	260.77
ENGINE	49.34	122.74	310.32
ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT	46.89	124.17	325.09

Sedangkan untuk menentukan ketersediaan masing-masing subsistem pada sistem excavator dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3. 5. Ketersediaan Setiap Subsistem pada EX-728

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	53	13201.99	152.01	0.9886
OPTIONAL ACCESSORIES	31	11102.18	25.82	0.9977
ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT	29	12855.59	28.41	0.9978
ELECTRICAL SYSTEM	26	10827.22	29.78	0.9973
ENGINE	24	10275.16	14.84	0.9986

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

4.1. ANALISA KEHANDALAN

Kehandalan sistem excavator merupakan indikator performa terhadap kondisi peralatan secara keseluruhan. Analisa kehandalan dilakukan menggunakan data kegagalan masing-masing subsistem yang kemudian dilakukan analisa Pareto untuk memilih subsistem-subsistem utama yang mempengaruhi sistem keseluruhan. Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditentukan kehandalan masing-masing subsistem untuk beberapa interval waktu.

Tabel 4. 1. Kehandalan Subsistem pada Beberapa Interval Waktu EX-728

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ELECTRICAL SYSTEM	ENGINE	ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT	TOTAL
0	1	1	1	1	1	1
20	0.913	0.953	0.933	0.973	0.951	0.7512
40	0.849	0.903	0.880	0.925	0.908	0.5666
60	0.791	0.854	0.832	0.881	0.868	0.4298
80	0.738	0.809	0.789	0.839	0.830	0.3280
100	0.688	0.766	0.749	0.800	0.795	0.2510

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa kehandalan masing-masing subsistem akan lebih tinggi pada waktu awal pengoperasian yang seiring dengan waktu kehandalan subsistem akan mengalami penurunan.

Kemudian dapat ditentukan pula interval waktu untuk dilakukannya *preventive maintenance*.

Tabel 4. 2. Interval Maintenance untuk Beberapa Keandalan EX-728

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Keandalan Yang Berbeda-beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	21.46	74.74	189.83
OPTIONAL ACCESSORIES	47.42	106.53	257.60
ELECTRICAL SYSTEM	30.25	97.17	260.77
ENGINE	49.34	122.74	310.32
ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT	46.89	124.17	325.09

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa untuk mencapai keandalan 0.5 maka *preventive maintenance* atau waktu inspeksi yang ideal adalah 189.83 jam untuk Hydraulic System, 257.60 jam untuk Optional Accessories, 260.77 jam untuk Electrical System, 310.32 jam untuk Engine, dan 325.09 jam untuk Attachment/Work Equipment. Sedangkan untuk tingkat keandalan 0.75 dan 0.9 memiliki waktu *preventive maintenance* yang lebih kecil dibandingkan tingkat keandalan 0.5.

Berdasarkan tabel 4.1 mengenai keandalan masing-masing subsistem untuk beberapa interval waktu, maka dapat pula ditentukan nilai *reliability importance measure* yaitu berupa ratio antara total keandalan sistem dan keandalan masing-masing subsistem. Tabel 4.3 memperlihatkan nilai *reliability importance measure* untuk masing-masing subsistem untuk beberapa interval waktu.

Tabel 4. 3. Reliability Importance Measure untuk Beberapa Subsistem dalam Beberapa Interval Waktu pada EX-728

TIME (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ELECTRICAL SYSTEM	ENGINE	ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT
20	0.823	0.788	0.805	0.772	0.790
40	0.667	0.628	0.644	0.613	0.624
60	0.543	0.503	0.517	0.488	0.495
80	0.444	0.405	0.416	0.391	0.395
100	0.365	0.328	0.335	0.314	0.316

Semakin besar nilai *importance measure* mengindikasikan bahwa subsistem tersebut akan berpengaruh besar terhadap system keseluruhan. Terlihat bahwa

Hydraulic System memiliki nilai *importance measure* yang paling tinggi dibandingkan subsistem lainnya.

Pada tabel 4.4 diperoleh subsistem pada setiap excavator EX-2500 berdasarkan tingkatan kritis dengan menggunakan perhitungan *importance measure*.

Tabel 4. 4. Subsistem EX-2500 Berdasarkan Tingkatan Kritis Menggunakan *Reliability Importance Measure*

EGI	Paling Kritis (Prioritas Pertama)	Kritis (Prioritas Kedua)	Kurang Kritis (Prioritas Ketiga)
EX-721	Hydraulic System	Under Carriage	Optional Accessories
EX-722	Hydraulic System	Optional Accessories	Electrical System
EX-723	Hydraulic System	Electrical System	Optional Accessories
EX-724	Hydraulic System	Engine	Electrical System
EX-725	Hydraulic System	Optional Accessories	Electrical System
EX-726	Hydraulic System	Electrical System	Optional Accessories
EX-727	Hydraulic System	Optional Accessories	Electrical System
EX-728	Hydraulic System	Electrical System	Optional Accessories
EX-729	Hydraulic System	Optional Accessories	Electrical System
EX-730	Hydraulic System	Optional Accessories	Electrical System
SH-701	Optional Accessories	Hydraulic System	Electrical System
SH-702	Hydraulic System	Engine	Electrical System

Bila dilakukan perhitungan rata-rata untuk setiap kehandalan subsistem pada semua mesin excavator EX-2500 pada beberapa interval waktu dan rata-rata *importance measure* untuk beberapa interval waktu, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 5. Kehandalan Rata-Rata Subsistem untuk Excavator EX-2500

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE	TOTAL
0	1	1	1	1	1
20	0.883	0.946	0.931	0.975	0.758
40	0.781	0.882	0.868	0.946	0.566
60	0.698	0.823	0.813	0.910	0.425
80	0.629	0.772	0.763	0.875	0.324
100	0.600	0.725	0.718	0.844	0.263

Tabel 4. 6. Reliability Importance Measure untuk Semua Excavator EX-2500

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE
20	0.859	0.801	0.814	0.777
40	0.724	0.642	0.652	0.598
60	0.609	0.516	0.523	0.467
80	0.515	0.420	0.425	0.370
100	0.439	0.363	0.367	0.312

Bila dilakukan perhitungan rata-rata untuk *interval maintenance* dengan tingkat kehandalan yang berbeda-beda untuk keseluruhan excavator EX-2500 maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 7. Interval Maintenance Rata-Rata untuk Keseluruhan EX-2500

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Kehandalan Yang Berbeda-beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	20.79	55.70	142.18
OPTIONAL ACCESSORIES	36.70	88.85	236.29
ELECTRICAL SYSTEM	68.06	141.92	293.87
ENGINE	114.27	239.51	480.07

4.2. ANALISA KETERSEDIAAN

Berdasarkan pengolahan data pada bab sebelumnya, maka ketersediaan pada masing-masing subsistem diperlihatkan pada tabel 4.8:

Tabel 4. 8. Ketersediaan Setiap Subsistem pada EX-728

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	53	13201.99	152.01	249.094	2.868	0.9886
OPTIONAL ACCESSORIES	31	11102.18	25.82	358.135	0.833	0.9977
ATTACHMENT/ WORK EQUIPMENT	29	12855.59	28.41	443.296	0.980	0.9978
ELECTRICAL SYSTEM	26	10827.22	29.78	416.432	1.145	0.9973
ENGINE	24	10275.16	14.84	428.132	0.618	0.9986
TOTAL AVAILABILITY						0.9800

Perhitungan pada analisa ketersediaan berdasarkan jumlah frekuensi terjadinya *breakdown*, jumlah waktu total antar *breakdown*, serta jumlah waktu total dilakukannya perbaikan. Pada tabel 4.8 terlihat bahwa nilai ketersediaan terendah subsistem adalah Hydraulic System yaitu 0.989. Kemudian nilai ketersediaan terendah selanjutnya adalah Electrical System yaitu 0.9973.

4.3. ANALISA KEMAMPU-RAWATAN (MTTR DAN MTBF)

Berdasarkan tabel 4.8 dapat pula ditentukan tingkat kemampu-rawatan dari masing-masing subsistem pada EX-728. Tingkat kemampu-rawatan ditentukan berdasarkan nilai MTTR. Semakin rendah nilai MTTR dari suatu subsistem maka tingkat kemampu-rawatan adalah yang paling tinggi, demikian sebaliknya. Kemampu-rawatan yang paling tinggi adalah Engine dengan waktu reparasi atau *downtime* terendah yaitu 0.618 jam. Dan terlihat juga kemampu-rawatan yang terendah adalah Hydraulic System dengan waktu reparasi atau *downtime* tertinggi yaitu 2.868 jam.

Sedangkan untuk menentukan *current reliability* pada system EX-728 dapat dilakukan dengan perhitungan berdasarkan tabel 4.8 dengan nilai MTBF diketahui sebagai berikut:

MTBF Hydraulic System	= 249.094 jam
MTBF Optional Accessories	= 358.135 jam
MTBF Attachment/Work Eq.	= 443.296 jam
MTBF Electrical System	= 416.432 jam
MTBF Engine	= 428.132 jam

Dengan asumsi t (*mission time* dari semua subsistem) = 30 hari = 720 jam, maka dengan menggunakan persamaan 2.2 diperoleh *current reliability* untuk semua subsistem pada EX-728 sebagai berikut:

Hydraulic System : $R(t) = 0.056$

Optional Accessories : $R(t) = 0.134$

Attachment/Work Eq. : $R(t) = 0.197$

Electrical System : $R(t) = 0.177$

Engine : $R(t) = 0.186$

Dengan menggunakan persamaan 2.2, tabel 4.9 menunjukkan *current reliability* untuk semua excavator dengan asumsi *mission time* dari setiap subsistem adalah 30 hari atau 720 jam.

Tabel 4.9. Current Reliability Excavator EX-2500

EGI	R(t)						Total Reliability
	Hydraulic System	Optional Accessories	Electrical System	Engine	Under Carriage	Attachment/Work Eq.	
EX-721	0.066	0.230	0.109	0.292	0.328	-	1.5999E-04
EX-722	0.089	0.399	0.286	0.386	0.562	-	2.2081E-03
EX-723	0.005	0.059	0.012	0.149	-	-	4.6906E-07
EX-724	0.011	0.056	0.017	0.202	-	-	2.0850E-06
EX-725	0.002	0.049	0.044	0.143	-	-	6.6177E-07
EX-726	0.043	0.163	0.166	0.250	-	0.135	3.8821E-05
EX-727	0.002	0.028	0.011	-	-	-	5.5524E-07
EX-728	0.056	0.134	0.177	0.186	-	0.190	4.6630E-05
EX-729	0.029	0.307	0.199	0.187	-	-	3.2570E-04
EX-730	0.236	0.103	0.037	0.377	-	-	3.4010E-04
SH-701	0.101	0.401	0.205	-	-	-	8.3029E-03
SH-702	0.028	0.154	0.164	0.047	-	-	3.2565E-05

4.4. MODEL PROYEKSI PENINGKATAN KEHANDALAN

Dalam hal model untuk peningkatan kehandalan sistem, maka dilakukan perubahan pada *interval maintenance*. Dengan menggunakan persamaan 2.2 akan diperoleh tingkat kegagalan (*failure rate*) subsistem akan turun bila dilakukan perubahan *interval maintenance* untuk beberapa tingkat kehandalan dengan *mission time* 30 hari atau 720 jam.

- Untuk $R(t)=0.5$, maka $\lambda=9.625 \times 10^{-4}$ kegagalan/jam atau 0.9625 kegagalan dalam seribu jam operasi.
- Untuk $R(t)=0.75$, maka $\lambda=3.996 \times 10^{-4}$ kegagalan/jam atau 0.3996 kegagalan dalam seribu jam operasi.
- Untuk $R(t)=0.9$, maka $\lambda=1.463 \times 10^{-4}$ kegagalan/jam atau 0.1463 kegagalan dalam seribu jam operasi.

Dengan menggunakan nilai *failure rate* yang telah diperoleh berdasarkan tingkat kehandalan yang ingin dicapai, dapat pula diketahui waktu rata-rata antar kegagalan atau MTBF dari masing-masing subsistem. MTBF merupakan kebalikan dari *failure rate* yang hasilnya sebagai berikut:

- Untuk $R(t)=0.5$ dengan $\lambda=9.625 \times 10^{-4}$ kegagalan/jam atau 0.9625 kegagalan dalam seribu jam operasi maka $MTBF=1038.961$ jam.
- Untuk $R(t)=0.75$ dengan $\lambda=3.996 \times 10^{-4}$ kegagalan/jam atau 0.3996 kegagalan dalam seribu jam operasi maka $MTBF=2506.27$ jam.
- Untuk $R(t)=0.9$ dengan $\lambda=1.463 \times 10^{-4}$ kegagalan/jam atau 0.1463 kegagalan dalam seribu jam operasi maka $MTBF=6849.32$ jam.

4.5. MODEL PROYEKSI PENINGKATAN KETERSEDIAAN

Tahap pertama adalah dengan menentukan proyeksi frekuensi kegagalan yang dapat terjadi untuk masing-masing tingkat kehandalan yang ingin dicapai. Dengan asumsi bahwa waktu pengoperasian unit adalah selama 25 bulan atau 18240 jam, maka:

- Untuk kehandalan 0.5, maka frekuensi kegagalan yang dapat terjadi adalah 17.992 kali.
- Untuk kehandalan 0.75, maka frekuensi kegagalan yang dapat terjadi adalah 7.278 kali.
- Untuk kehandalan 0.9, maka frekuensi kegagalan yang dapat terjadi adalah 2.663 kali

Setelah diperoleh nilai proyeksi frekuensi kegagalan yang dapat terjadi, kemudian dihitung *cumulative TTR* untuk setiap subsistem yang ada pada unit excavator tersebut. Pada perhitungan *cumulative TTR* menggunakan asumsi bahwa *MTTR* untuk masing-masing subsistem adalah tetap. Kemudian *cumulative TBF* dari

masing-masing subsistem ditentukan berdasarkan selisih antara *available time* atau 25 bulan waktu operasi unit excavator terhadap nilai *cumulative TTR* yang telah diperoleh sebelumnya. Dengan menggunakan persamaan 2.30, ketersediaan (*availability*) untuk masing-masing subsistem pada unit excavator tersebut dapat ditentukan. Kemudian berdasarkan tingkat ketersediaan masing-masing subsistem dapat ditentukan pula tingkat ketersediaan untuk suatu unit excavator.

Tabel 4.10 sampai dengan tabel 4.13 menunjukkan proyeksi peningkatan ketersediaan excavator untuk tingkat kehandalan 0.5, 0.75, dan 0.9.

4.6. ANALISA PRODUKSI, MANFAAT DAN OPTIMALISASI MAINTENANCE

Analisa benefit dilakukan dengan membandingkan antara pencapaian produksi yang dilakukan saat ini dan proyeksi peningkatan produksi yang dapat dicapai sesuai dengan proyeksi nilai kehandalan dan ketersediaan. Adapun beberapa nilai asumsi yang digunakan antara lain:

- *Production rate* untuk satu unit excavator adalah 960 banks per cubic metre atau 1446 ton batubara.
- Penjualan batubara tahun 2008 adalah Rp.17.992 miliar
- EBITDA per tahun 2008 adalah Rp.3.226 miliar
- Harga batubara di spot market adalah Rp.700.000
- EBITDA/ton batubara adalah hasil bagi antara EBITDA 2008 terhadap nilai penjualan per ton batubara, yaitu Rp.127.067,586

Dengan menggunakan asumsi tersebut, tabel 4.10 menunjukkan produksi batubara saat ini dan produksi yang hilang untuk jangka waktu kegiatan September 2007 sampai dengan September 2009. Tabel 4.10 memperlihatkan total batubara yang tidak dapat diambil mencapai 10.69 juta meter kubik yang diakibatkan oleh tingkat ketersediaan yang rendah. Sehingga berdasarkan tabel 4.10, semakin rendah nilai ketersediaan suatu unit excavator maka produksi batubara yang hilang (*lost opportunity*) akan semakin besar dan demikian pula sebaliknya.

Dengan menggunakan asumsi tersebut pula, maka dengan menentukan produksi batubara untuk saat ini dan proyeksi peningkatan produksi batubara berdasarkan

nilai kehandalan yang ingin dicapai maka dapat diperoleh nilai *benefit* untuk masing-masing excavator dan *total benefit* yang akan diperoleh berdasarkan nilai kehandalan yang ingin dicapai.

Tabel 4. 10. Current Production dan Lost Production Excavator Berdasarkan Nilai Ketersediaan

EGI	<i>Current Availability</i>	<i>Current Production (ton)</i>	<i>Lost Production (ton)</i>
EX-721	0.9758	25.736.764,0320	638.275,9680
EX-722	0.9871	26.008.496,9940	366.613,0560
EX-723	0.9383	24.747.700,0320	1.627.339,9680
EX-724	0.9513	25.090.575,5520	1.284.464,4480
EX-725	0.9487	25.022.000,4480	1.353.039,5520
EX-726	0.9787	25.813.251,6480	561.788,3520
EX-727	0.9440	24.898.037,7600	1.477.002,240
EX-728	0.9800	25.847.539,2000	527.500,8000
EX-729	0.9696	25.573.238,7840	801.801,2160
EX-730	0.9724	25.647.088,8960	727.951,1040
SH-701	0.9855	25.992.601,9200	382.438,0800
SH-702	0.9642	25.430.813,5680	944.226,4320
Total		305.808.108,8340	10.692.441,2160

Tabel 4. 11. Proyeksi Peningkatan Ketersediaan dan *Benefit* untuk Pencapaian Kehandalan 0.5

EGI	Ketersediaan Saat Ini	Produksi Saat Ini (ton)	Proyeksi Peningkatan Ketersediaan	Proyeksi Produksi (ton)	<i>Benefit</i>
EX-721	0.9758	25.736.764,032	0.9883	26.067.261,242	IDR 41,995,482,624.288
EX-722	0.9861	26.008.426,994	0.9926	26.180.516,993	IDR 21,867,067,040.015
EX-723	0.9383	24.747.700,032	0.9853	25.988.357,394	IDR 157,647,336,048.502
EX-724	0.9513	25.090.575,552	0.9891	26.086.249,633	IDR 126,517,901,914.927
EX-725	0.9487	25.022.000,448	0.9884	26.069.242,496	IDR 133,070,519,039.811
EX-726	0.9787	25.813.251,648	0.9931	26.192.581,201	IDR 48,200,490,650.276
EX-727	0.9440	24.898.037,760	0.9920	26.163.594,079	IDR 160,811,186,389.054
EX-728	0.9800	25.847.539,200	0.9938	26.211.818,318	IDR 46,288,068,136.005
EX-729	0.9696	25.573.238,784	0.9892	26.090.550,564	IDR 65,733,559,138.877
EX-730	0.9724	25.647.088,896	0.9879	26.056.447,643	IDR 52,016,227,787.708
SH-701	0.9855	25.992.601,920	0.9943	26.225.933,005	IDR 29,648,817,724.775
SH-702	0.9642	25.430.813,568	0.9913	26.146.525,324	IDR 90,943,765,053.585
TOTAL BENEFIT					IDR 974,740,421,547.823

Tabel 4. 12. Proyeksi Peningkatan Ketersediaan dan *Benefit* untuk Pencapaian Kehandalan 0.75

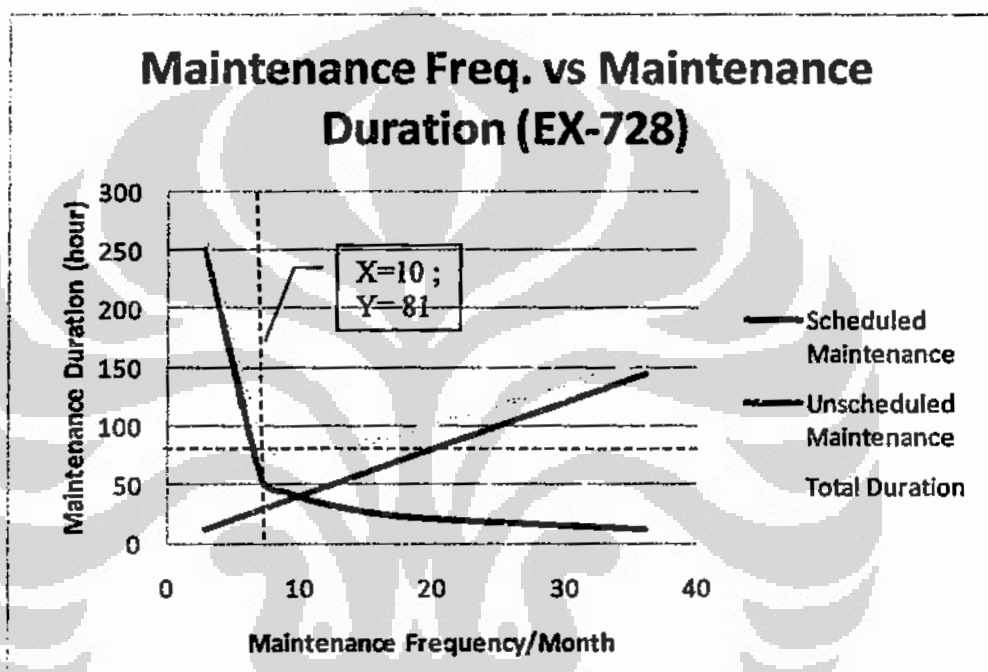
EGI	Ketersediaan Saat Ini	Produksi Saat Ini (ton)	Proyeksi Peningkatan Ketersediaan	Proyeksi Produksi (ton)	<i>Benefit</i>
EX-721	0.9758	25.736.764,032	0.9951	26.247.106,819	IDR 64,848,026,020.631
EX-722	0.9871	26.008.426,994	0.9969	26.294.263,548	IDR 36,320,567,322.372
EX-723	0.9383	24.747.700,032	0.9939	26.214.312,349	IDR 186,358,886,728.964
EX-724	0.9513	25.090.575,552	0.9955	26.255.039,941	IDR 147,965,678,865.564
EX-725	0.9487	25.022.000,448	0.9952	26.247.983,180	IDR 155,782,666,183.376
EX-726	0.9787	25.813.251,648	0.9971	26.299.287,906	IDR 61,759,454,011.157
EX-727	0.9440	24.898.037,760	0.9967	26.287.252,044	IDR 176,524,105,554.573
EX-728	0.9800	25.847.539,200	0.9969	26.292.755,158	IDR 56,572,517,013.994
EX-729	0.9696	25.573.238,784	0.9955	26.256.838,735	IDR 86,863,395,613.410
EX-730	0.9724	25.647.088,896	0.9950	26.242.691,500	IDR 75,681,785,135.139
SH-701	0.9855	25.992.601,920	0.9977	26.313.164,294	IDR 40,733,087,079.840
SH-702	0.9642	25.430.813,568	0.9964	26.280.166,235	IDR 107,925,193,044.661
TOTAL BENEFIT					IDR 1,197,335,362,573.680

Tabel 4. 13. Proyeksi Peningkatan Ketersediaan dan *Benefit* untuk Pencapaian Kehandalan 0.9

EGI	Ketersediaan Saat Ini	Produksi Saat Ini (ton)	Proyeksi Peningkatan Ketersediaan	Proyeksi Produksi (ton)	<i>Benefit</i>
EX-721	0.9758	25.736.764,032	0.9982	26.328.170,586	IDR 75,148,603,167.217
EX-722	0.9871	26.008.426,994	0.9989	26.345.460,032	IDR 42,825,980,848.226
EX-723	0.9383	24.747.700,032	0.9978	26.316.156,604	IDR 199,299,990,395.907
EX-724	0.9513	25.090.575,552	0.9983	26.331.083,588	IDR 157,628,361,486.891
EX-725	0.9487	25.022.000,448	0.9982	26.328.500,346	IDR 166,013,788,116.065
EX-726	0.9787	25.813.251,648	0.9989	26.347.302,337	IDR 67,860,531,904.563
EX-727	0.9440	24.898.037,760	0.9988	26.342.895,057	IDR 183,594,528,807.673
EX-728	0.9800	25.847.539,200	0.9991	25.310.093,326	IDR 61,354,803,244.572
EX-729	0.9696	25.573.238,784	0.9984	26.331.744,407	IDR 96,381,478,473.759
EX-730	0.9724	25.647.088,896	0.9982	26.326.566,085	IDR 86,339,526,099.053
SH-701	0.9855	25.992.601,920	0.9991	26.352.388,232	IDR 45,717,178,143.102
SH-702	0.9642	25.430.813,568	0.9987	26.340.300,602	IDR 115,566,321,893.607
TOTAL BENEFIT					IDR 1,297,731,092,580.640

Gambar 4.1 adalah sebuah kurva untuk menentukan nilai optimal antara frekuensi *maintenance* dan durasi waktu yang diperlukan untuk kegiatan *maintenance* pada EX-728. Gambar 4.1 diperoleh dengan membandingkan kegiatan *scheduled*

maintenance yang dilakukan berdurasi 4 jam untuk periode satu bulan dengan frekuensi *breakdown/failure* yang dapat terjadi selama satu bulan berdasarkan proyeksi kehandalan. Sama halnya dalam menentukan model ketersediaan excavator, maka MTTR yang diakibatkan oleh terjadinya *breakdown* atau kegiatan *unscheduled maintenance* dalam masing-masing proyeksi kehandalan adalah sama berdasarkan masing-masing excavator.



Gambar 4. 1. Titik Optimal Antara Frekuensi *Maintenance* Terhadap Total Durasi *Maintenance* pada EX-728

Berdasarkan gambar 4.1, nilai optimal untuk meningkatkan kehandalan EX-728 adalah pada frekuensi *maintenance* 10 kali per bulan dengan total durasi *maintenance* adalah 81 jam. Tabel 4.14 menunjukkan frekuensi *maintenance* yang optimal dan total durasi waktu *maintenance* optimal yang dapat digunakan untuk masing-masing excavator.

Tabel 4. 14. Frekuensi Maintenance dan Total Durasi Maintenance yang Optimal untuk Setiap Excavator EX-2500

EGI	Frekuensi Maintenance Optimal (Bulan)	Durasi Scheduled Maintenance (jam)	Jumlah Failure	Durasi Unscheduled Maintenance (jam)	Total Durasi Maintenance (jam)	Kelendahan (Optimal)	Ketersediaan (Optimal)	Proyeksi Jumlah Produksi (ton)	Benefit
EX-721	8	32	16	40	72	0.5317	0.9961	26271342.45	IDR 67,927,588,530.506
EX-722	8	32	22	37	69	0.4171	0.9962	26275942.94	IDR 30,641,198,780.038
EX-723	17	68	22	70	138	0.4129	0.9924	26175438.30	IDR 181,419,255,106.832
EX-724	13	52	40	111	163	0.2058	0.9911	26140029.95	IDR 133,351,636,714.325
EX-725	17	68	16	44	112	0.5216	0.9938	26212735.20	IDR 151,303,790,531.756
EX-726	11	44	23	36	80	0.3997	0.9956	26259520.03	IDR 56,706,245,447.537
EX-727	18	72	19	54	126	0.4770	0.9931	26193105.91	IDR 164,561,183,025.285
EX-728	8	32	32	49	81	0.2866	0.9956	26258307.91	IDR 52,195,388,831.654
EX-729	12	48	18	50	98	0.4976	0.9947	26233950.26	IDR 83,955,012,838.841
EX-730	14	56	19	48	104	0.4765	0.9943	26225343.31	IDR 73,477,392,918.840
SH-701	10	40	17	38	78	0.5089	0.9957	26262205.13	IDR 34,257,829,301.737
SH-702	12	48	21	49	97	0.4340	0.9947	26235464.37	IDR 102,245,035,195.166

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Kegiatan *scheduled maintenance* merupakan suatu cara untuk meningkatkan kehandalan unit excavator, namun ada beberapa faktor yang tidak boleh diabaikan yaitu efektifitas dari kegiatan *maintenance* tersebut, berupa durasi *maintenance*, jenis aktifitas yang dilakukan dan *tools* ataupun metode yang dipakai pada aktifitas *maintenance* tersebut. Berdasarkan perhitungan *reliability importance measure* dan ketersediaan, maka upaya peningkatan harus diprioritaskan pada Hydraulic System karena memiliki efek terbesar pada kehandalan sistem keseluruhan. Model proyeksi peningkatan kehandalan dan ketersediaan menunjukkan jumlah *breakdown* yang terjadi pada unit excavator turun selingga mengurangi kegiatan *unscheduled maintenance*.

Untuk mencapai tingkat kehandalan 0.5 maka perubahan jadwal *preventive maintenance* adalah sebagai berikut: Hydraulic System setiap 142.18 jam, Optional Accessories setiap 236.29 jam, Electrical System setiap 293.87 jam, dan Engine setiap 480.07 jam.

Untuk mencapai tingkat kehandalan 0.75 maka perubahan jadwal *preventive maintenance* adalah sebagai berikut: Hydraulic System setiap 55.7 jam, Optional Accessories setiap 88.85 jam, Electrical System setiap 141.92 jam dan Engine setiap 239.51 jam.

Untuk mencapai tingkatan kehandalan 0.9 maka perubahan jadwal *preventive maintenance* adalah sebagai berikut: Hydraulic System setiap 20.74 jam, Optional Accessories setiap 36.70 jam, Electrical System setiap 68.06 jam, dan Engine setiap 114.27 jam.

Pada pencapaian tingkat kehandalan 0.5, 0.75 dan 0.9, maka waktu reparasi rata-rata (MTTR) setiap subsistem pada setiap unit excavator adalah sebagai berikut: Hydraulic System adalah 2.705 jam, Optional Accessories adalah 1.586 jam, Electrical System adalah 1.675 jam dan Engine adalah 4.405 jam.

Sedangkan model proyeksi yang optimal dari Excavator EX-2500 adalah sebagai berikut:

- Frekuensi rata-rata *scheduled maintenance* : (12.33 ± 3.60) kali per bulan
- Total durasi *maintenance* : (101.26 ± 28.97) jam
- Proyeksi rata-rata kehandalan (*reliability*) : (43.08 ± 9.82) %
- Proyeksi rata-rata ketersediaan (*availability*) : (99.44 ± 0.16) %

5.2. SARAN

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah dengan melakukan analisa kehandalan dengan metode lainnya seperti FMEA/FMCEA atau Markov untuk setiap komponen/sub-subsistem guna mendapatkan periode *useful life* dari suatu komponen dengan lebih baik. Analisa kehandalan dapat mengikutsertakan parameter lain dalam menentukan waktu rata-rata perbaikan (MTTR) untuk masing-masing subsistem, dimana parameter tersebut antara lain: grade *service-man*, ketersediaan komponen (*spare parts*), ketersediaan *tools*, dan lain-lain. Kemudian melakukan analisa biaya dan manfaat yang detail berdasarkan biaya per *maintenance* sehingga dapat menentukan nilai optimal antara frekuensi *maintenance* dan biaya *maintenance* untuk peningkatan kehandalan dan ketersediaan yang optimal.

DAFTAR REFERENSI

- Andres, J.D., Beeson, S. (2003), "Birnbaum's measures of component importance for noncoherent systems analysis", *IEEE Transactions on reliability*, Vol. 52, No. 2, p. 213-219.
- Ascher, H., Feingold, H. (1984), "Repairable system reliability", *Dekker, New York*
- Barabady J. (2005), "Reliability and Maintainability Analysis of Crushing Plants in Jajarm Bauxite Mine of Iran", *Reliability and Maintainability Society*, p.109-115.
- Barabady, J. (December 2005), "Improvement of System Availability Using Reliability and Maintainability Analysis", *Division of Operation and Maintenance Engineering, Luleå University of Technology*.
- Barabady J., Kumar U., (2008), "Reliability analysis of mining equipment: A case study of crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran", *Reliability, Engineering and System Safety*, No. 93, p.647-653.
- Blanchard, B.S., Fabrycky, W.J. (1998), "System engineering and analysis", *Prentice Hall, New Jersey*.
- Blischke WR, Murthy DNP (2003), "Case studies in reliability and maintenance", *Wiley, USA*.
- Borgonov, E., Marsequera, M., Zio, E. (2000, January), "Monte Carlo methodological approach to plant availability modeling with maintenance, aging and obsolescence", *Engineering and System Safety*, Vol. 67, No. 1, p. 61-73.
- Brall, A., Gardner, L. (2001), "Institutionalizing reliability and maintainability in the industrial/commercial organization", *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, p. 129-132.
- Campbell, J.D., Jardin, A.K.S. (2001), "Maintenance Excellence", *Marcel Dekker, Inc. New York*.
- Dhillon, B.S. (2008), "Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety", *Springer Series, London*.
- Ebeling, C.E. (1997), "An introduction to reliability and maintainability engineering", *Mc Graw-Hill, New York*.

Fricks, M.F., Trivedi, K.S. (2003), "Importance Analysis with Markov Chains," *Proceedings of the 49th Annual Reliability and Maintainability Symposium*, p. 89-95

Hall RA, Daneshmend LK. (2003), Reliability modeling of surface mining equipment: data gathering and analysis methodology. *International Journal Surface Mining Reclamation Environment*, Vol. 17, No. 3, p.139-155

IEV 191-XX-XX (2005), "International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online database, Part 191: Dependability and quality of service", *Commission Electrotechnique Internationale, Geneva*, available at (IEC JULY): <http://domino.iec.ch/iev/iev.nsf/Welcome?OpenForm>.

Kececioglu, D. (1991), "Reliability Engineering Handbook", Vol. 1, *Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey*.

Kumar, R. (2004), "A conceptual framework for the development of a service delivery strategy for industrial systems and products", *Journal of business and industrial marketing*, Vol. 19, No. 5, p. 310-319

Kumar, U., Kelefsj , B. (1992), "Reliability analysis of hydraulic system of LHD machine using the power low process model", *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 35, no.3, p. 217-224

Leitch, R.D. (1995), "Reliability analysis for engineering", *Oxford University Press, New York*.

Lie, C.H., Chun, Y.H. (1986), "An algorithm for preventive maintenance policy", *IEEE Transactions on reliability*, Vol. R-35, Vol. 1, p. 71-75

Miranti, E. (2008), Prospek Batubara di Indonesia, *Economic Review*, No. 214.

Okogbaa, O.G., Peng, X. (1996), "Methodology for preventive maintenance analysis under transient response", *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, p. 335-340

Pamapersada Training Handbook (n.d.), *PT. Pamapersada Nusantara Tbk.*

Reliasoft (2000), "Using Reliability Importance Measures to Guide Component Improvement Effort", *Reliability Edge*, Vol. 1, No. 1, p.4-5

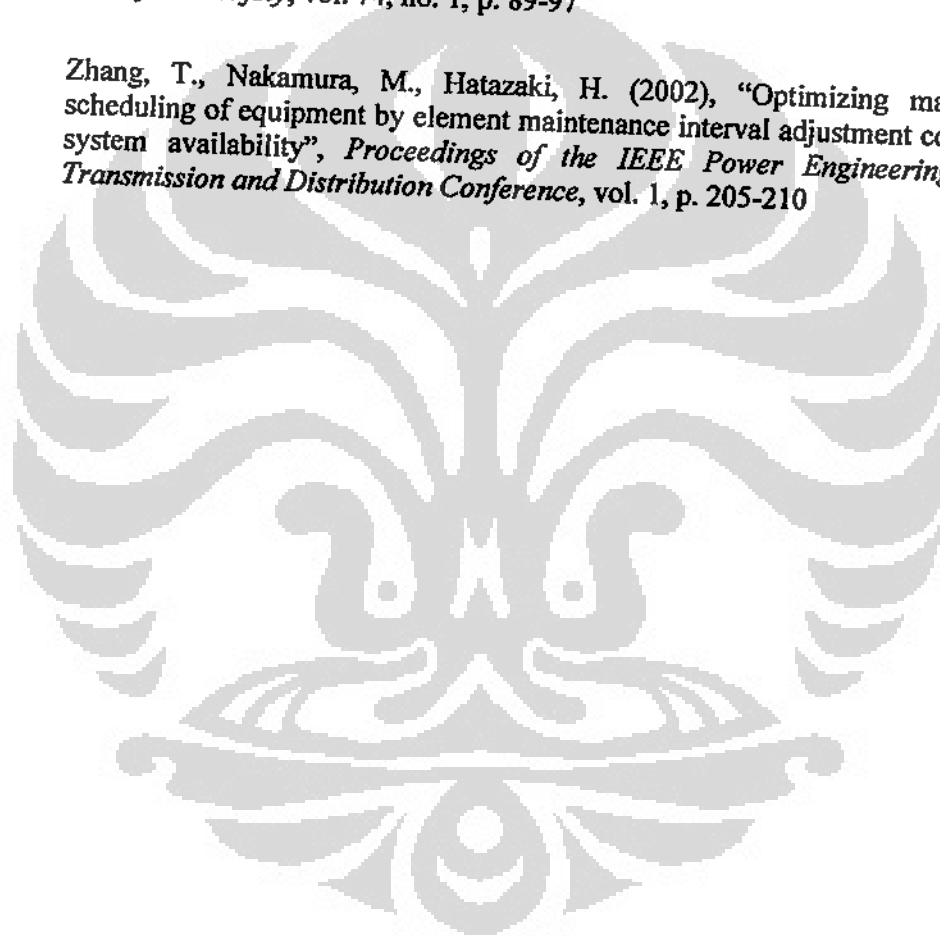
ReliaSoft (2005), User's Guide Weibull ++ Version 7, *ReliaSoft Publishing, USA*.

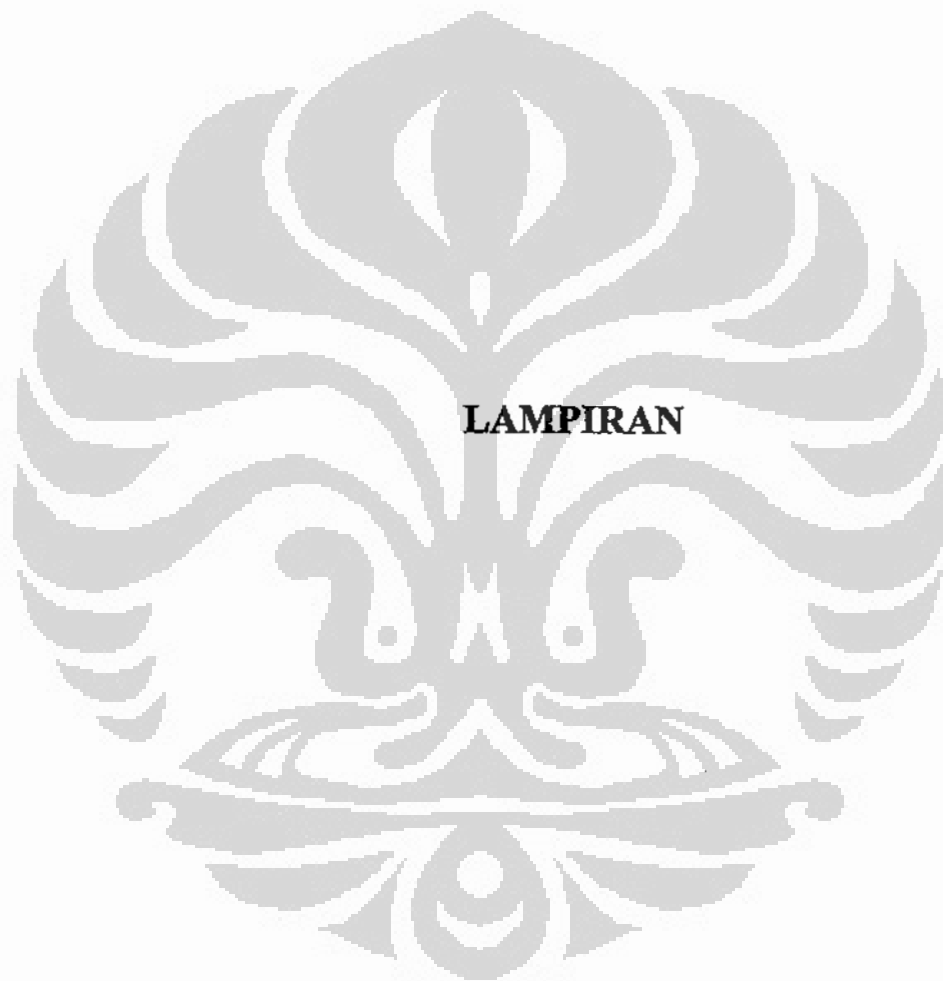
Samanta B, Sarkar B, Mukherjee S.K. (2004), "Reliability Modeling and performance Analysis of an LHD system in mining", *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol.110, No. 1, p.1-8.

Silver, E.A., Fiechter C.N. (1995), "Preventive maintenance with limited historical data", *European Journal of Operational Research*, vol. 82, no. 1, p. 125-144

Tsai, Y.T., Wang, K.S., Teng, H.Y. (2001), "Optimizing preventive maintenance for mechanical components using genetic algorithms", *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 74, no. 1, p. 89-97

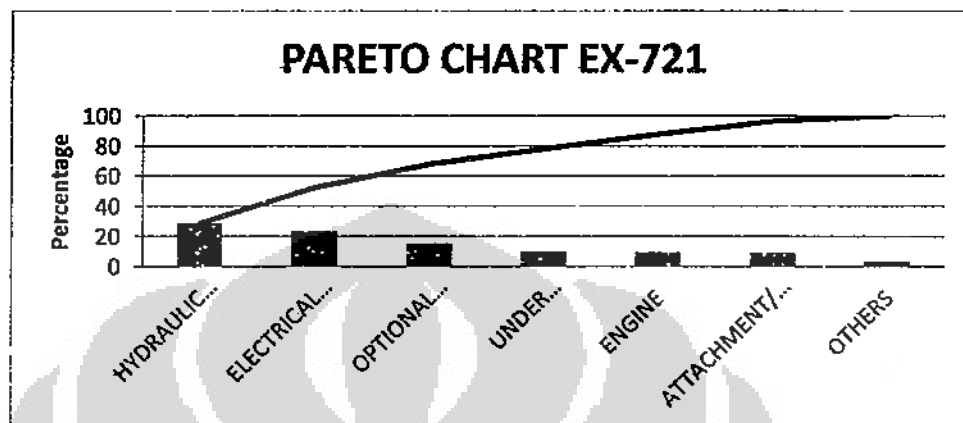
Zhang, T., Nakamura, M., Hatazaki, H. (2002), "Optimizing maintenance scheduling of equipment by element maintenance interval adjustment considering system availability", *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, vol. 1, p. 205-210



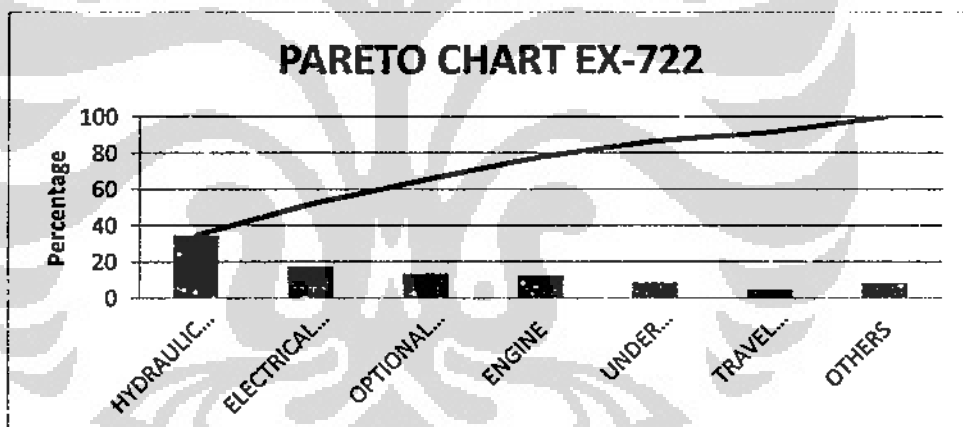


Lampiran 1. Pareto Chart

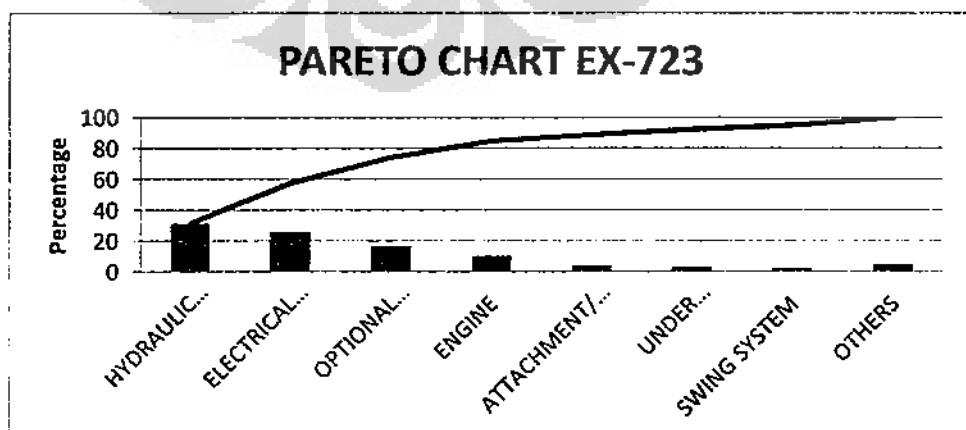
EX-721



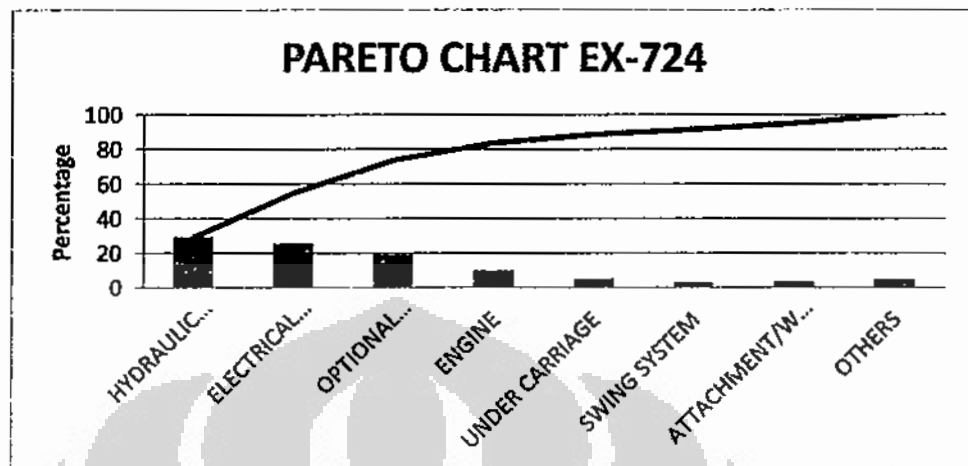
EX-722



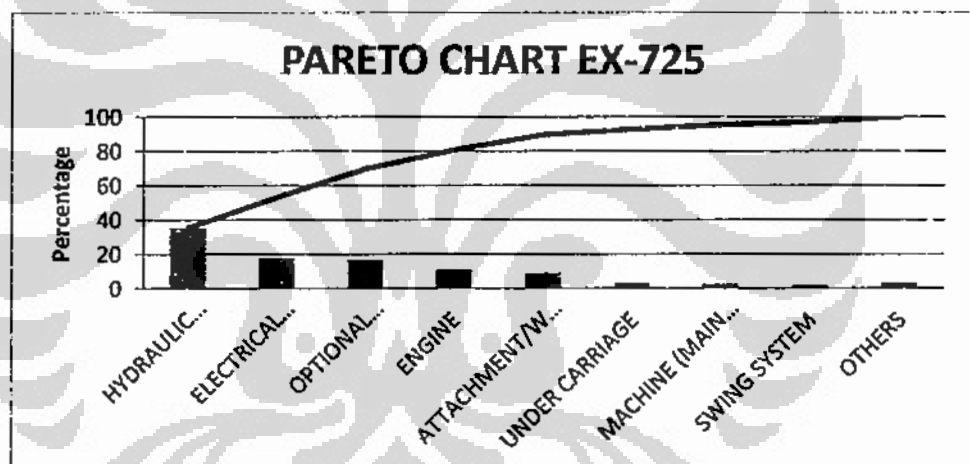
EX-723



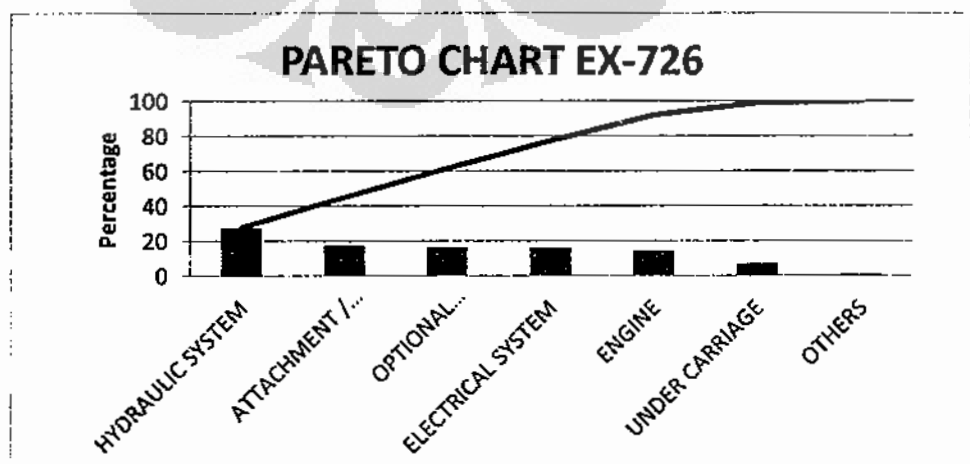
EX-724



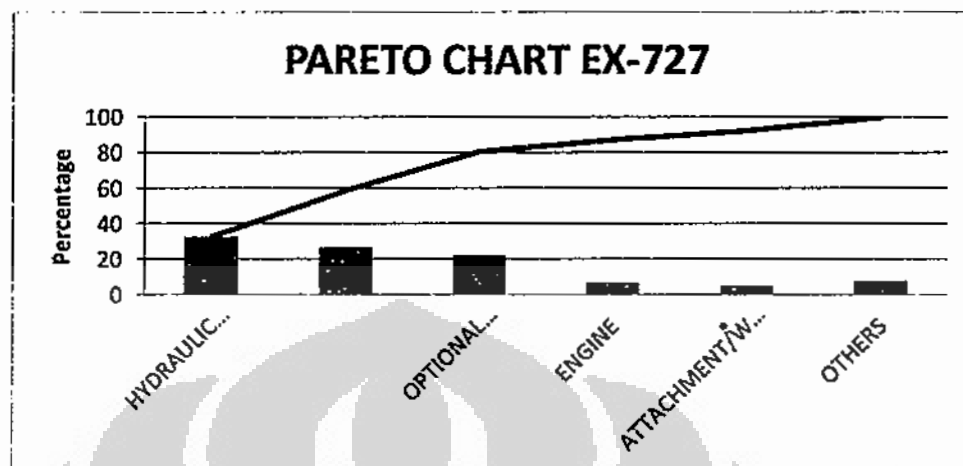
EX-725



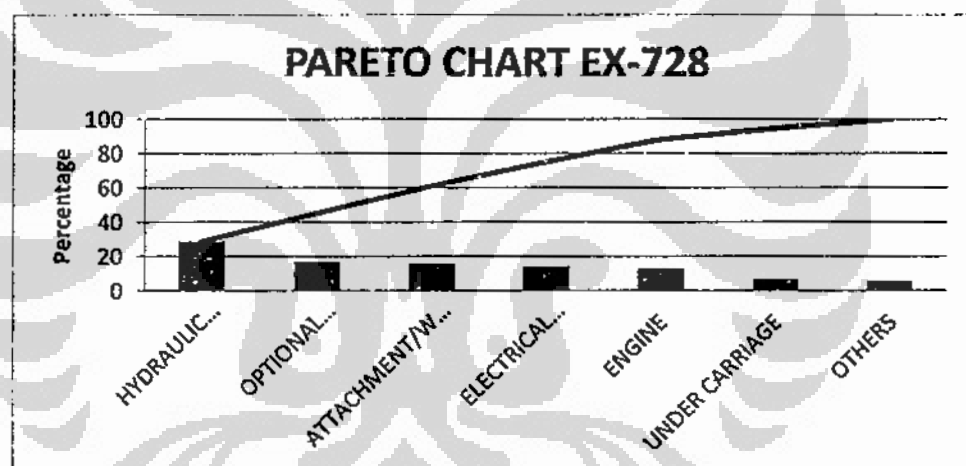
EX-726



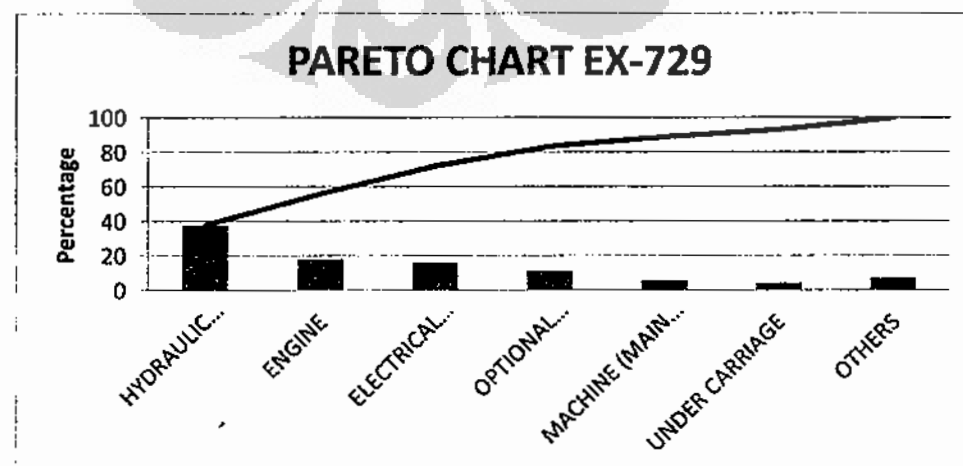
EX-727



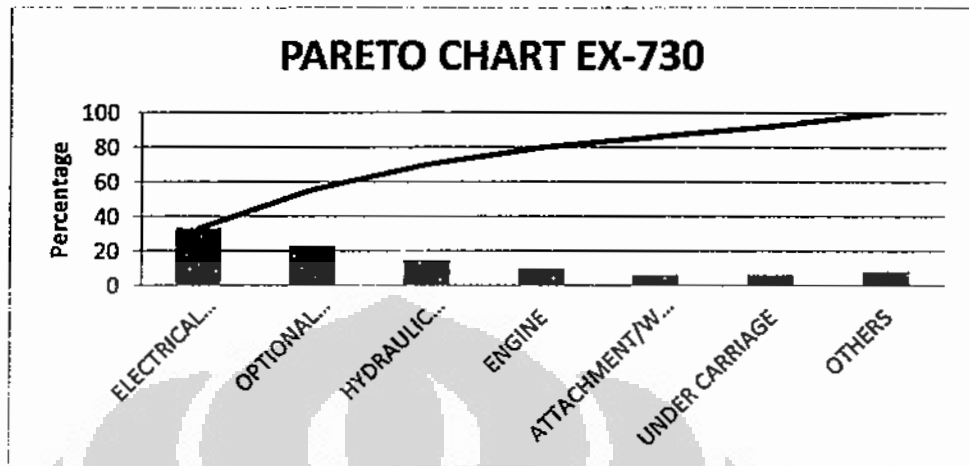
EX-728



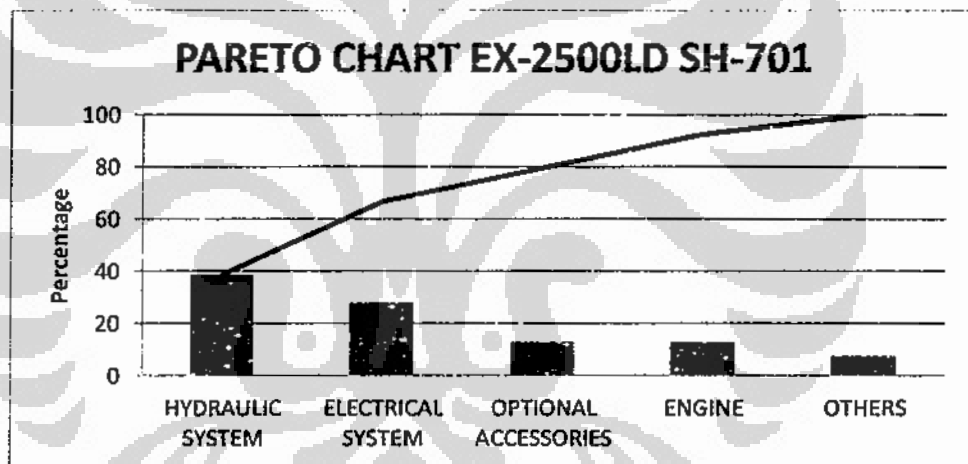
EX-729



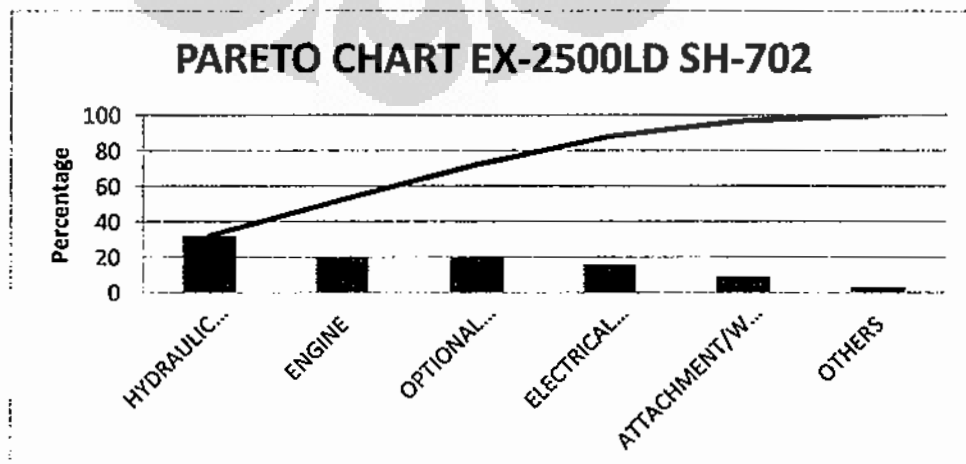
EX-730



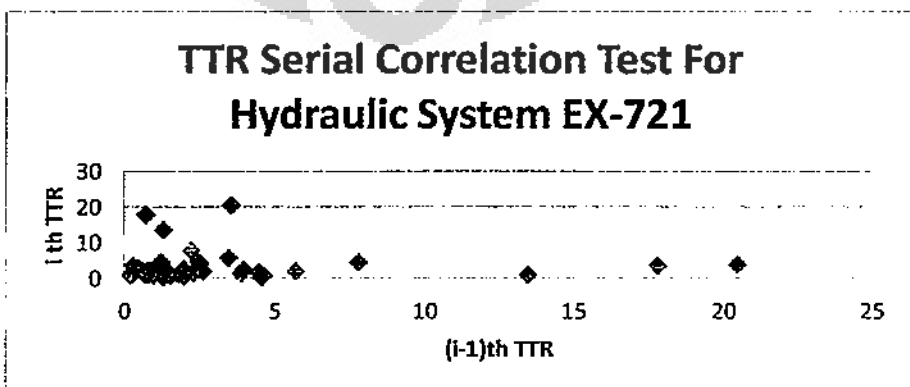
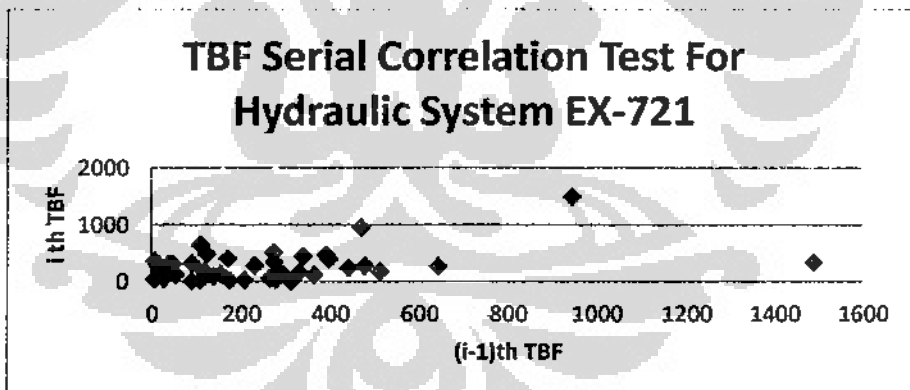
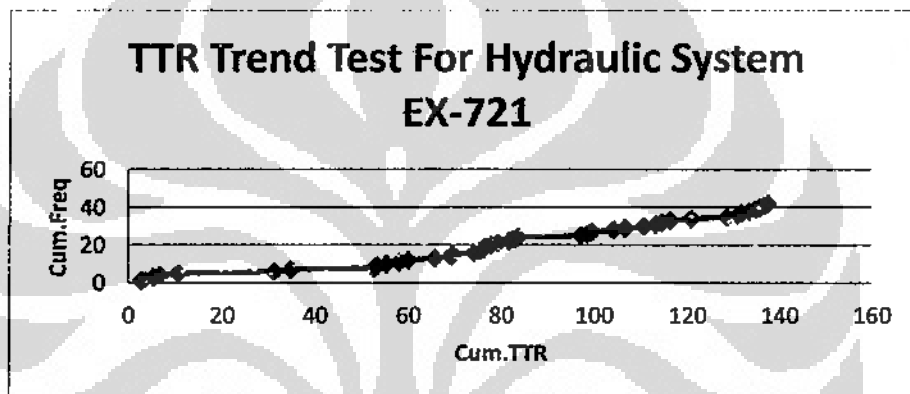
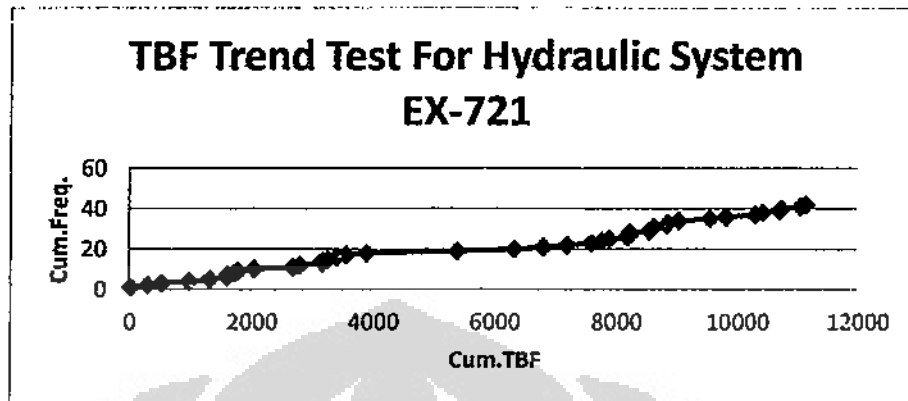
SH-701

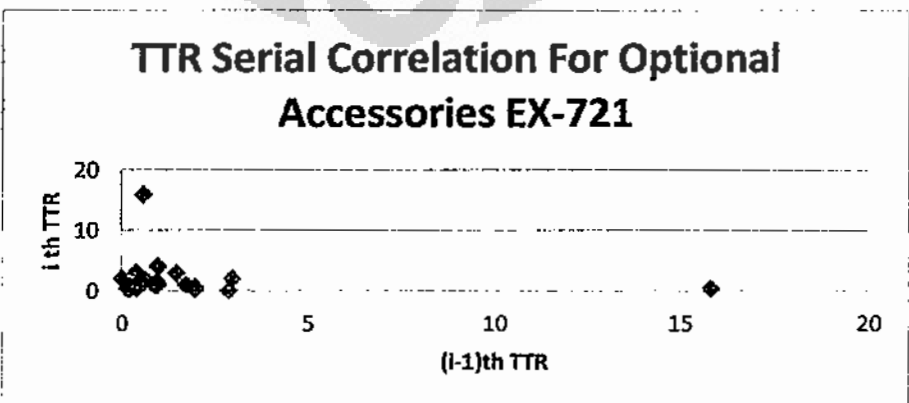
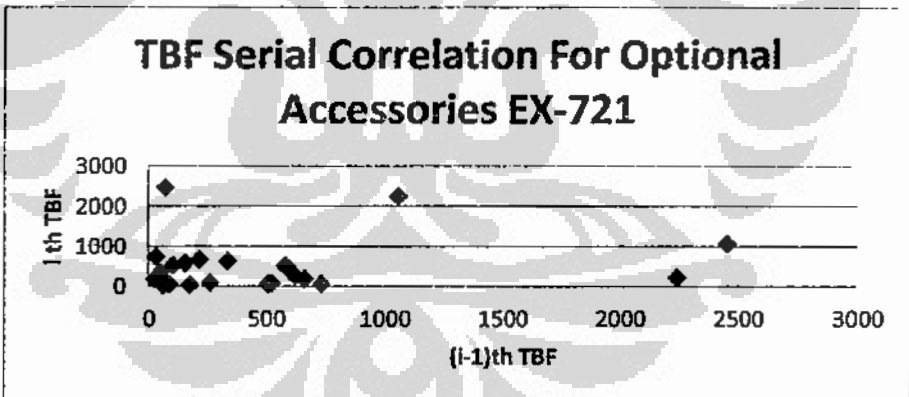
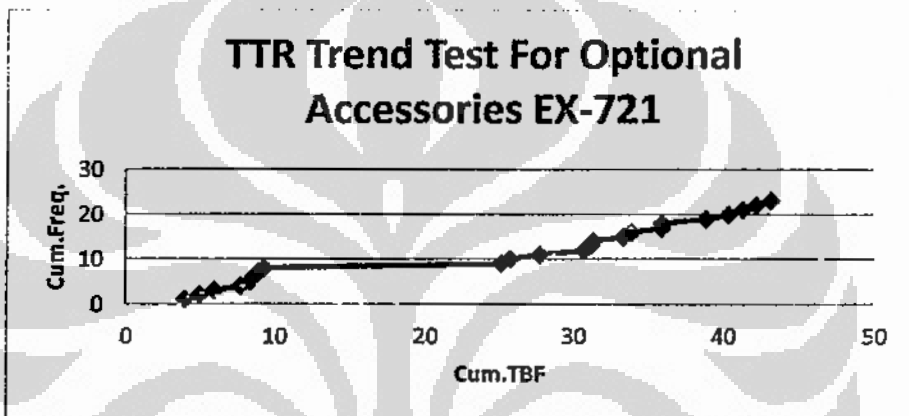
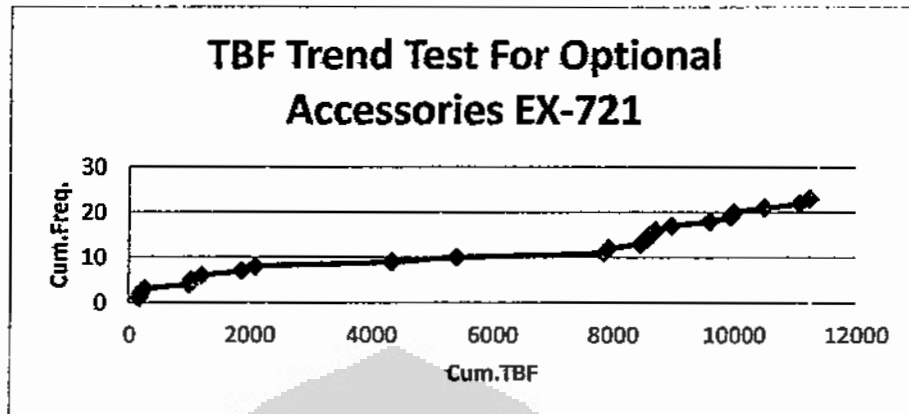


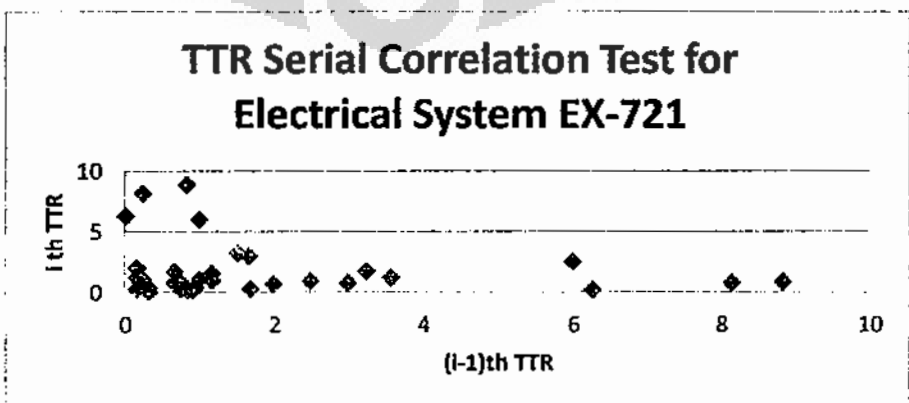
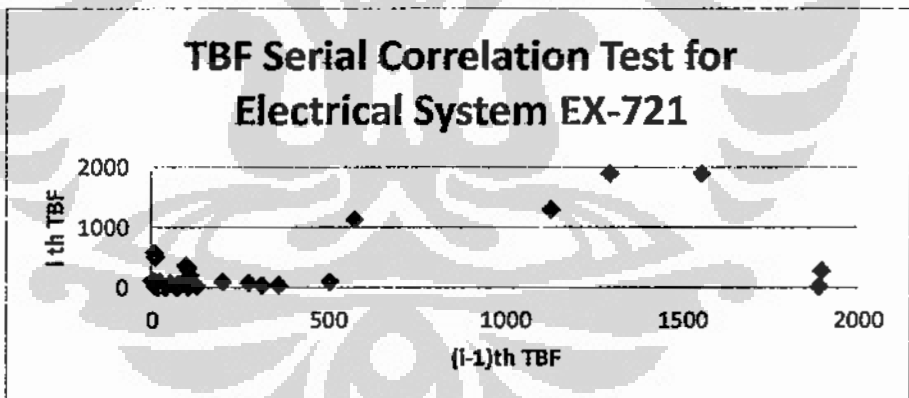
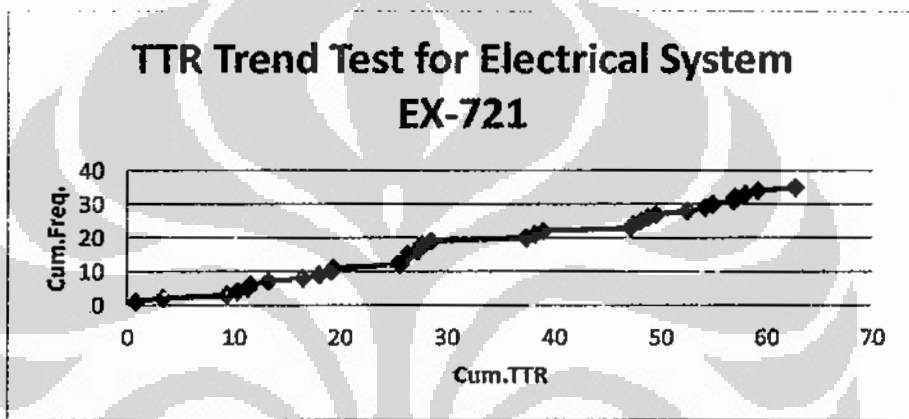
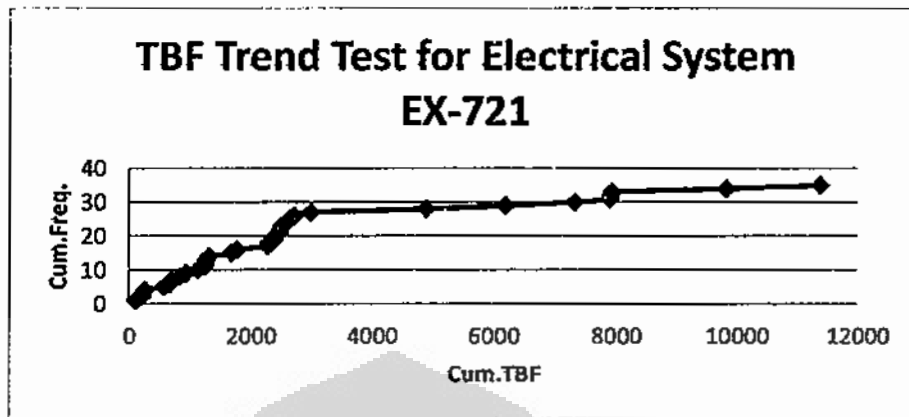
SH-702

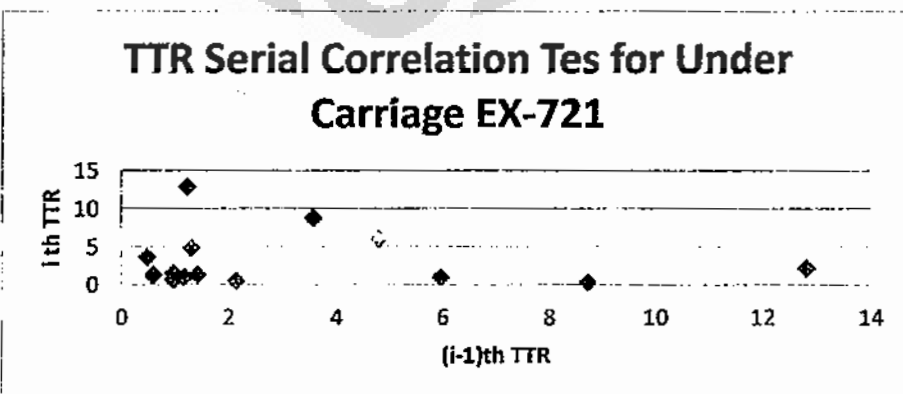
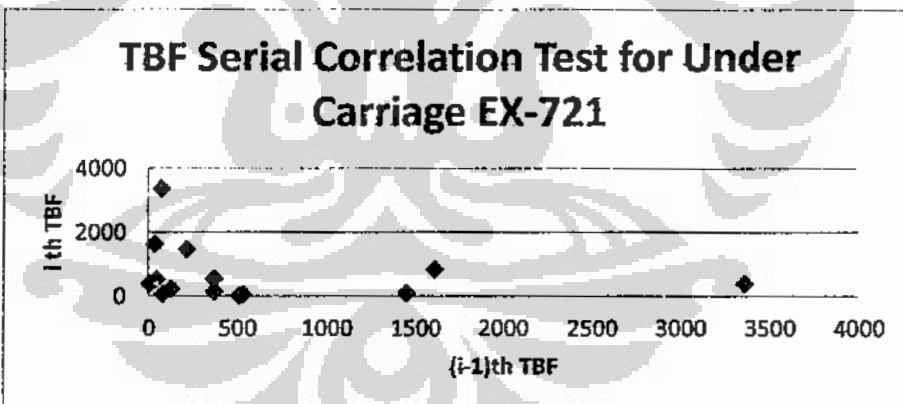
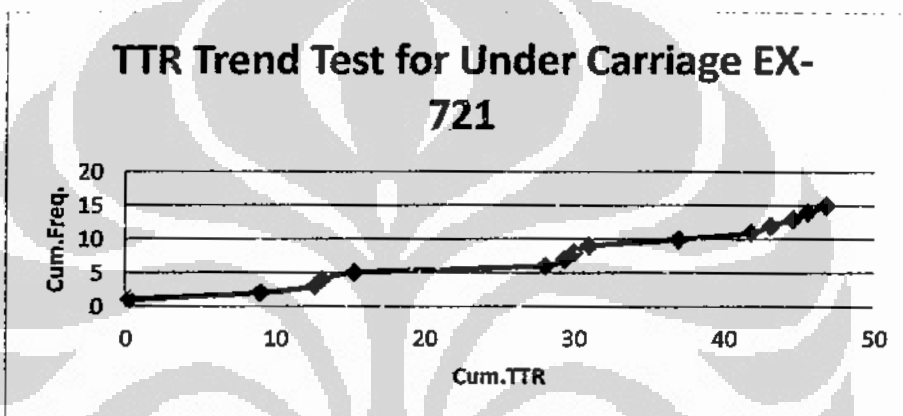
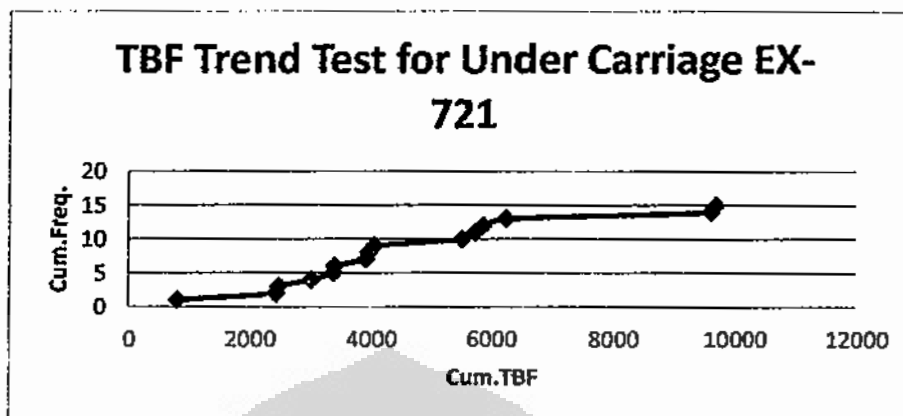


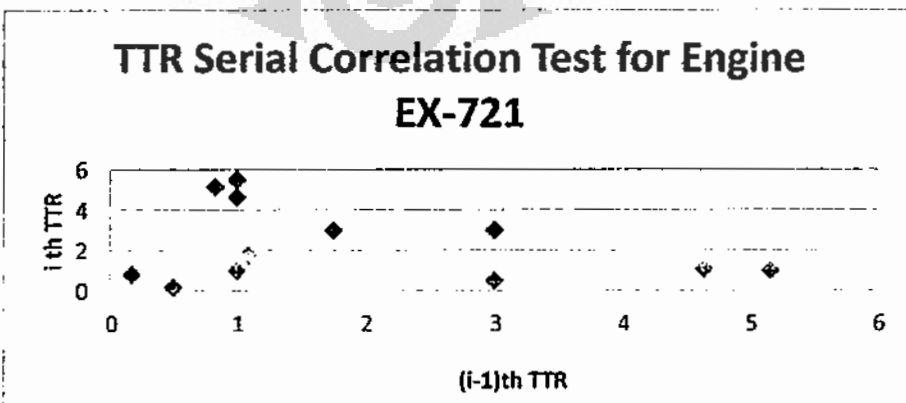
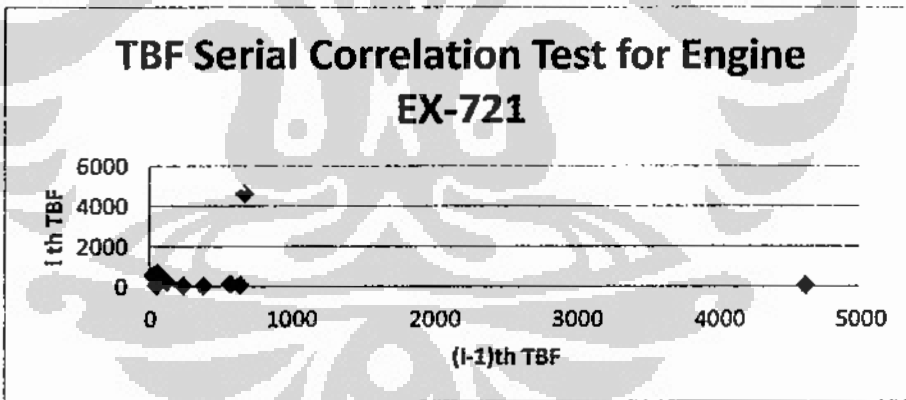
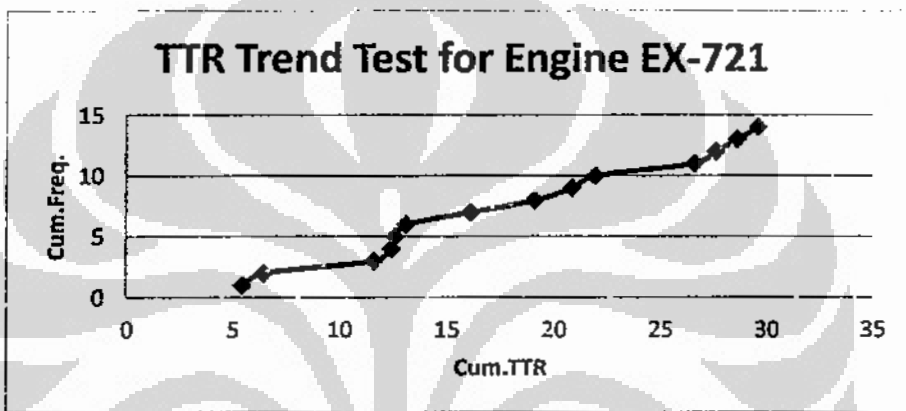
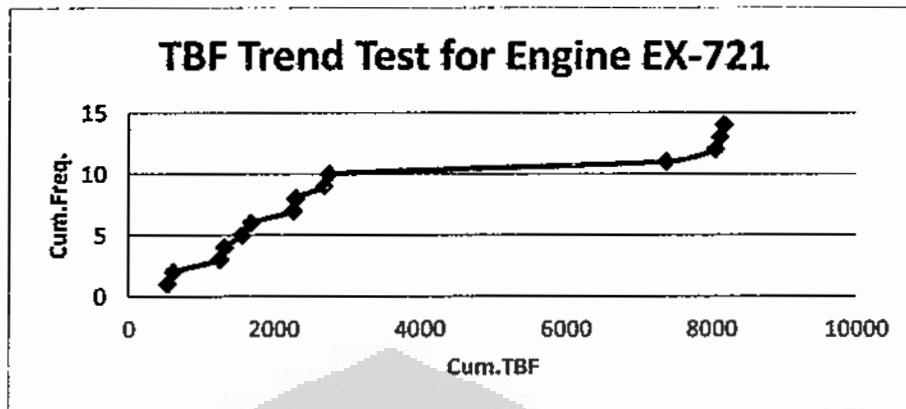
Lampiran 2. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-721



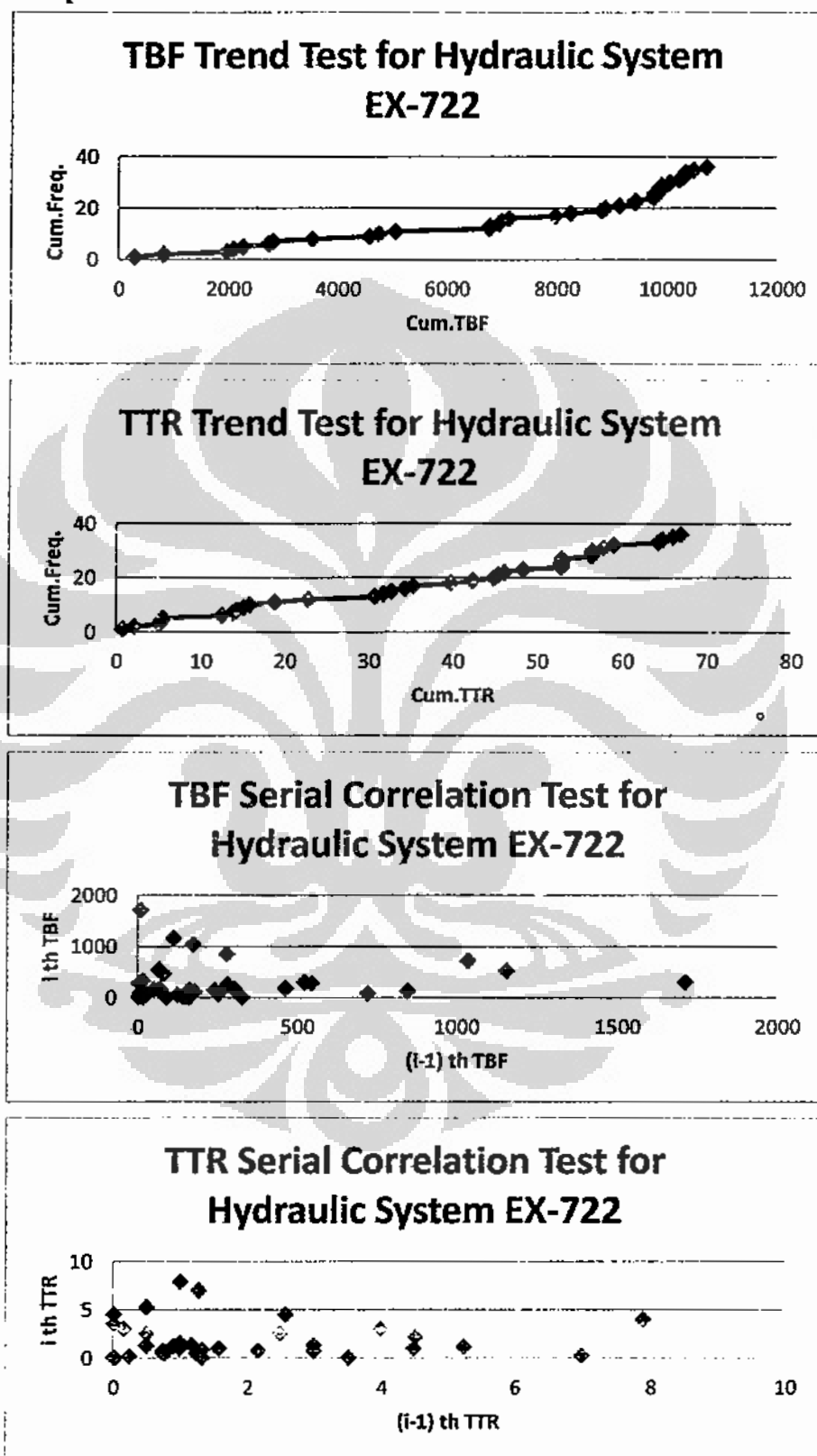


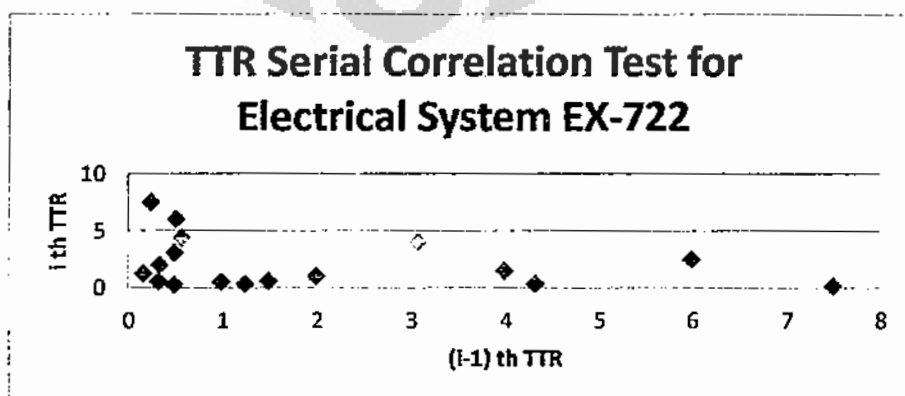
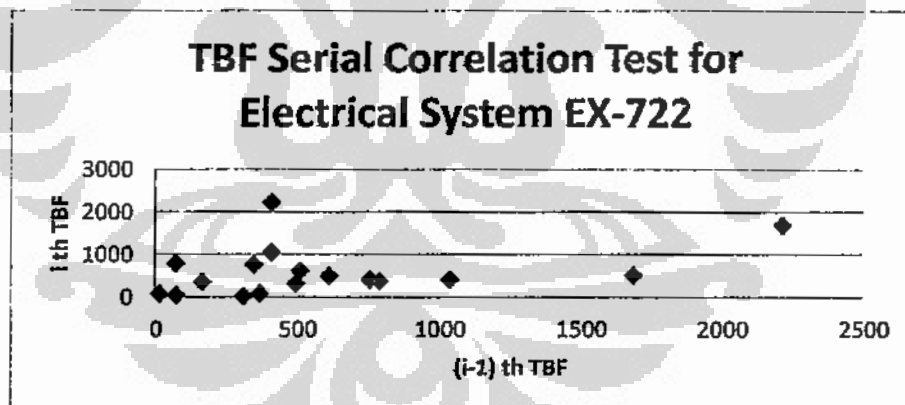
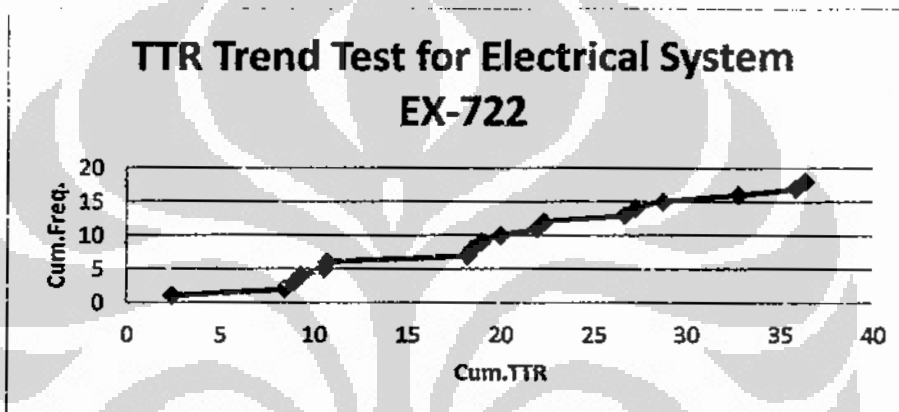
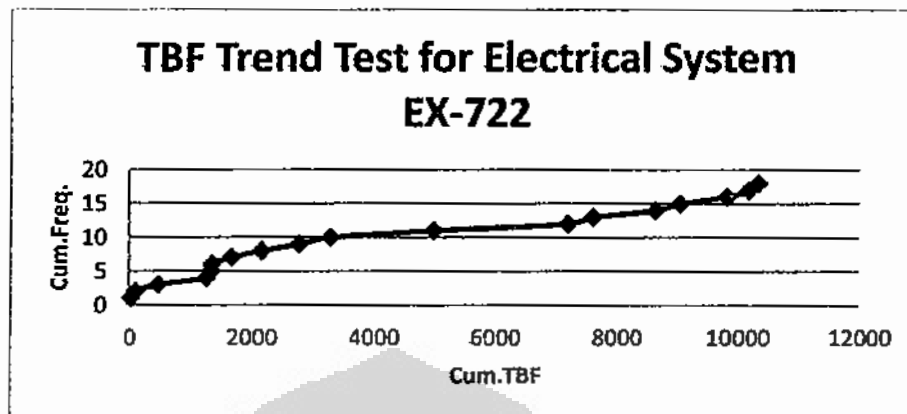


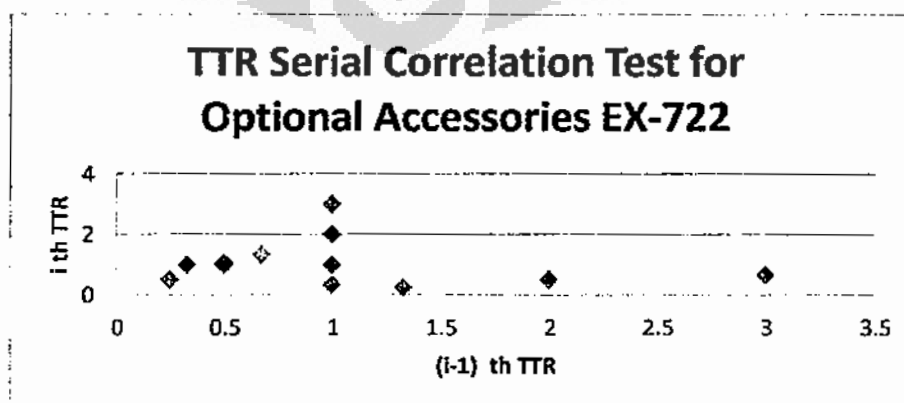
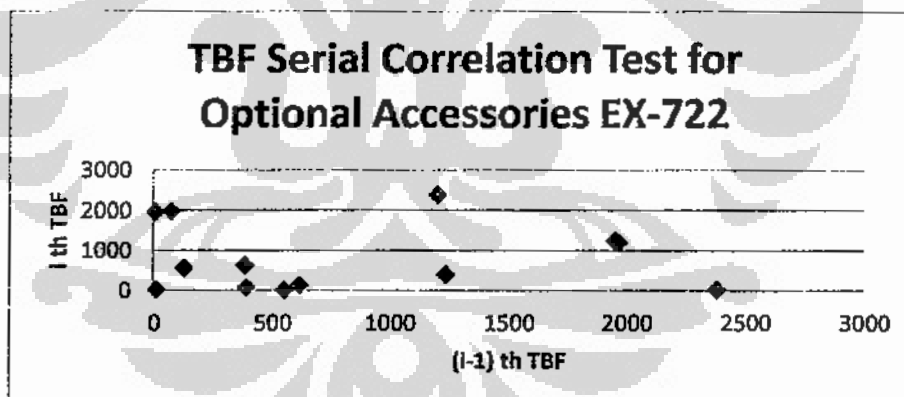
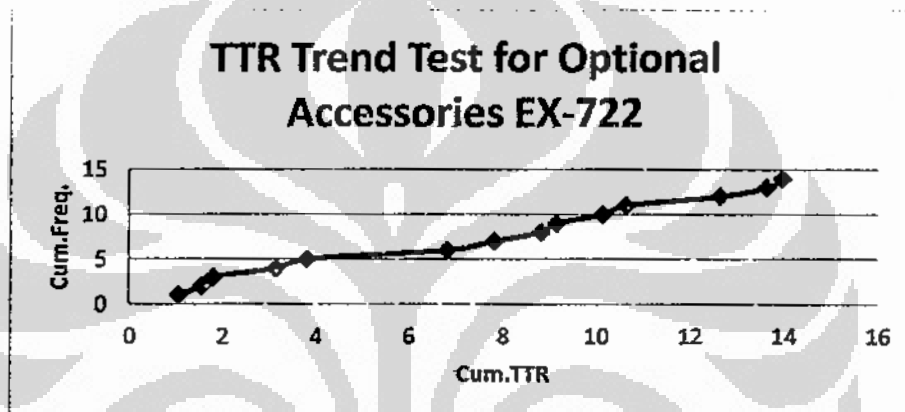
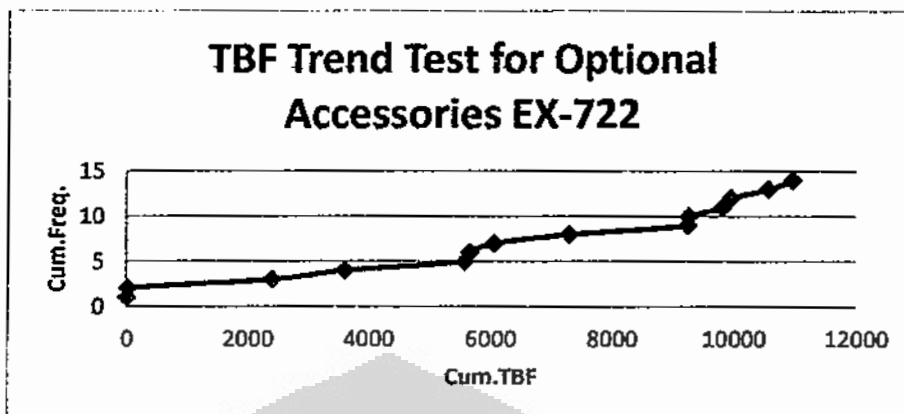


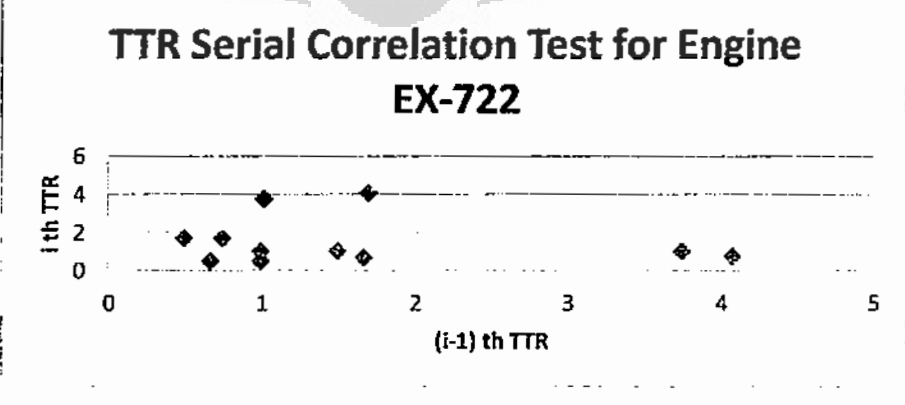
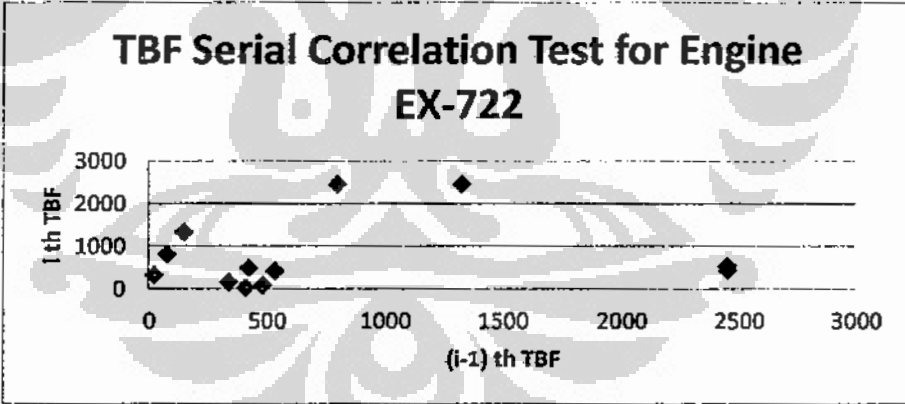
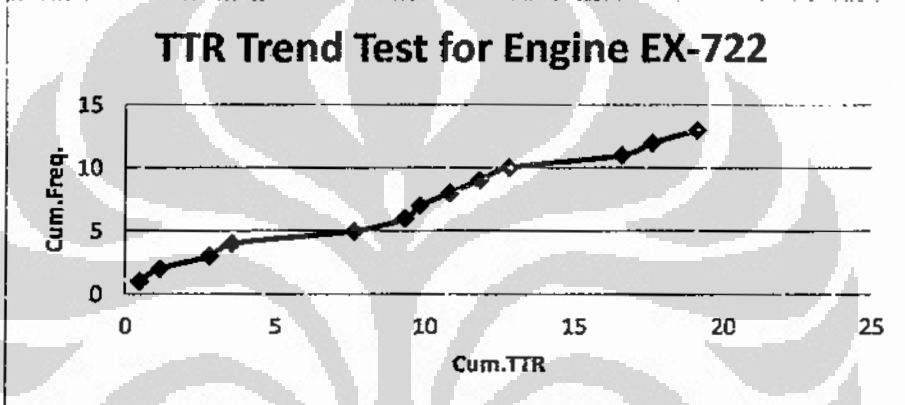
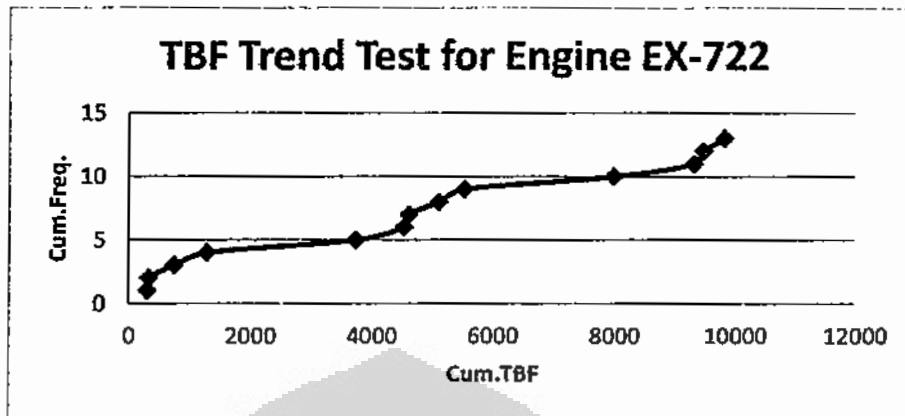


Lampiran 3. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-722

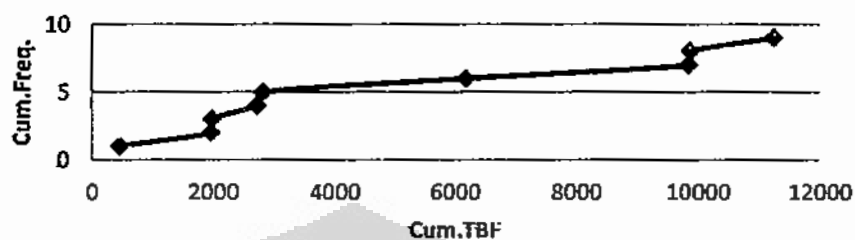




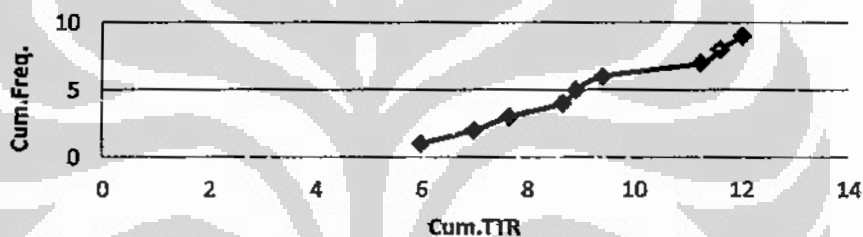




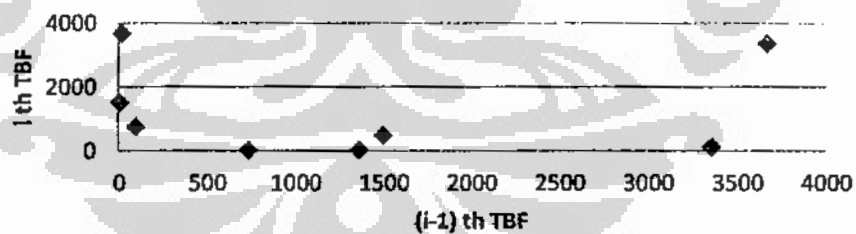
TBF Trend Test for Under Carriage EX-722



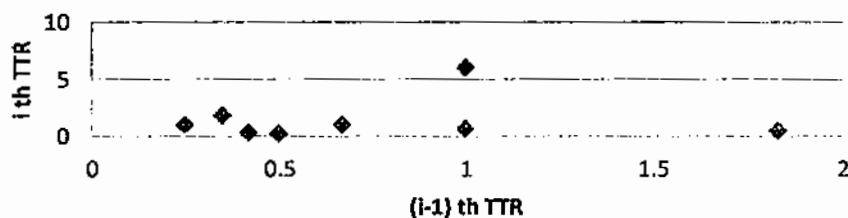
TTR Trend Test for Under Carriage EX-722



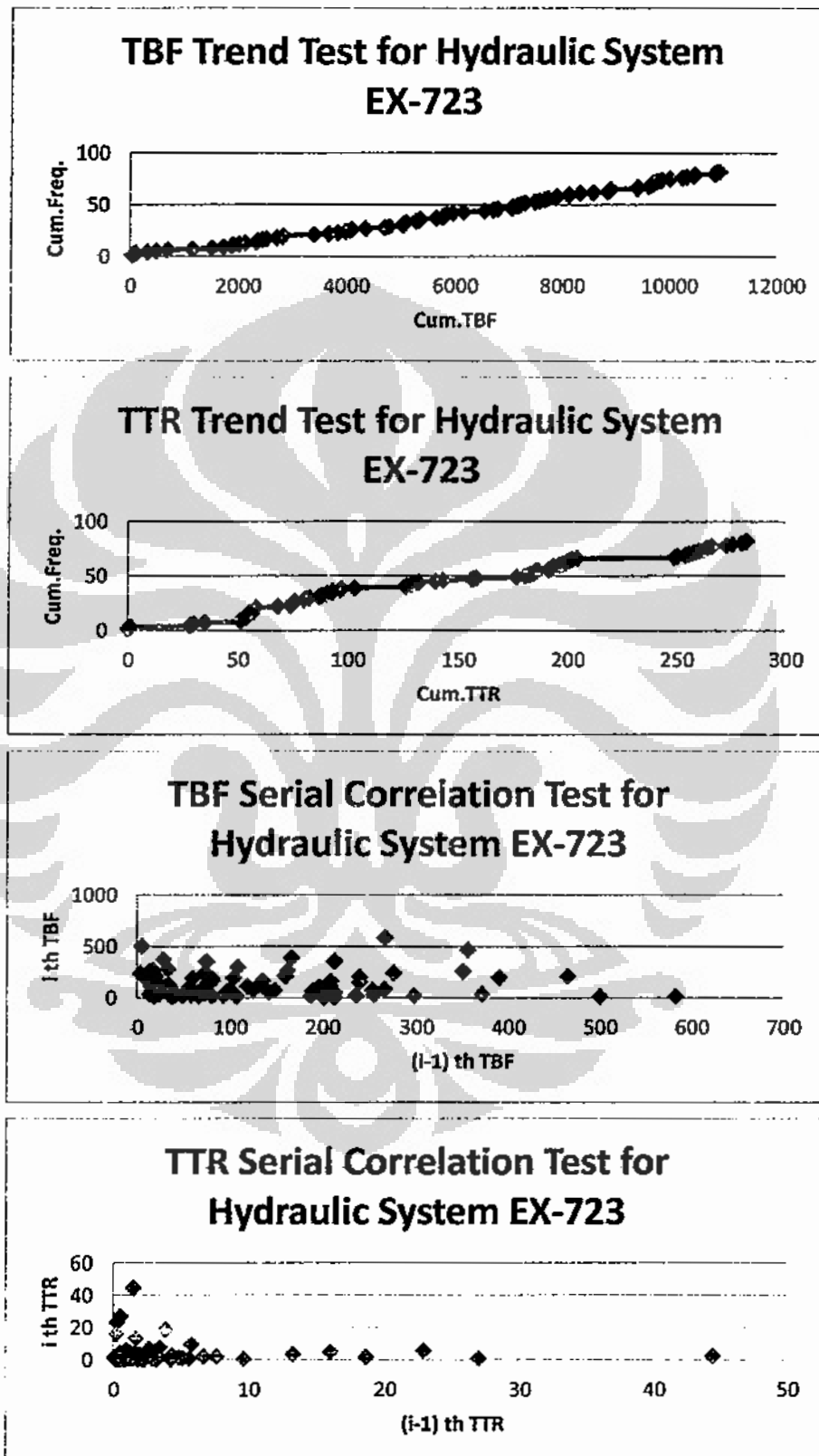
TBF Serial Correlation Test for Under Carriage EX-722



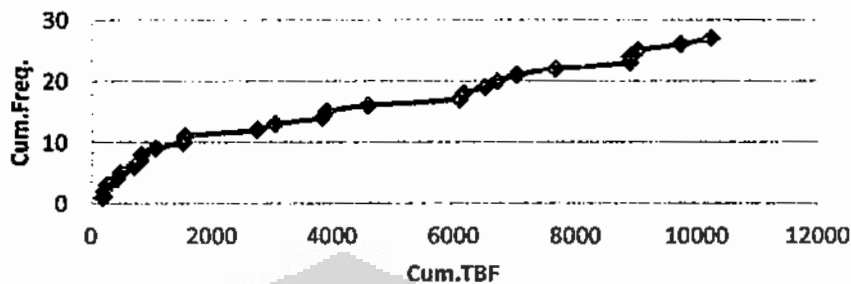
TTR Serial Correlation Test for Under Carriage EX-722



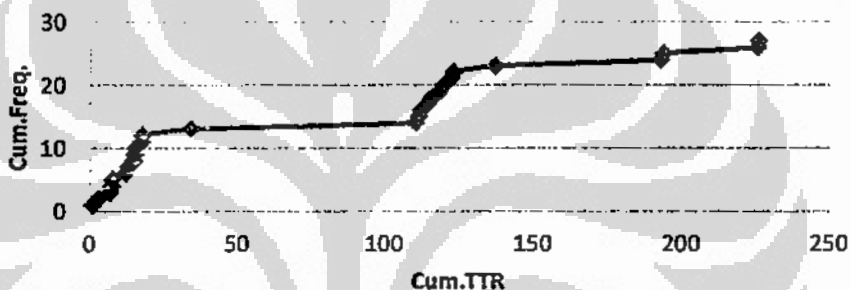
Lampiran 4. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-723



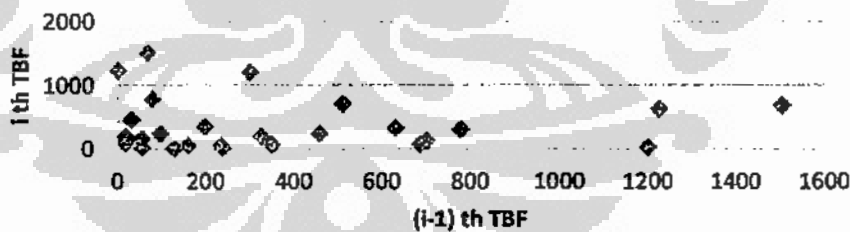
TBF Trend Test for Engine EX-723



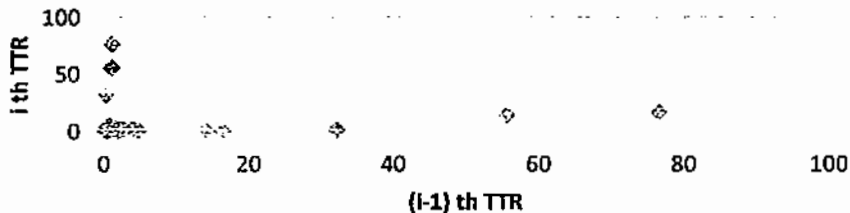
TTR Trend Test for Engine EX-723



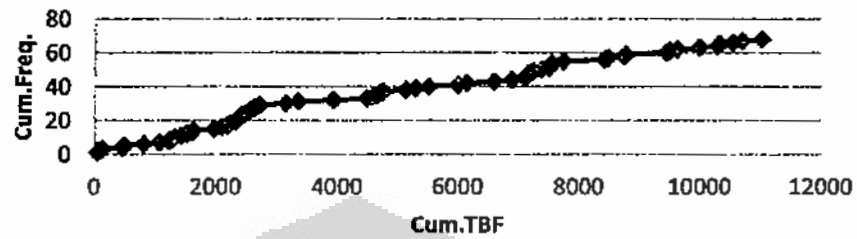
TBF Serial Correlation Test for Engine EX-723



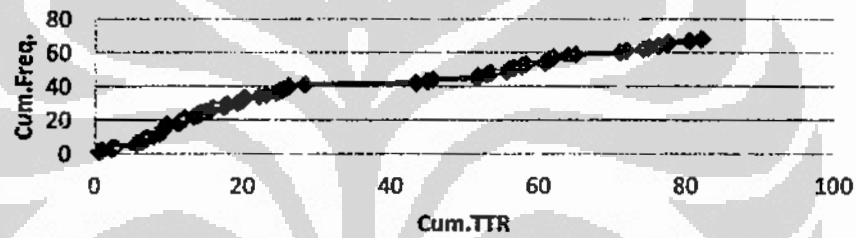
TTR Serial Correlation Test for Engine EX-723



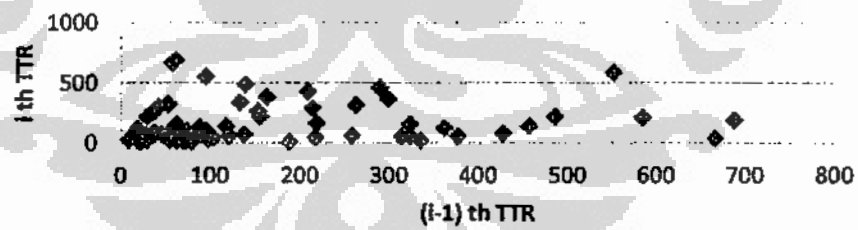
TBF Trend Test for Electrical System EX-723



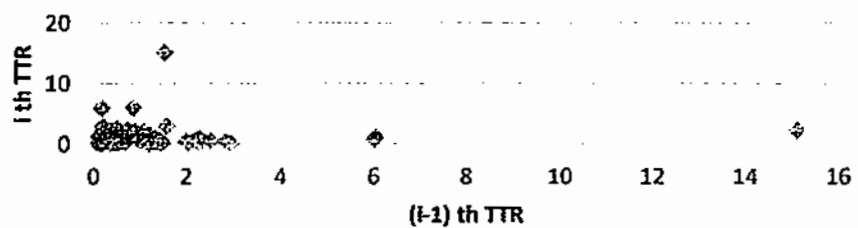
TTR Trend Test for Electrical System EX-723

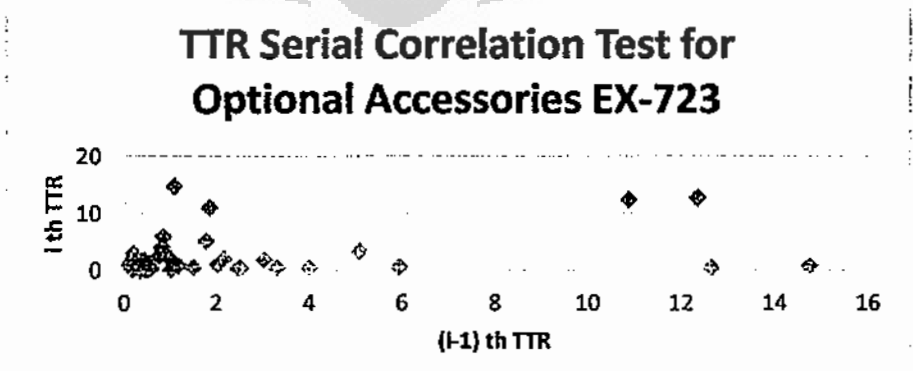
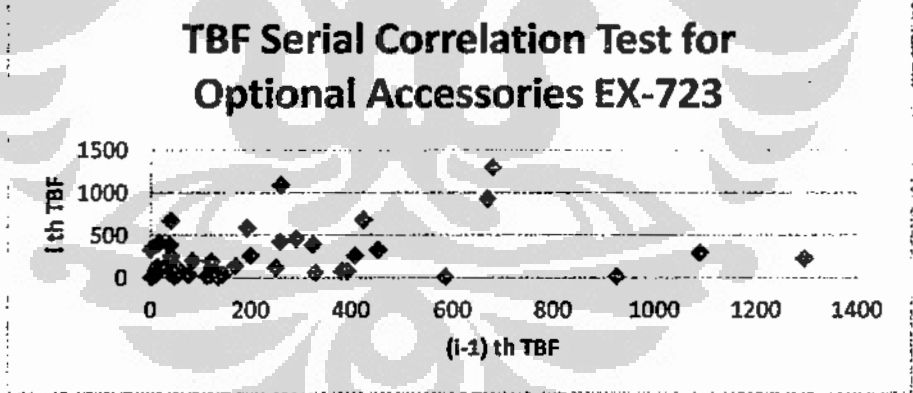
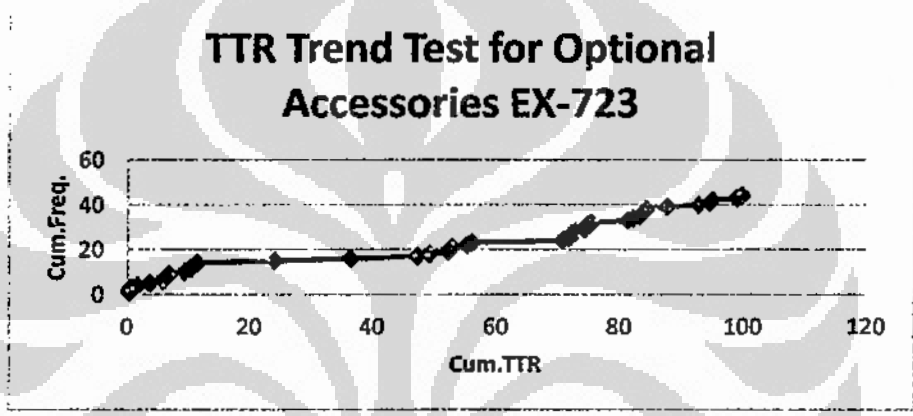
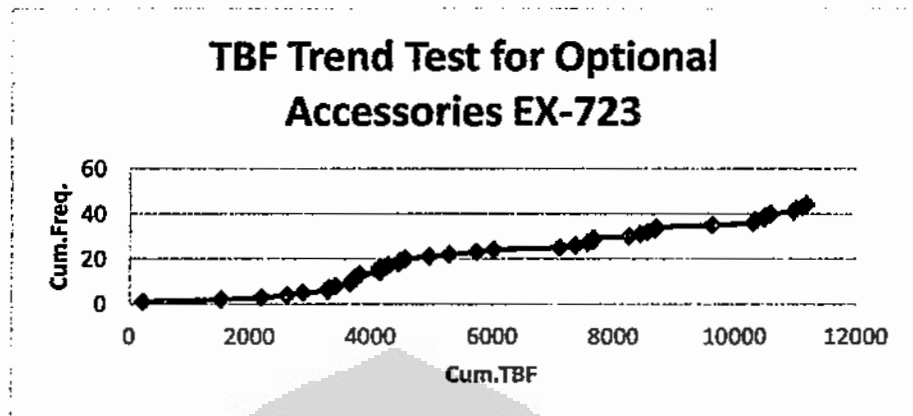


TBF Serial Correlation Test for Electrical System EX-723

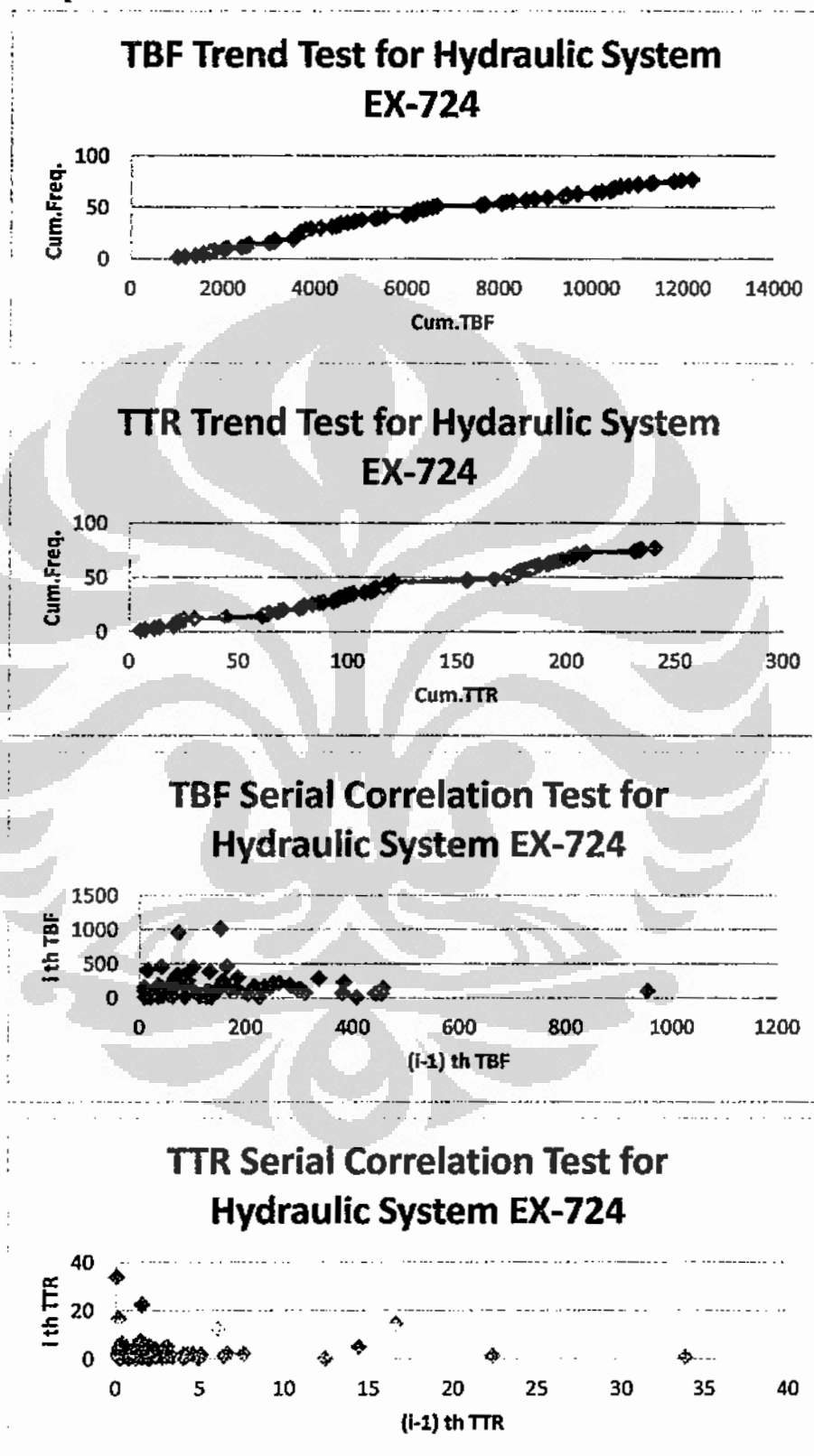


TTR Serial Correlation Test for Electrical System EX-723

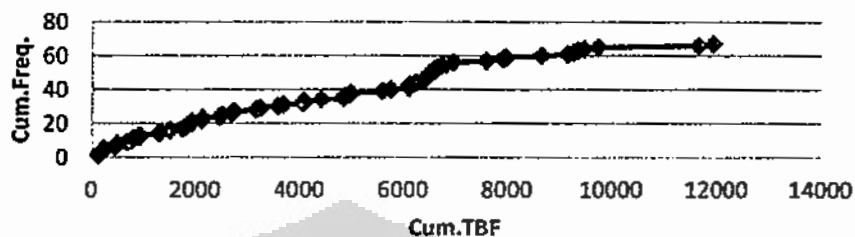




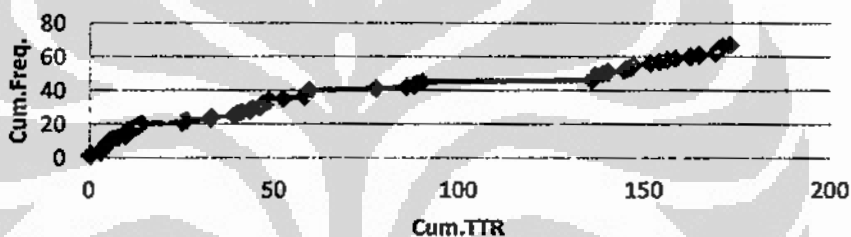
Lampiran 5. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-724



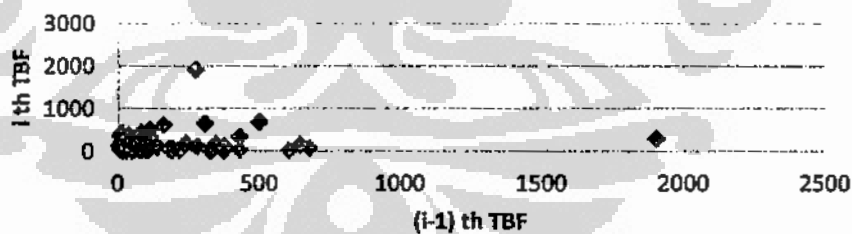
TBF Trend Test for Electrical System EX-724



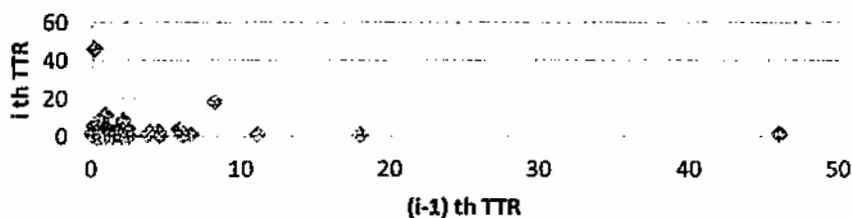
TTR Trend Test for Electrical System EX-724

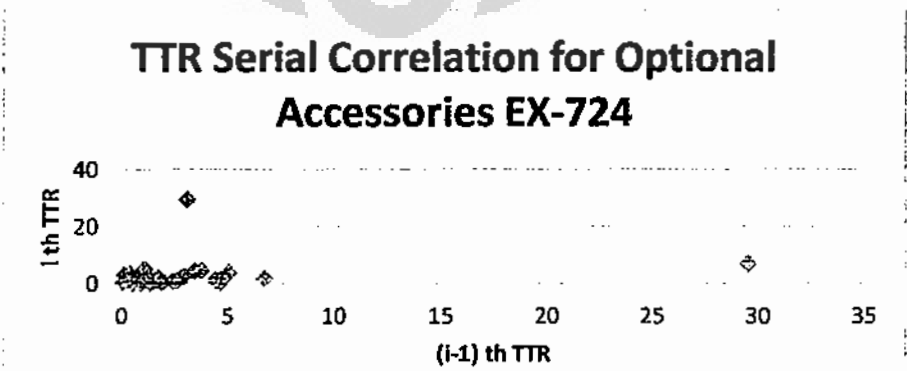
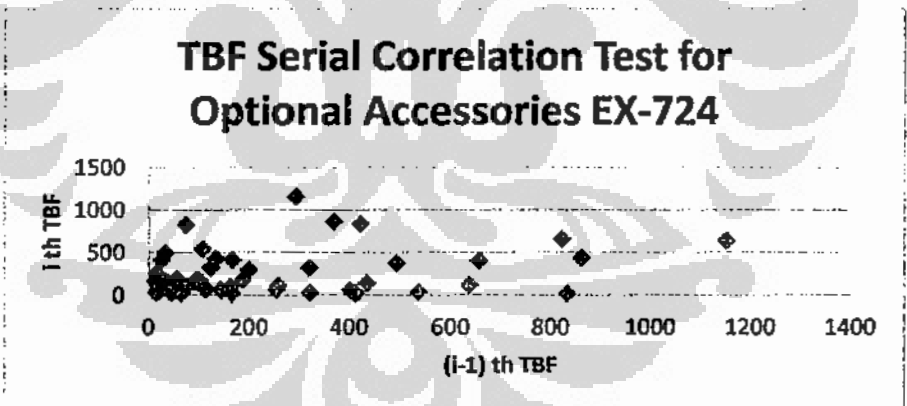
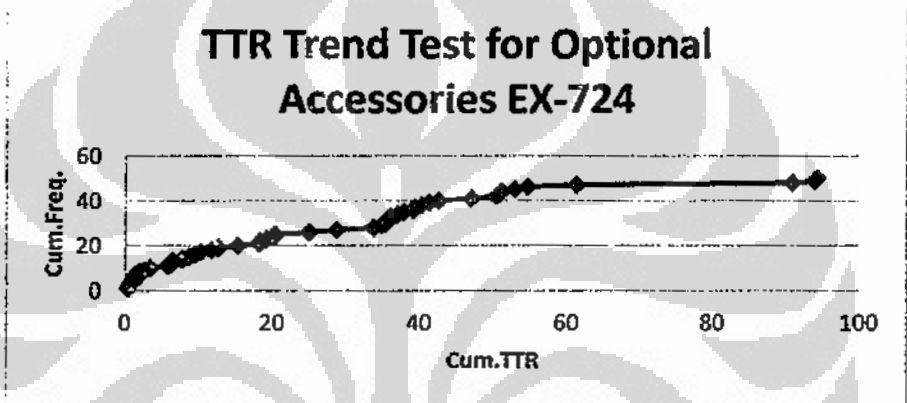
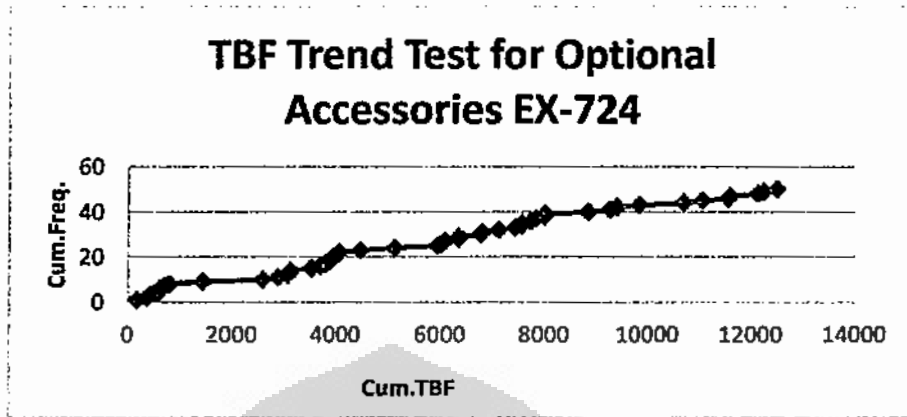


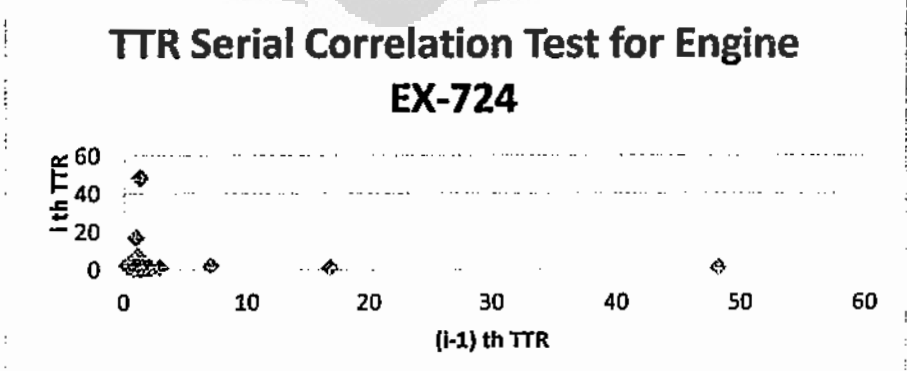
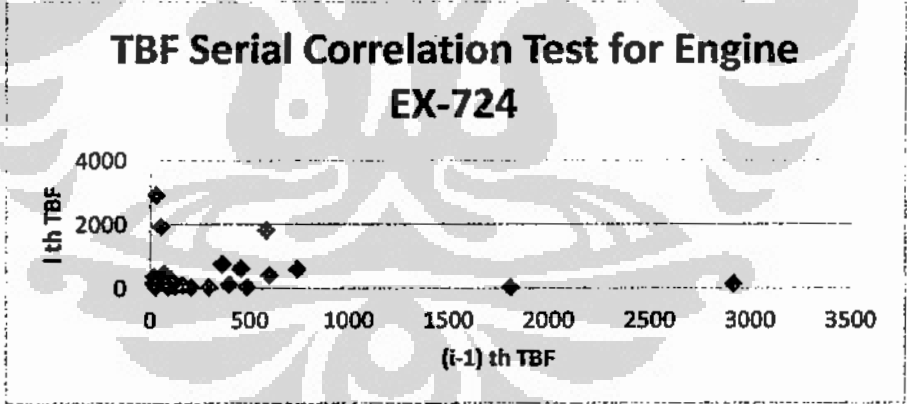
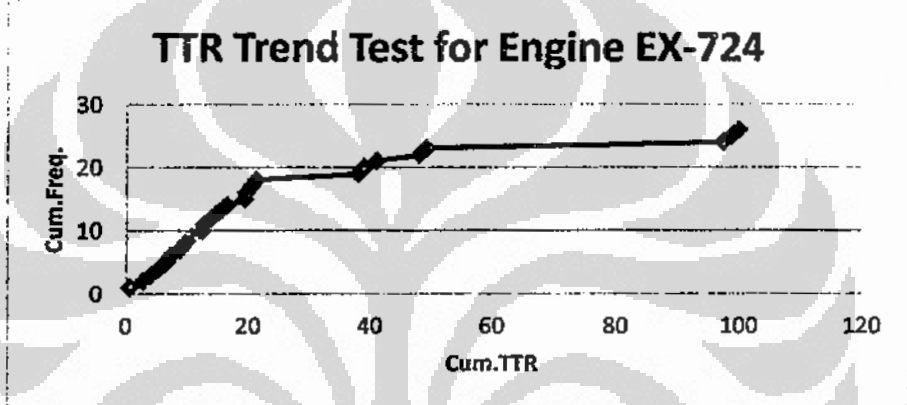
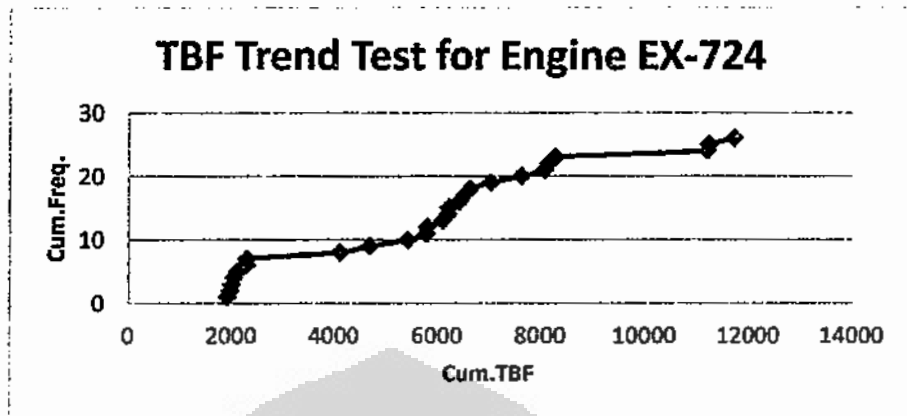
TBF Serial Correlation Test for Electrical System EX-724



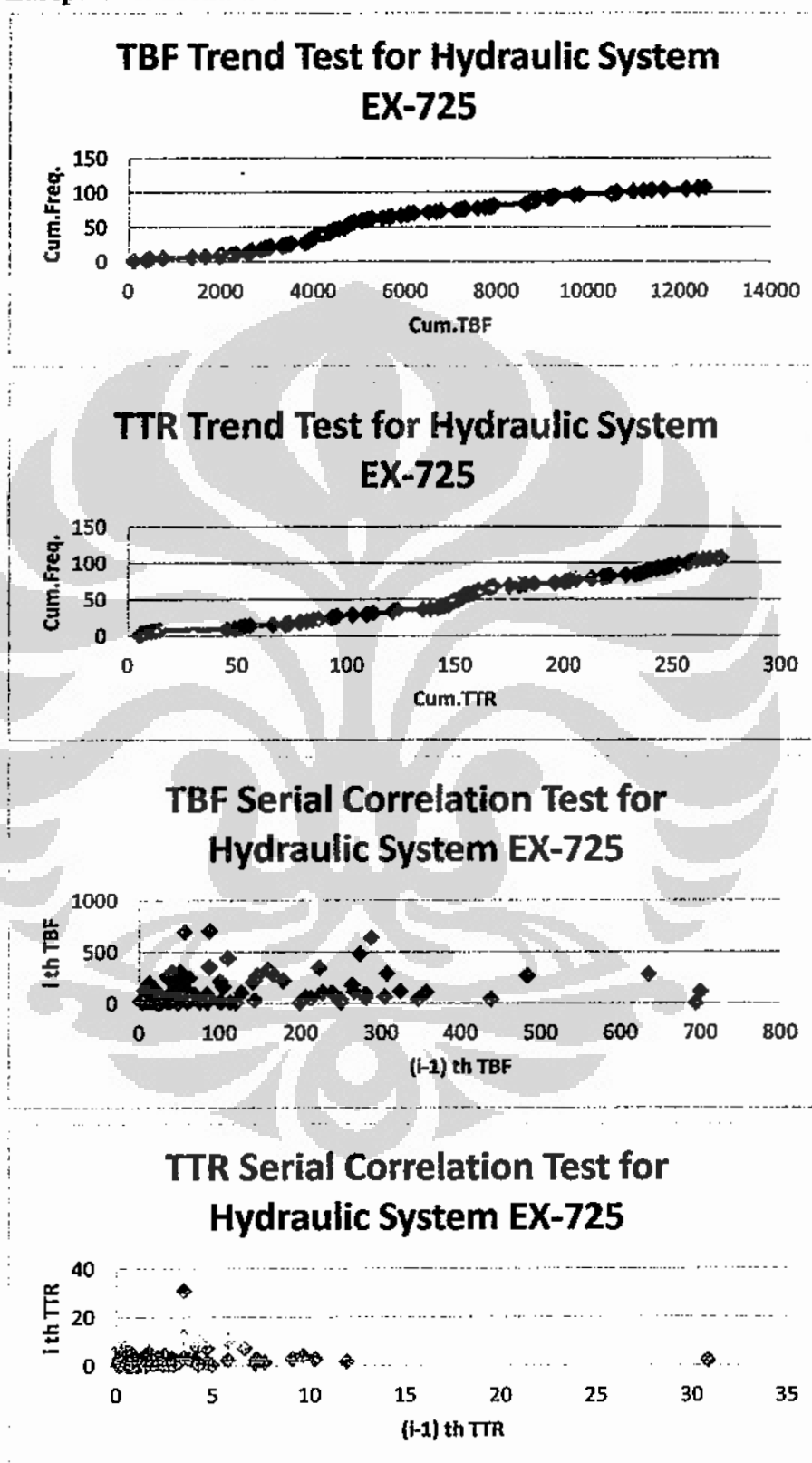
TTR Serial Correlation Test for Electrical System EX-724



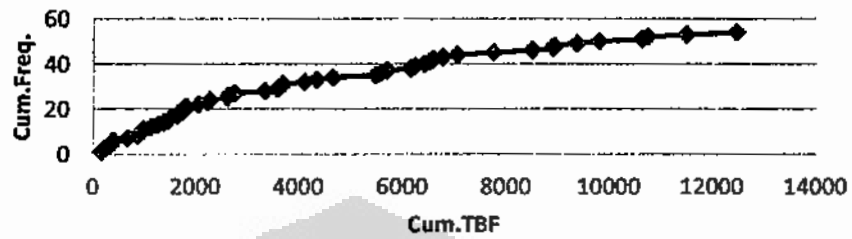




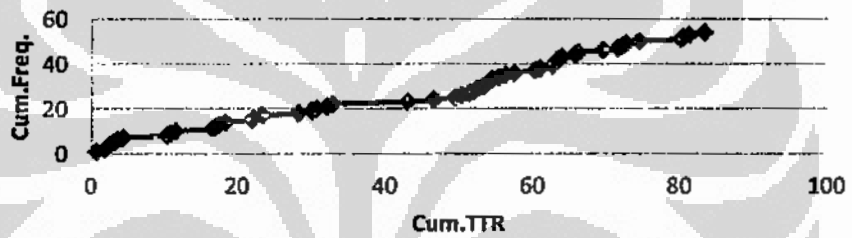
Lampiran 6. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-725



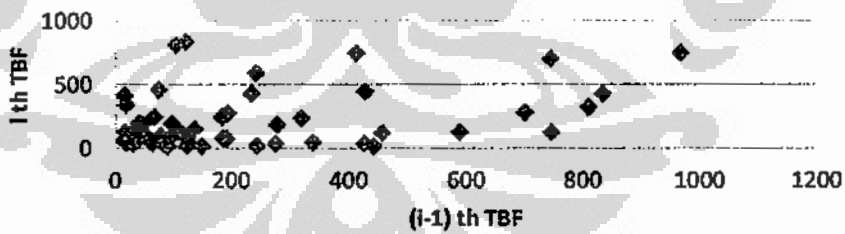
TBF Trend Test for Electrical System EX-725



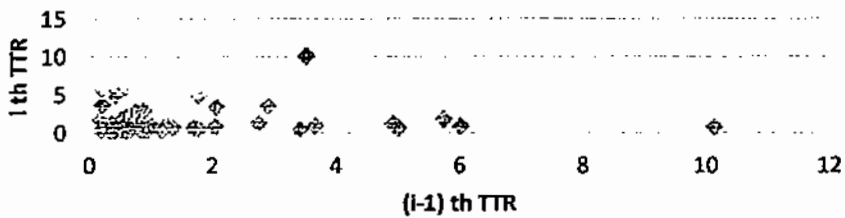
TTR Trend Test for Electrical System EX-725

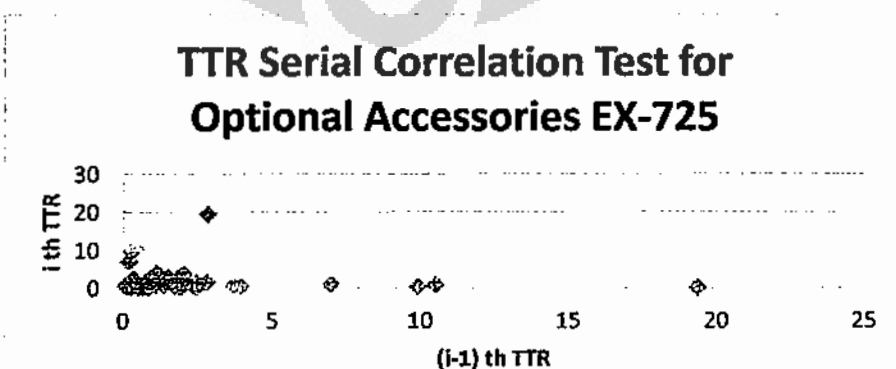
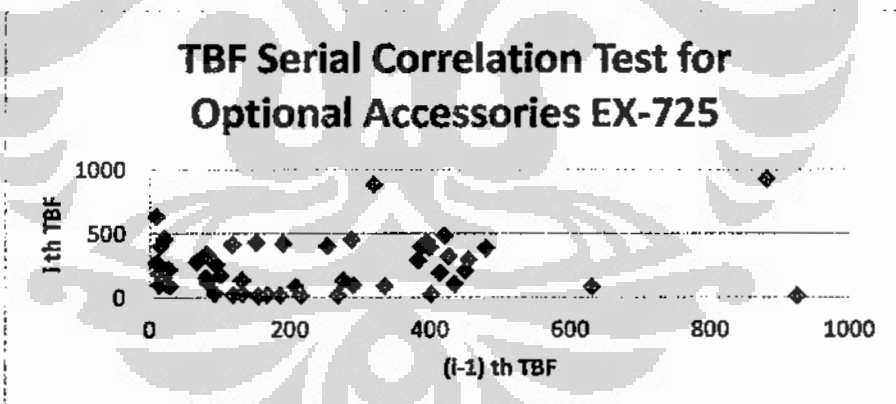
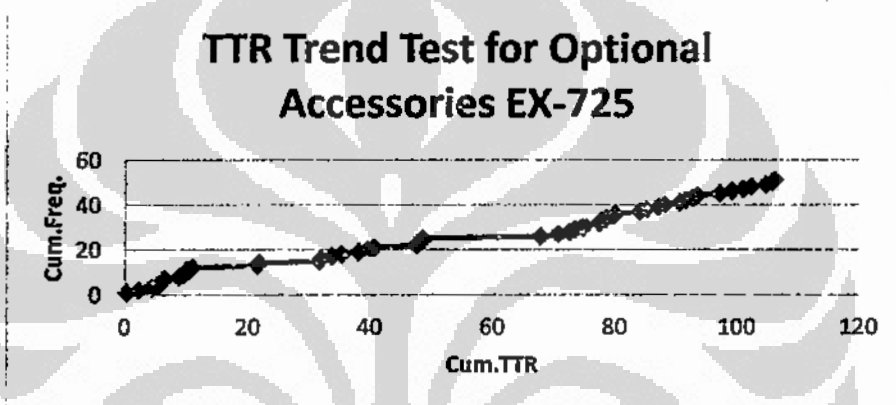
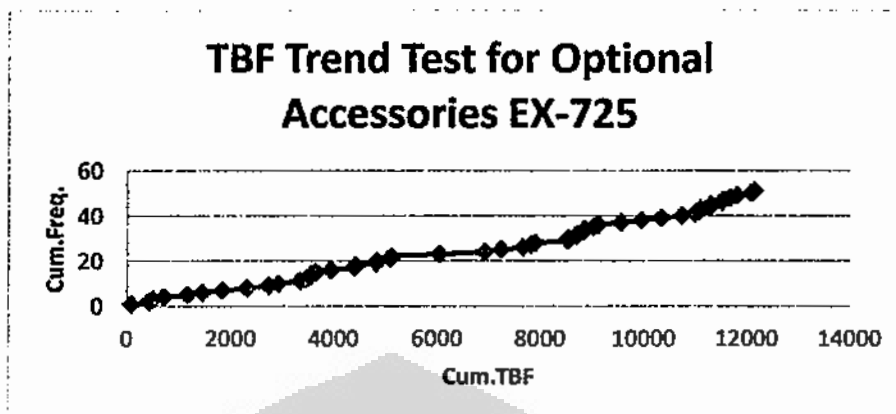


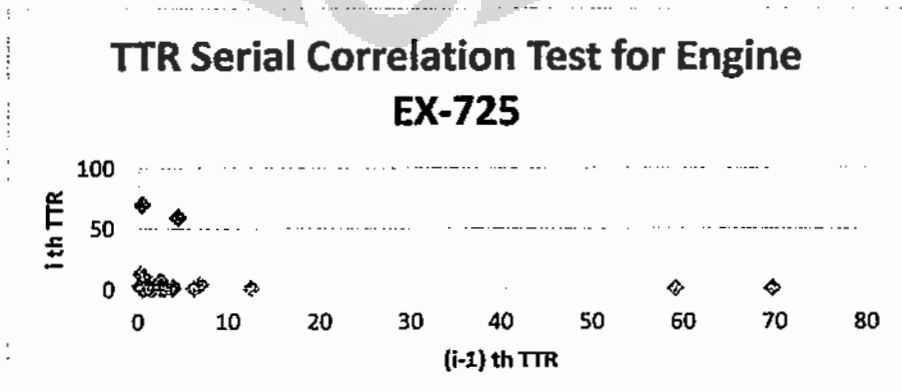
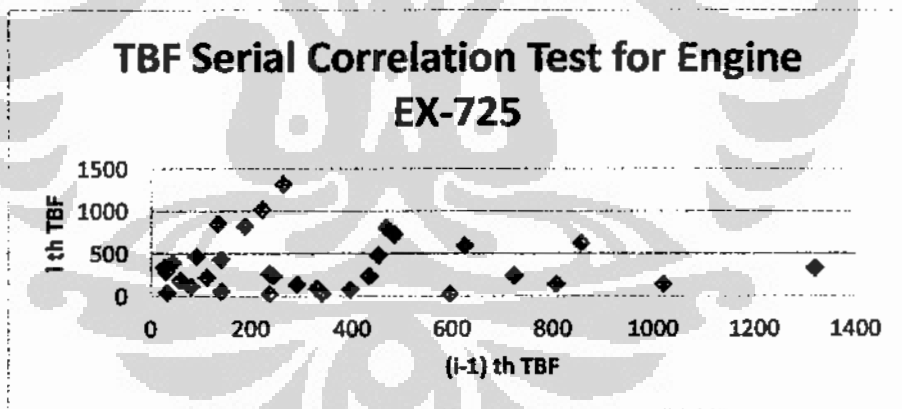
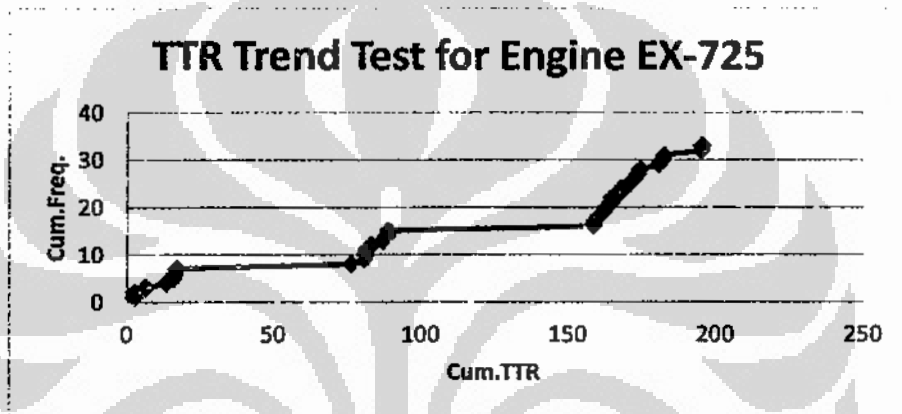
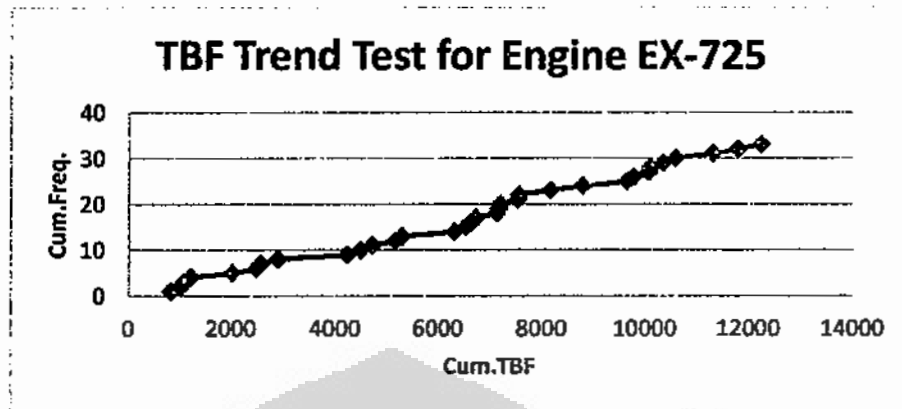
TBF Serial Correlation Test for Electrical System EX-725



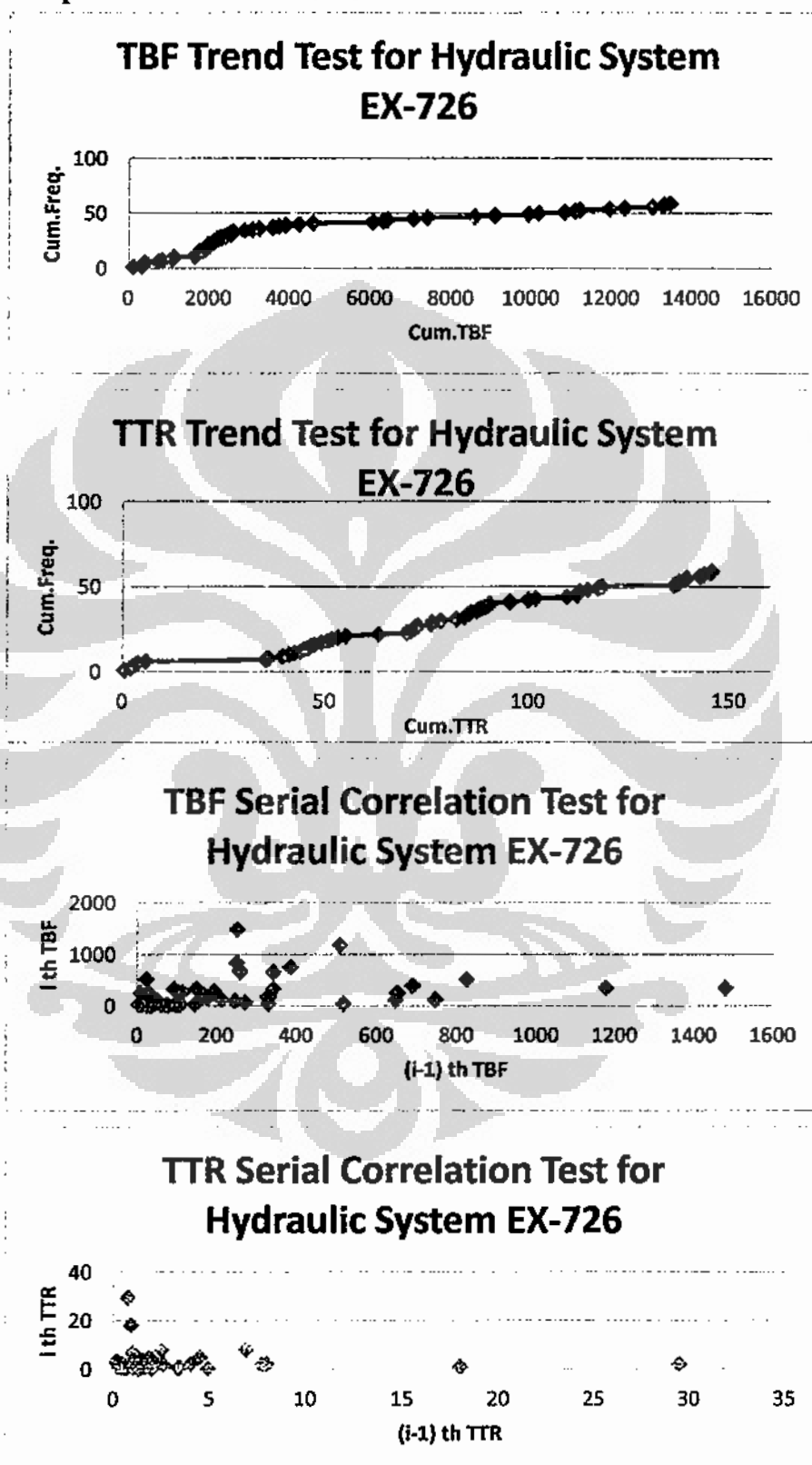
TTR Serial Correlation Test for Electrical System EX-725



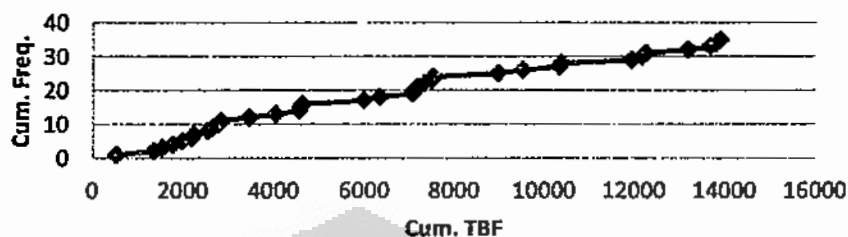




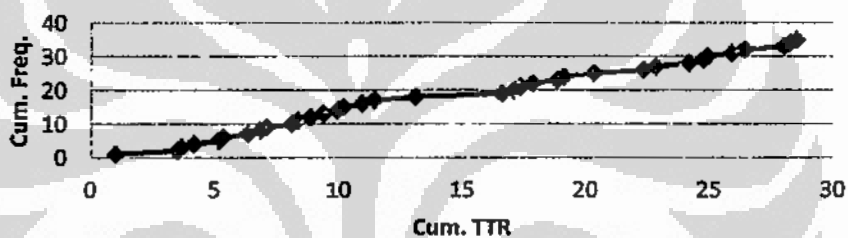
Lampiran 7. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-726



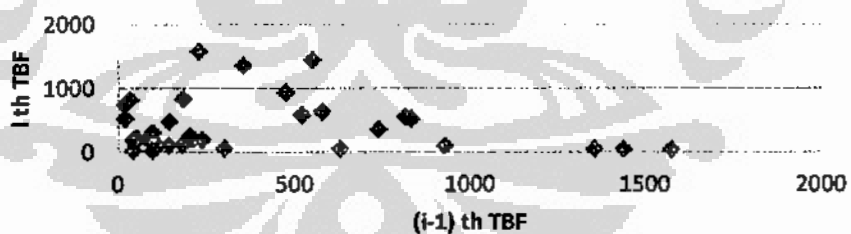
TBF Trend Test for Optional Accessories EX-726



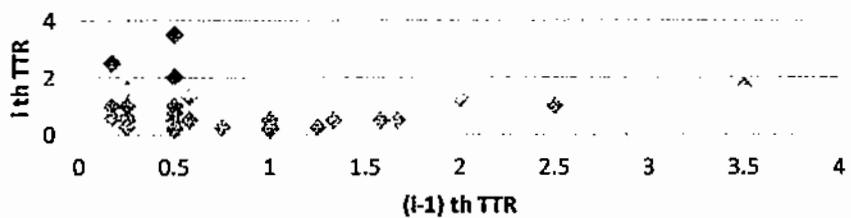
TTR Trend Test for Optional Accessories EX-726

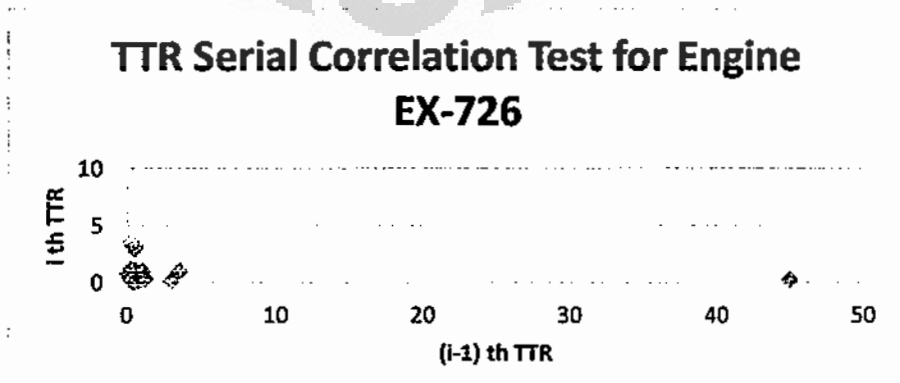
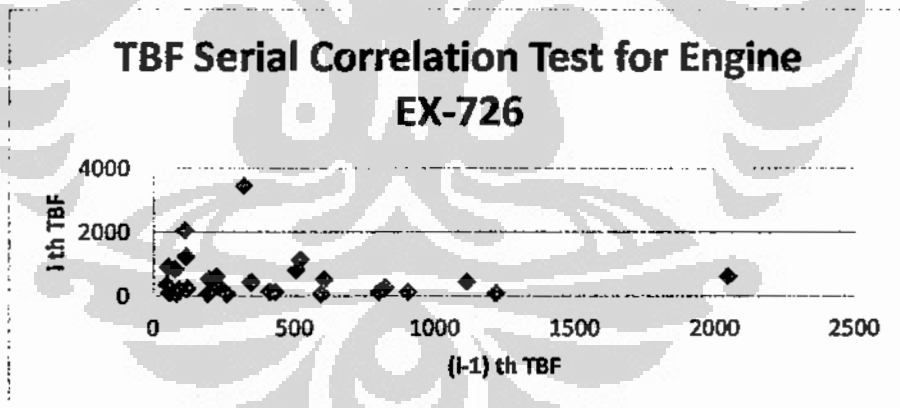
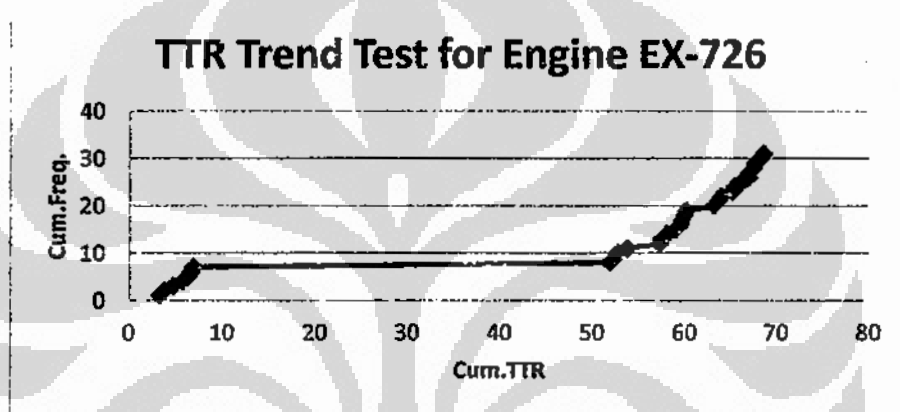
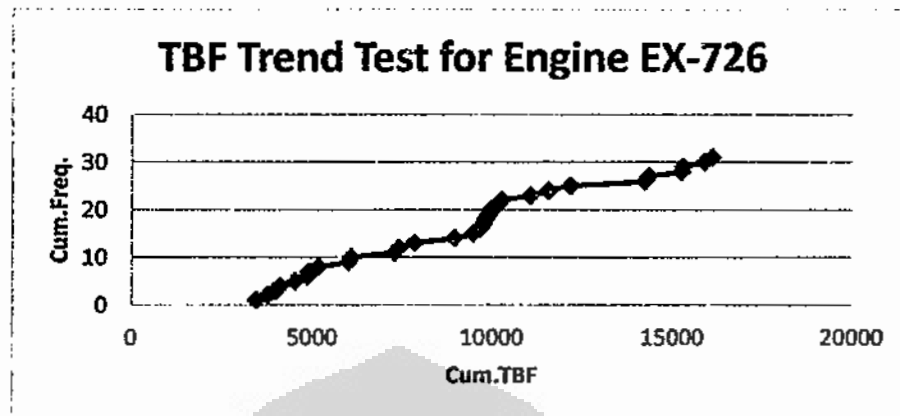


TBF Serial Correlation Test for Optional Accessories EX-726

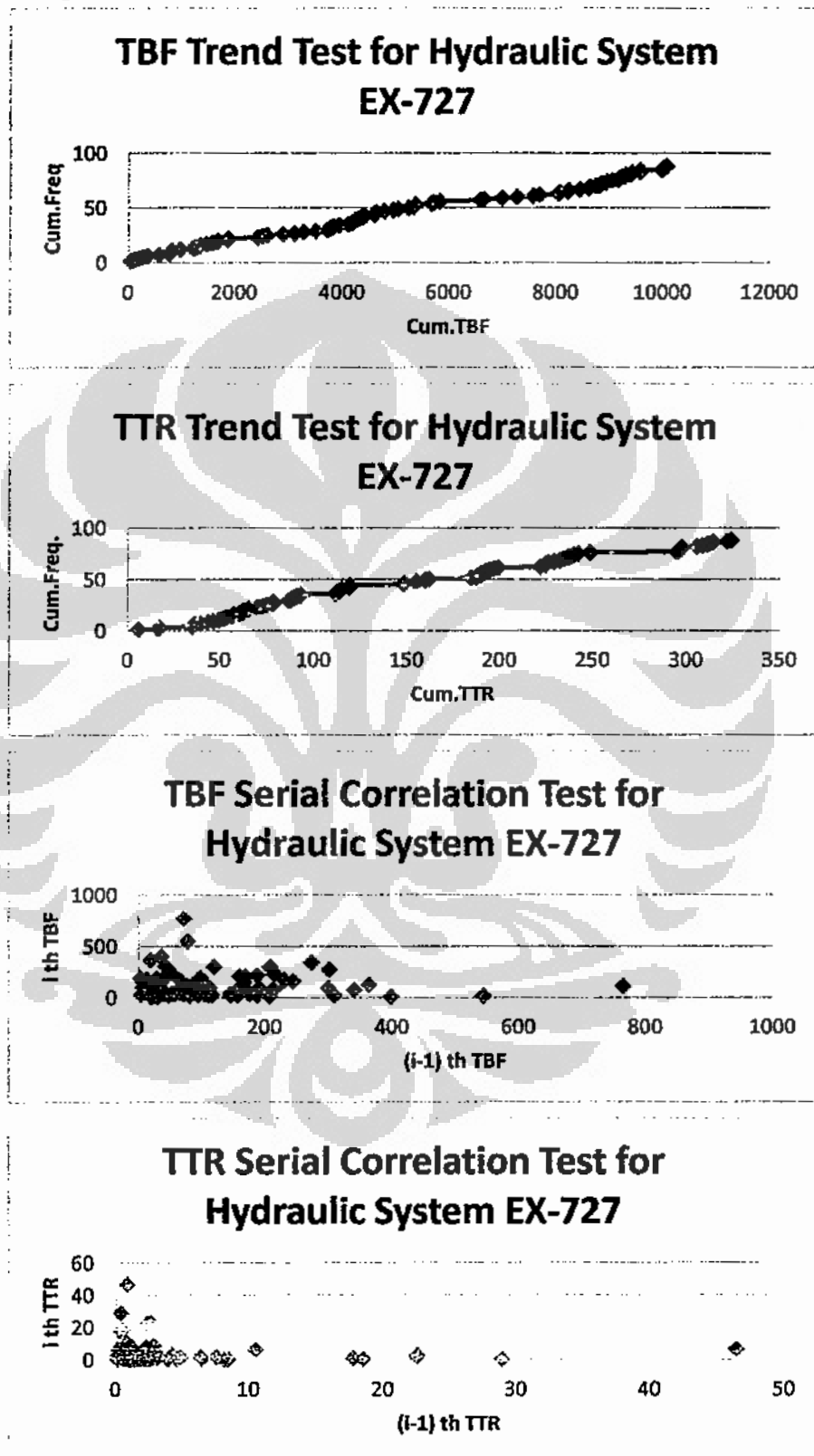


TTR Serial Correlation Test for Optional Accessories EX-726

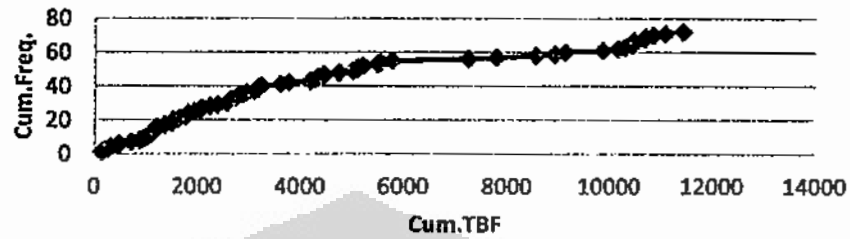




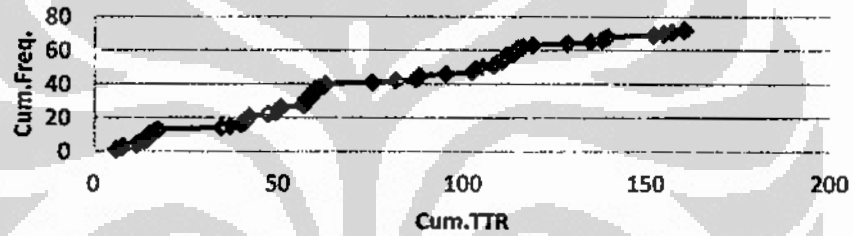
Lampiran 8. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-727



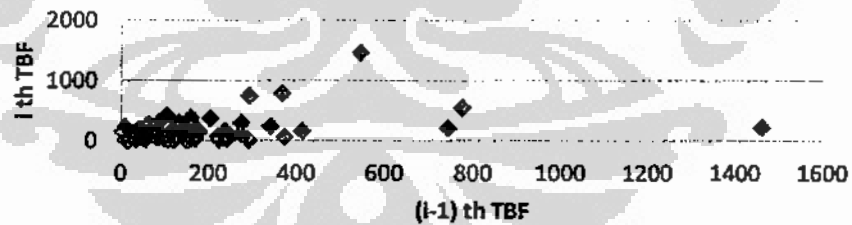
TBF Trend Test for Electrical System EX-727



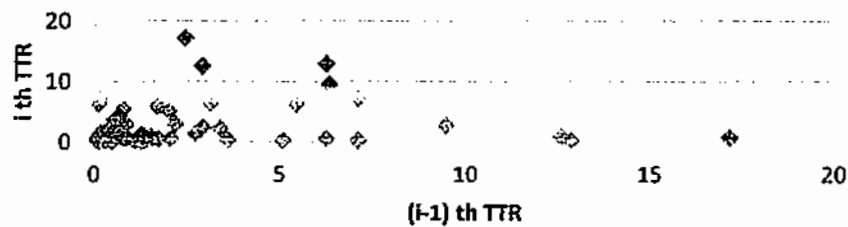
TTR Trend Test for Electrical System EX-727

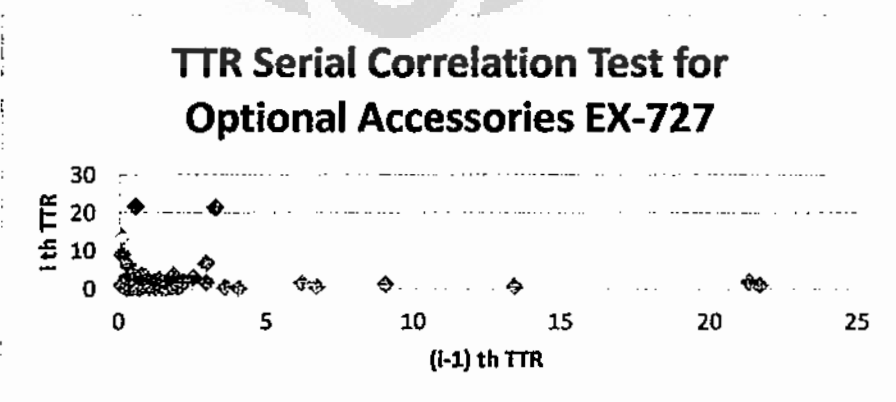
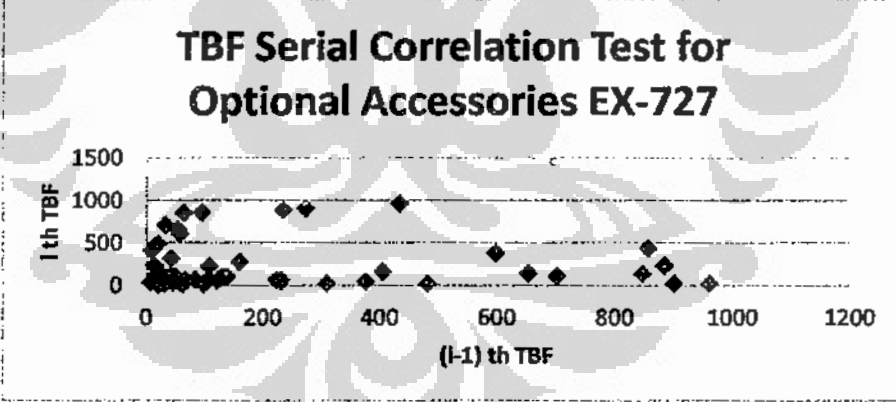
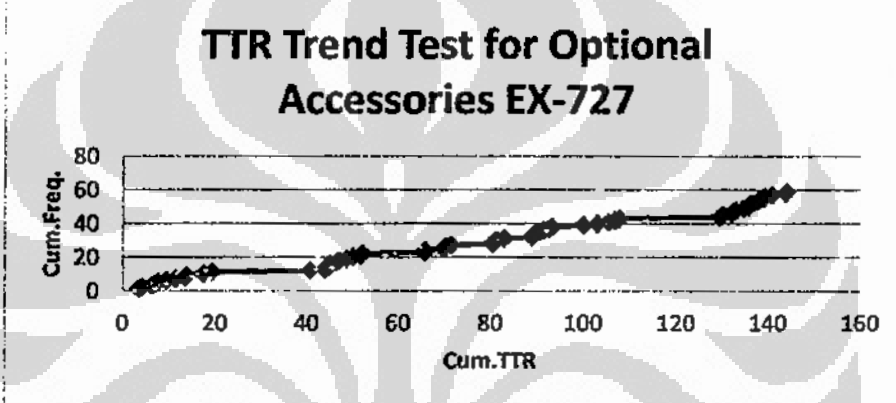
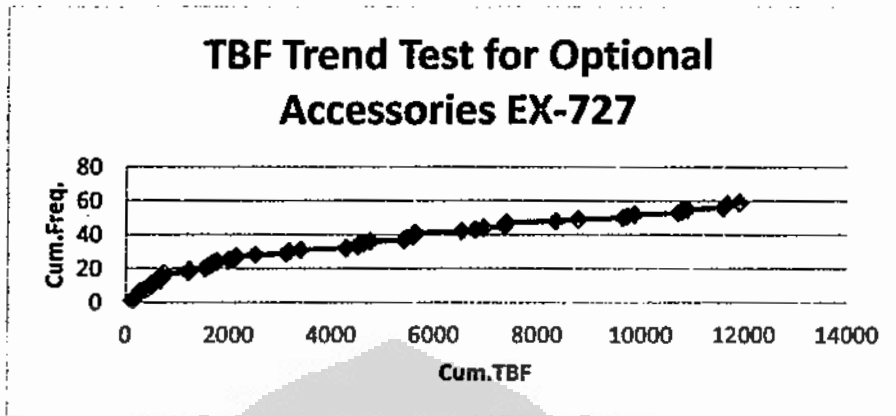


TBF Serial Correlation Test for Electrical System EX-727

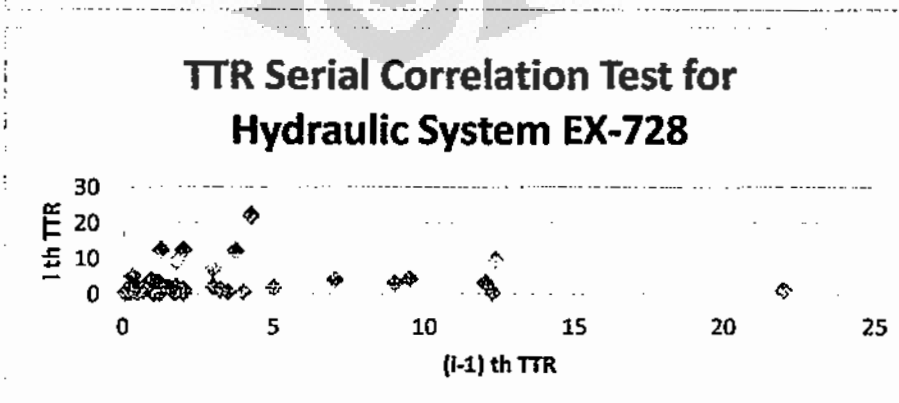
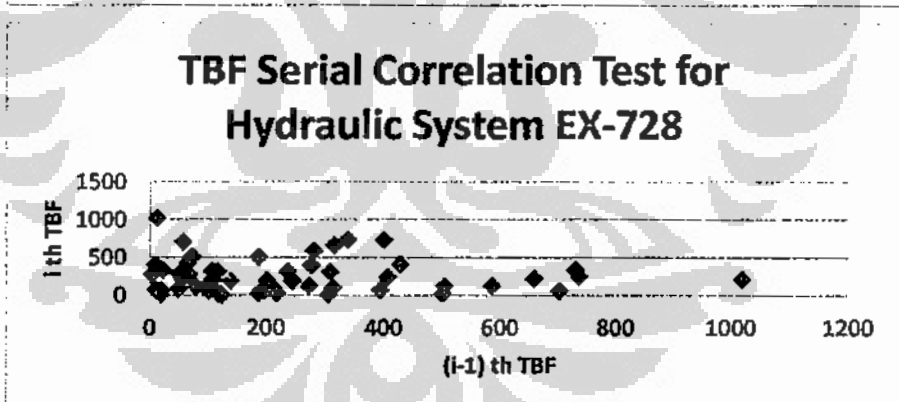
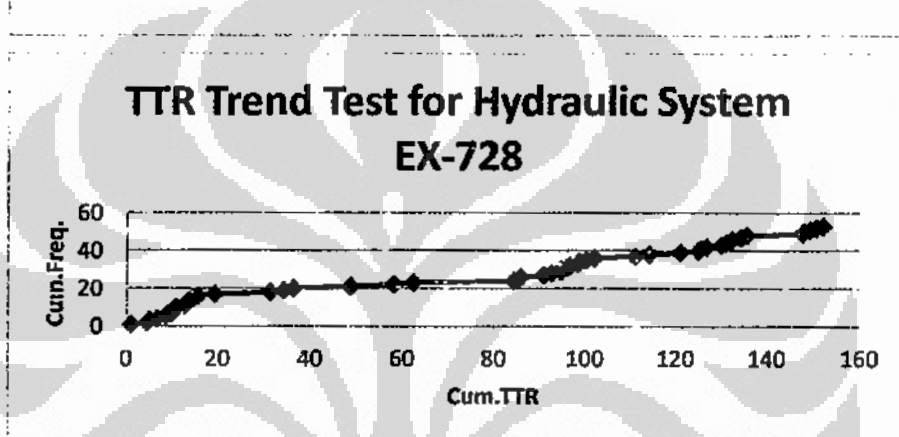
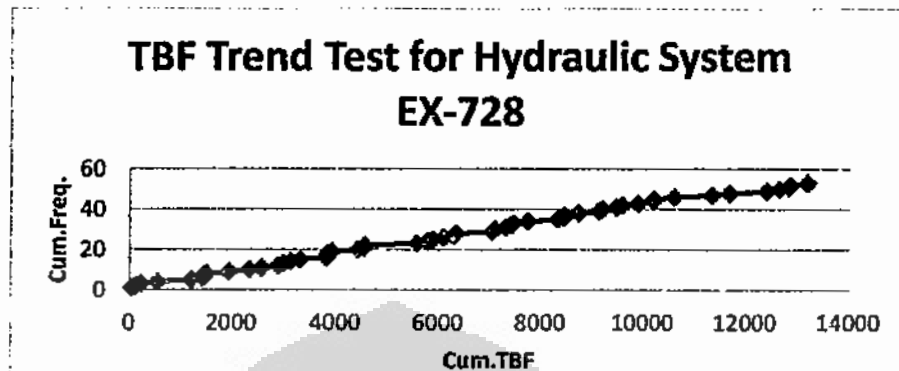


TTR Serial Correlation Test for Electrical System EX-727

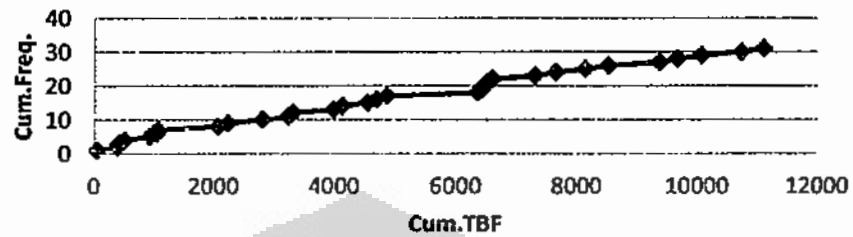




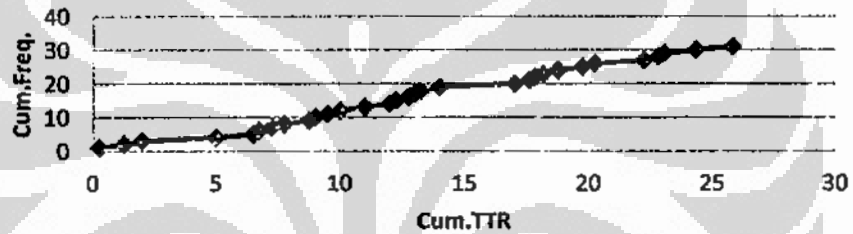
Lampiran 9. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-728



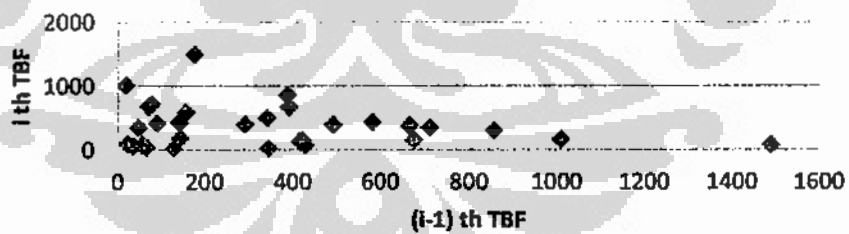
TBF Trend Test for Optional Accessories EX-728



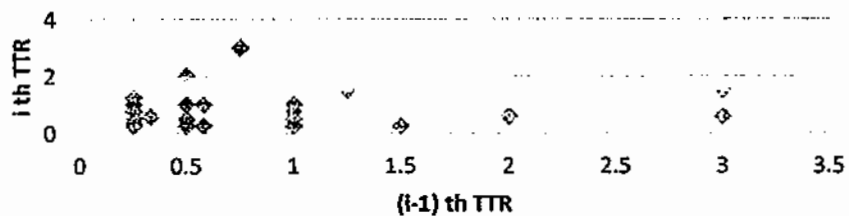
TTR Trend Test for Optional Accessories EX-728



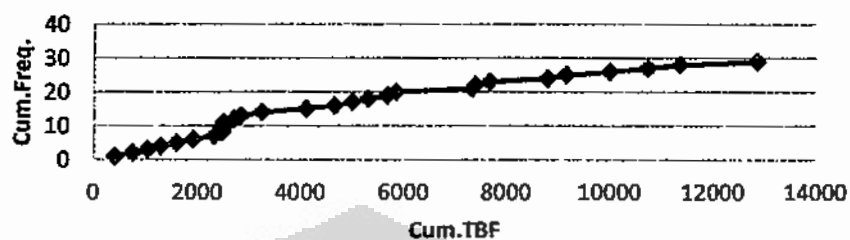
TBF Serial Correlation Test for Optional Accessories EX-728



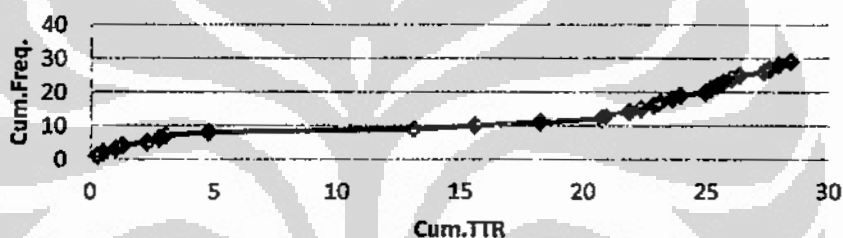
TTR Serial Correlation Test for Optional Accessories EX-728



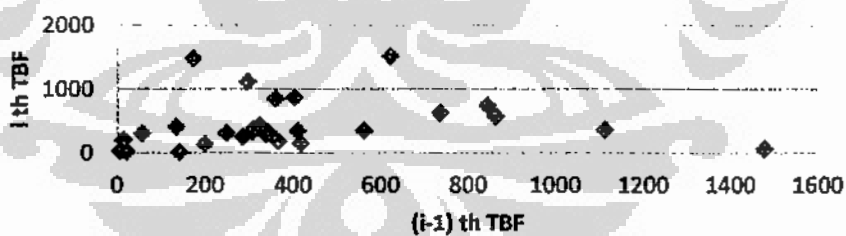
TBF Trend Test for Attachment/Work Equipment EX-728



TTR Trend Test for Attachment/Work Equipment EX-728

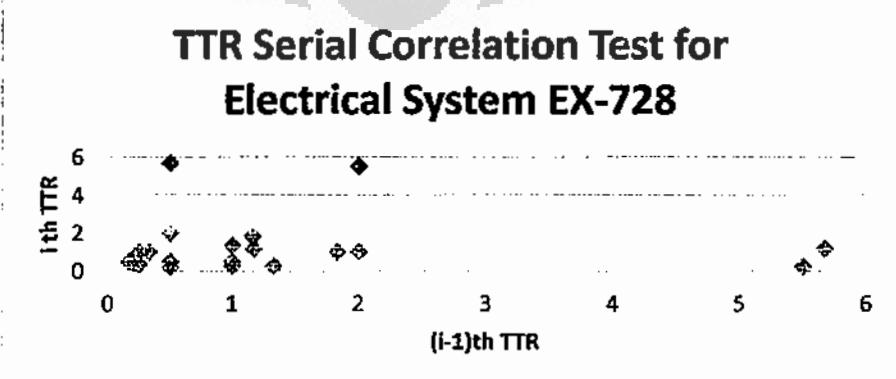
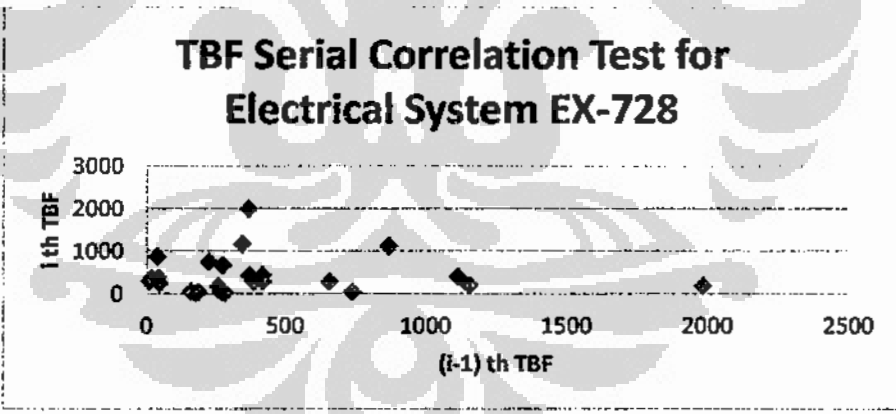
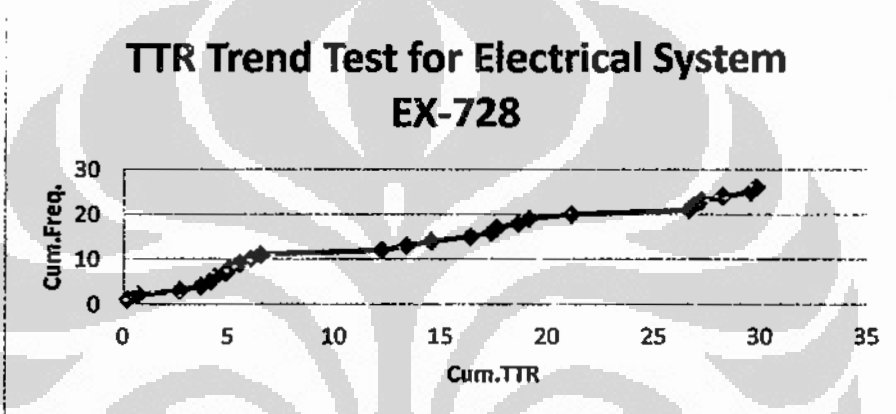
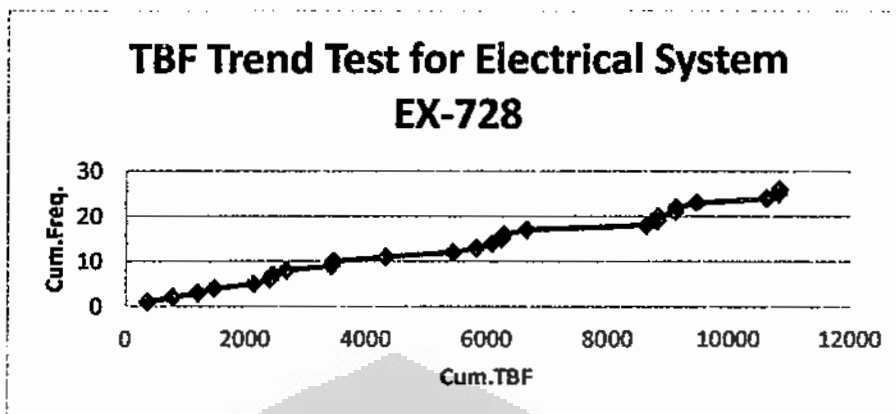


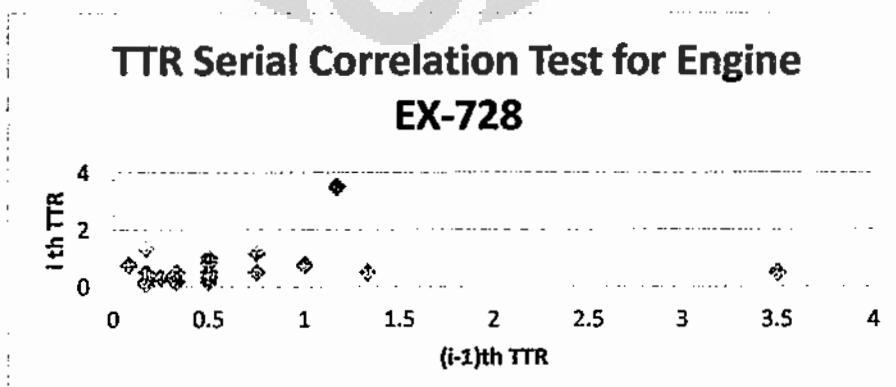
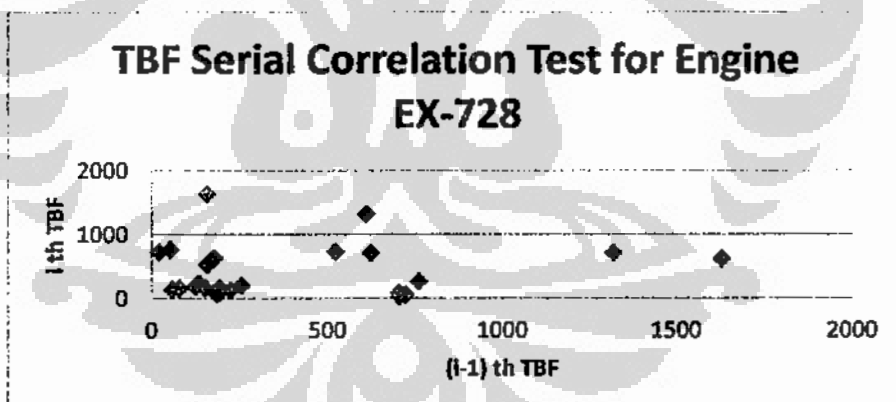
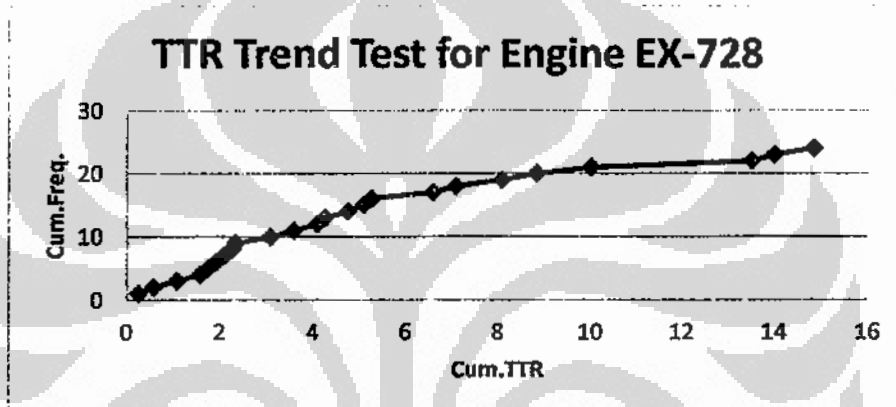
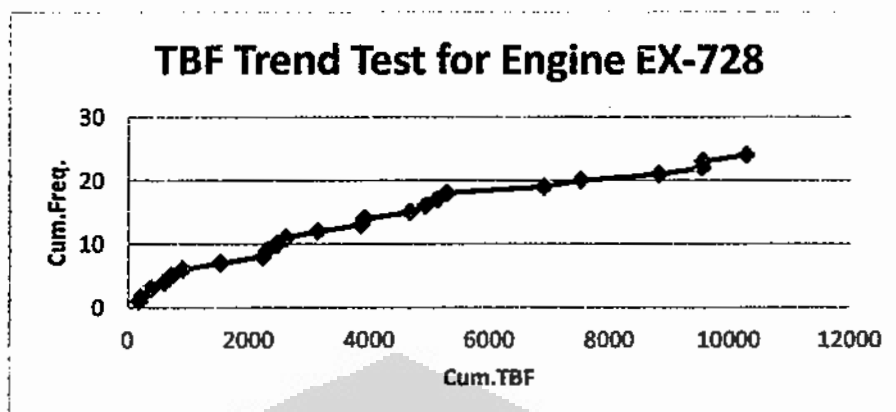
TBF Serial Correlation Test for Attachment/Work Equipment EX-728



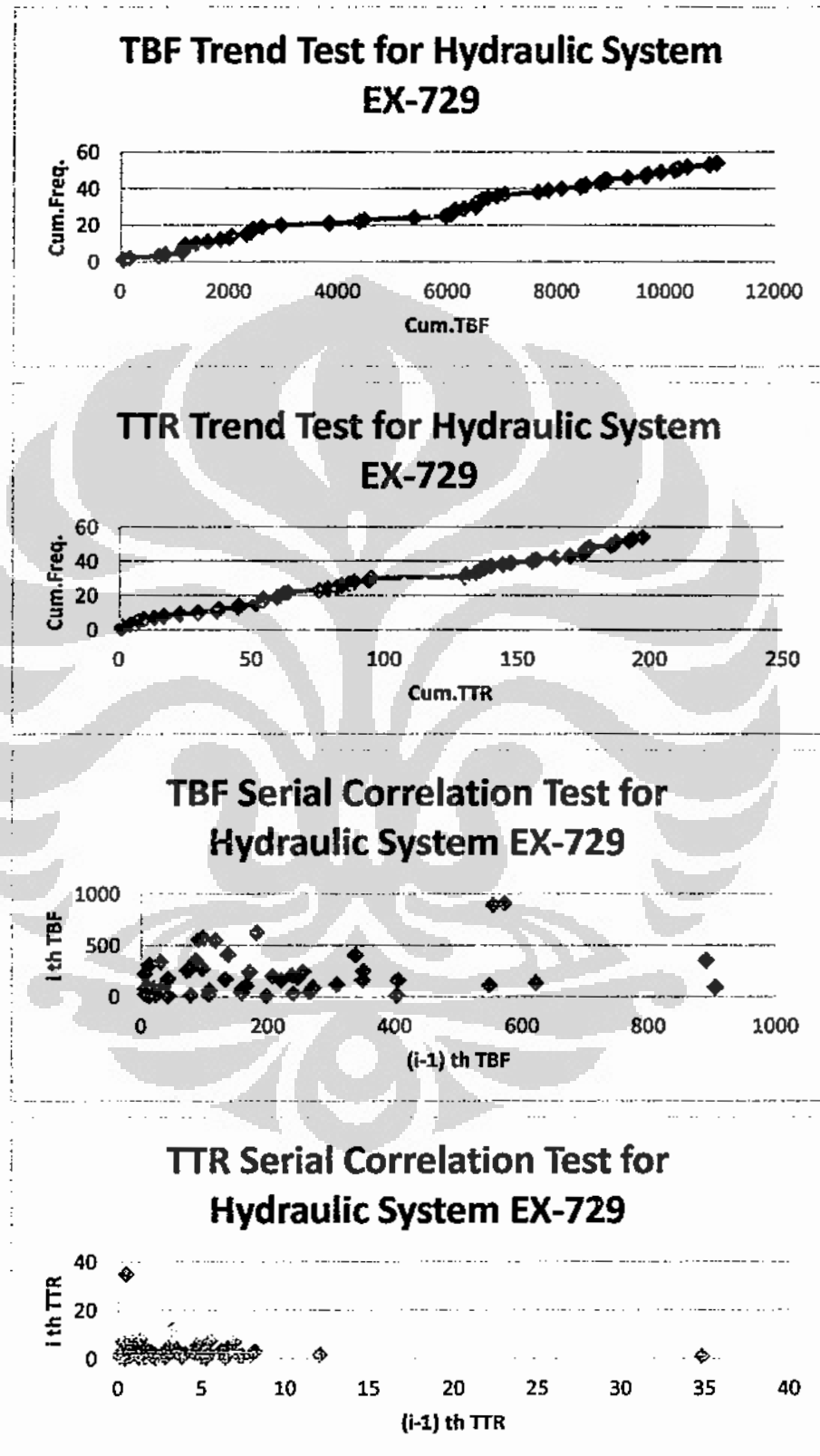
TTR Serial Correlation Test for Attachment/Work Equipment EX-728

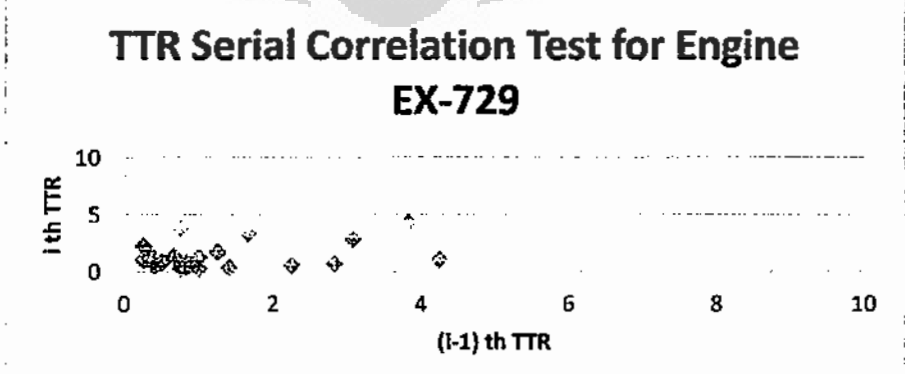
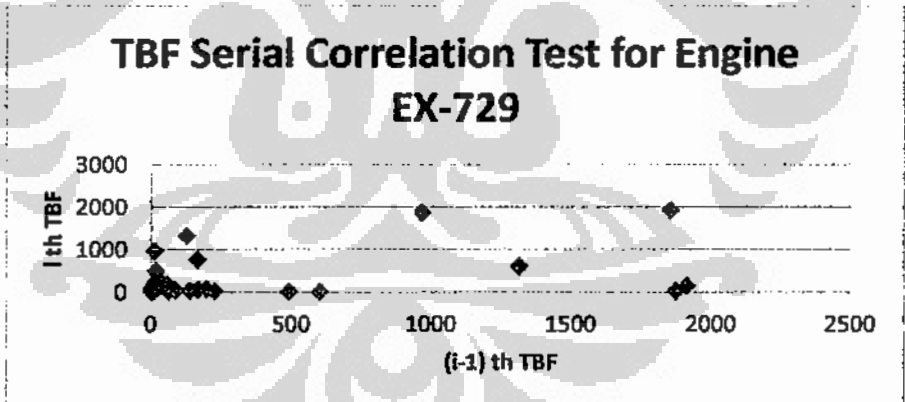
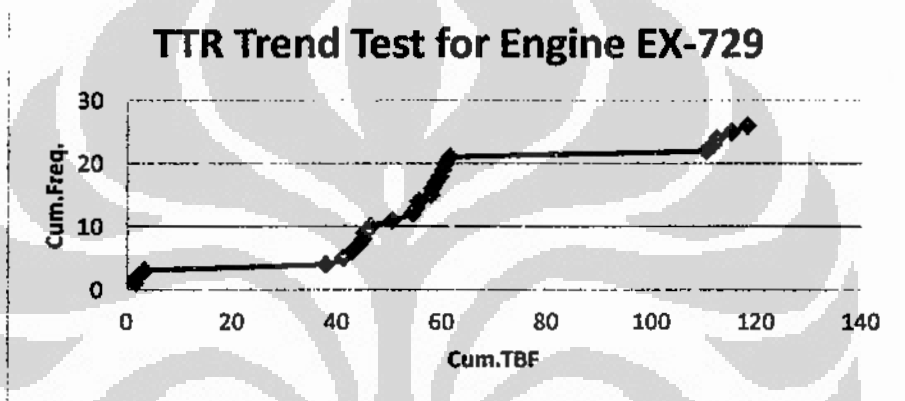
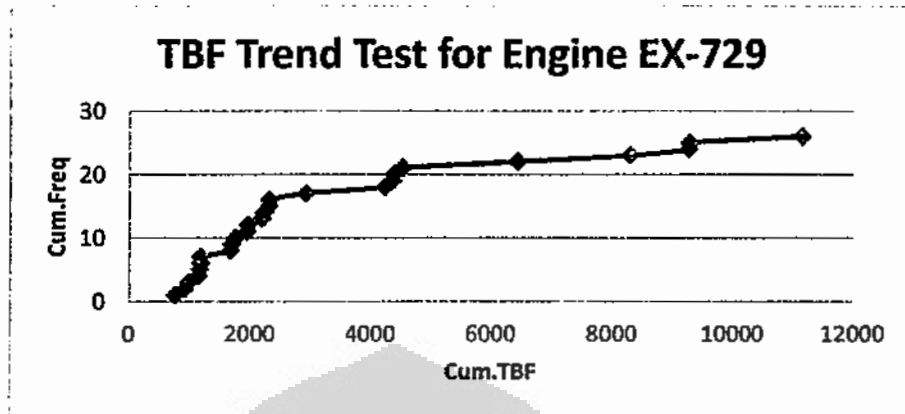




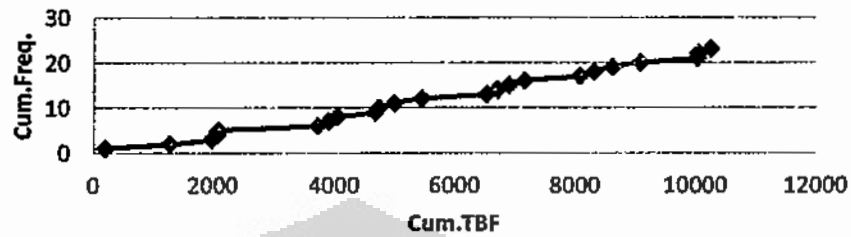


Lampiran 10. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-729

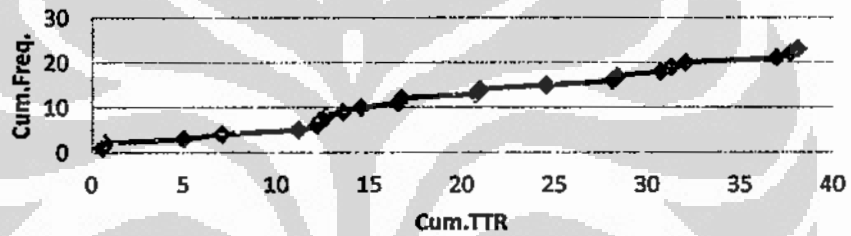




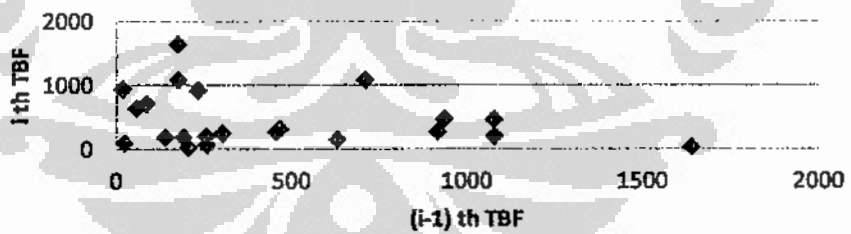
TBF Trend Test for Electrical System EX-729



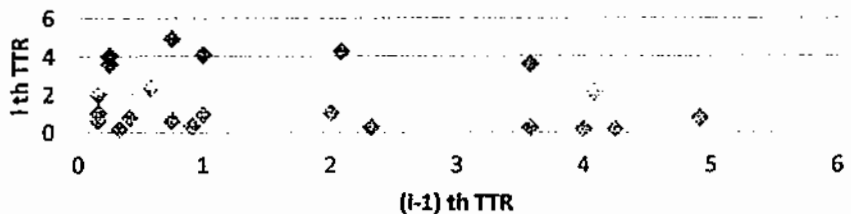
TTR Trend Test for Electrical System EX-729

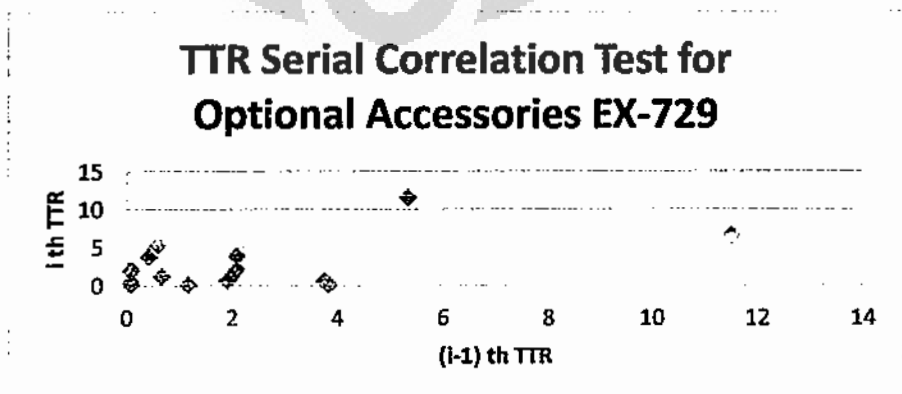
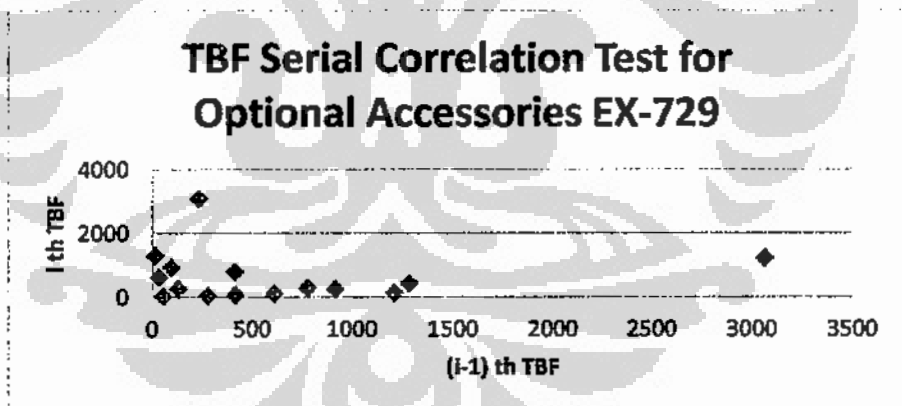
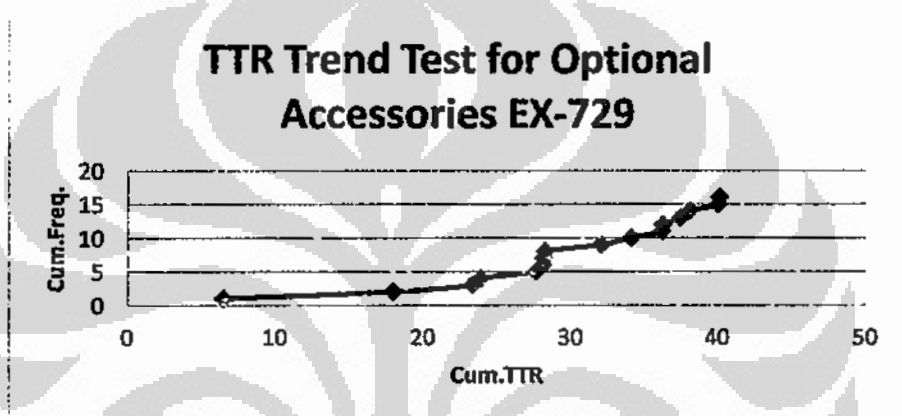
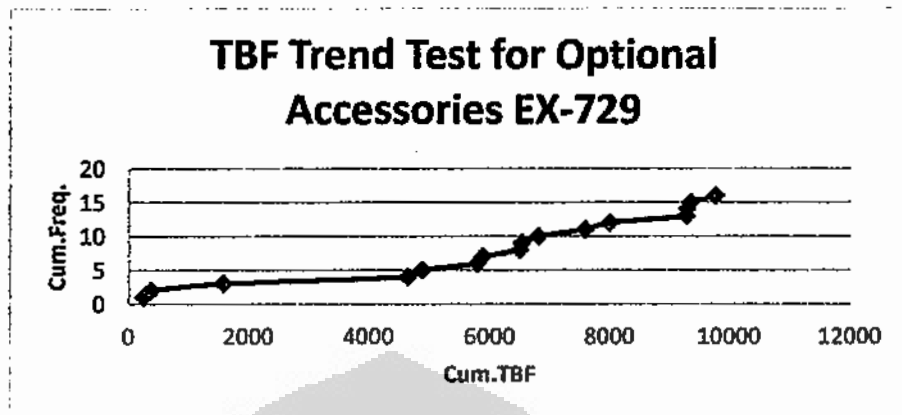


TBF Serial Correlation Test for Electrical System EX-729

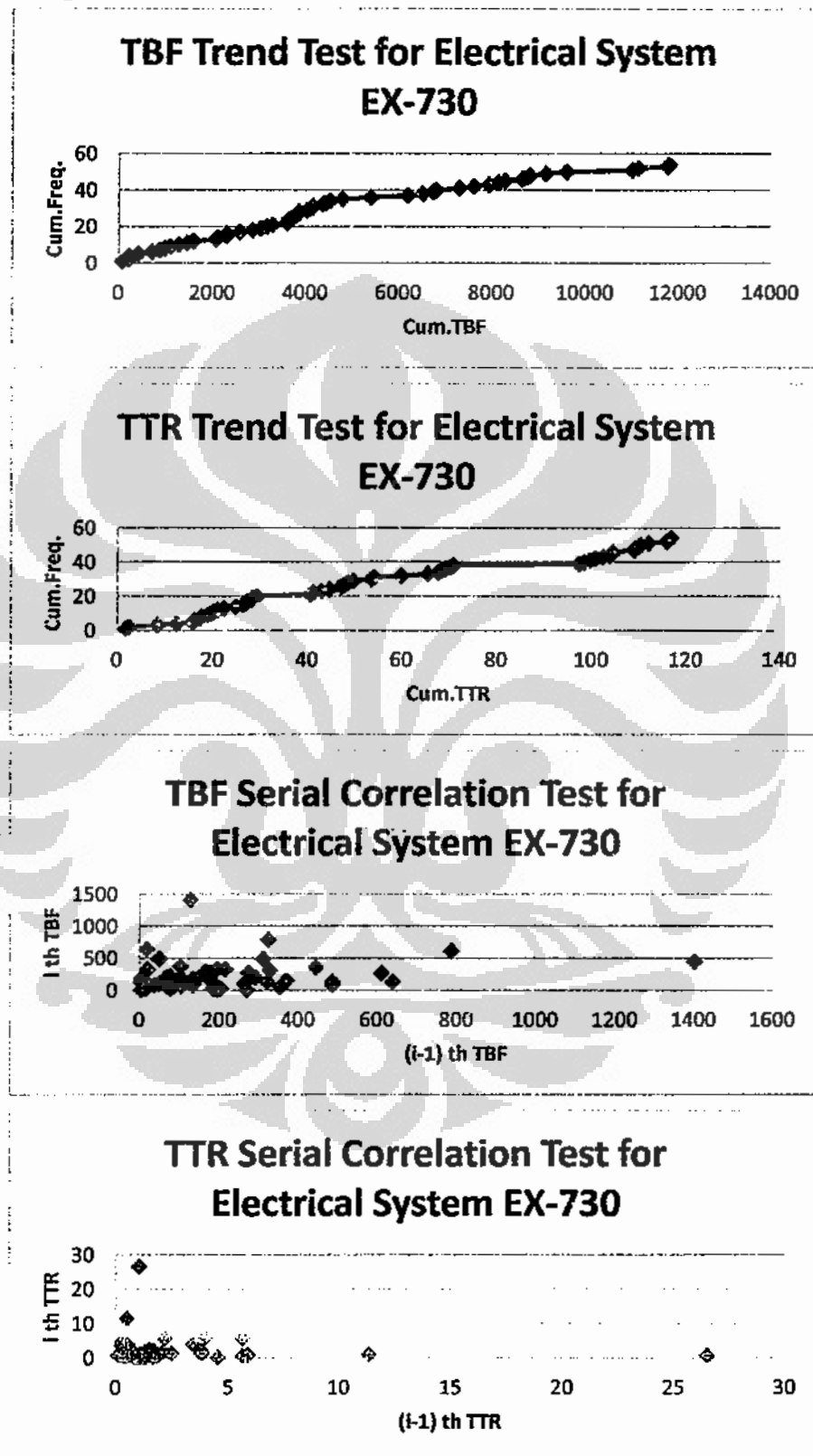


TTR Serial Correlation Test for Electrical System EX-729

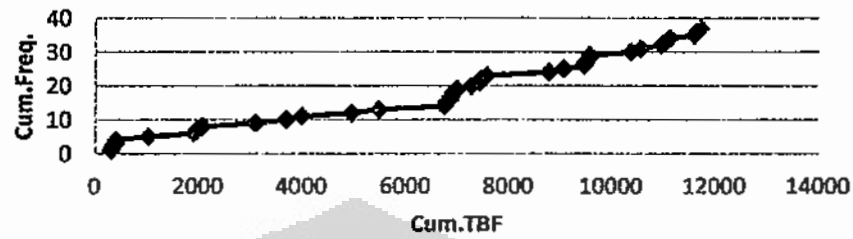




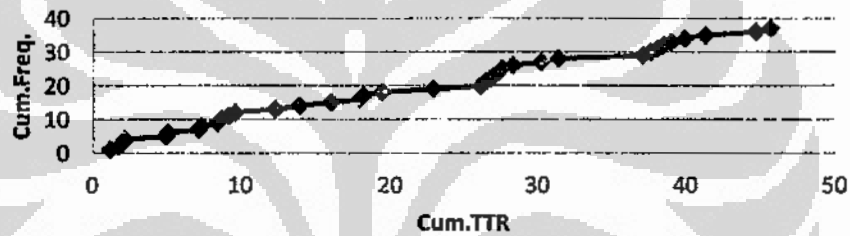
Lampiran 11. Trend Test dan Serial Correlation Test EX-730



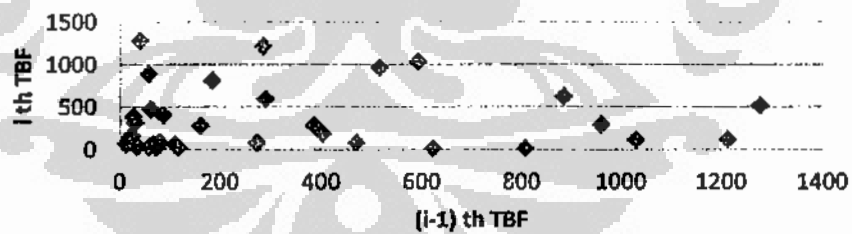
TBF Trend Test for Optional Accessories EX-730



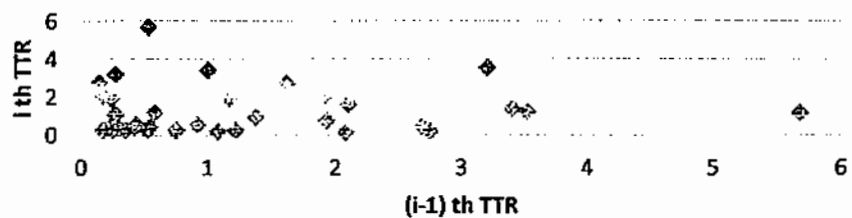
TTR Trend Test for Optional Accessories EX-730

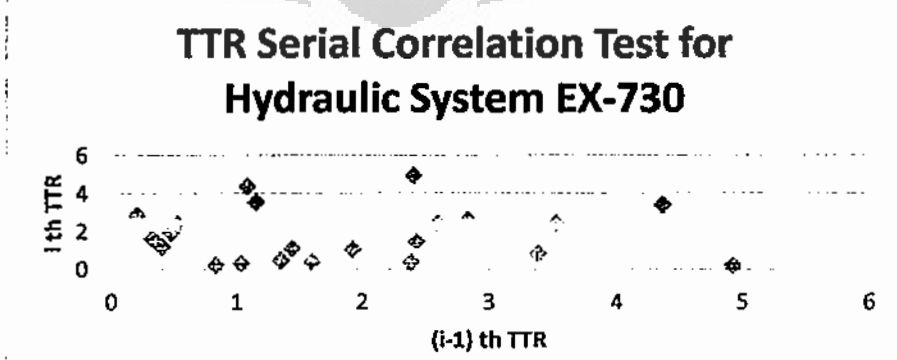
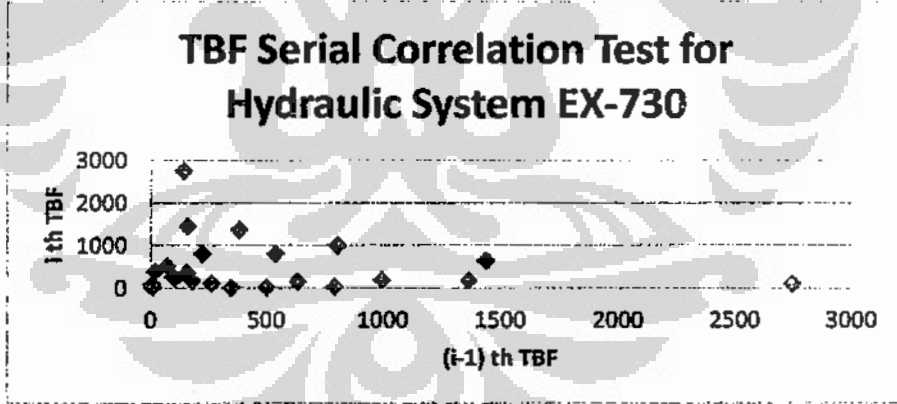
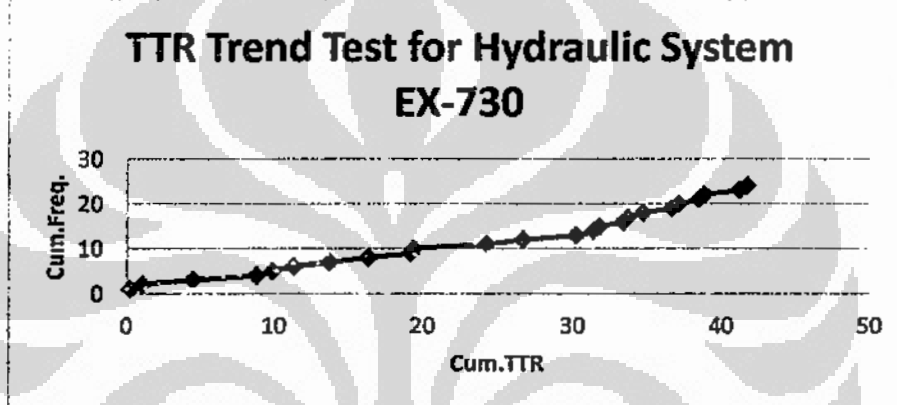
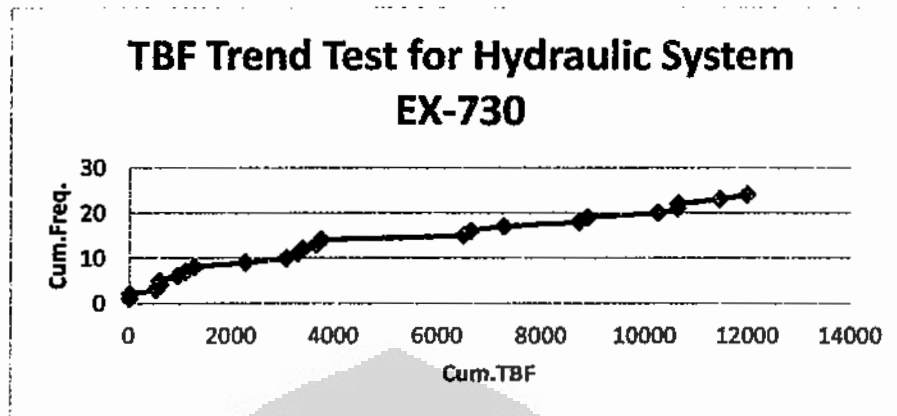


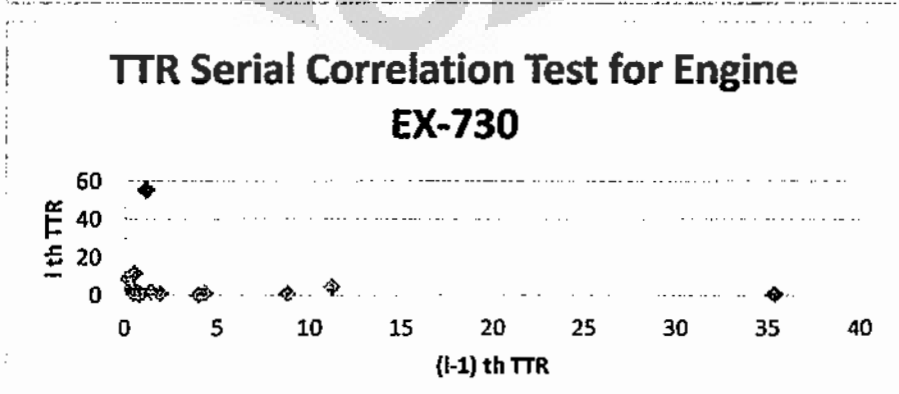
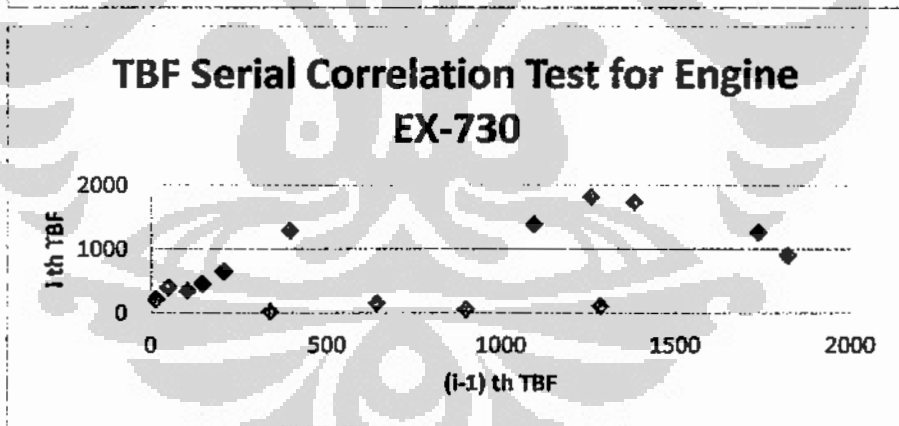
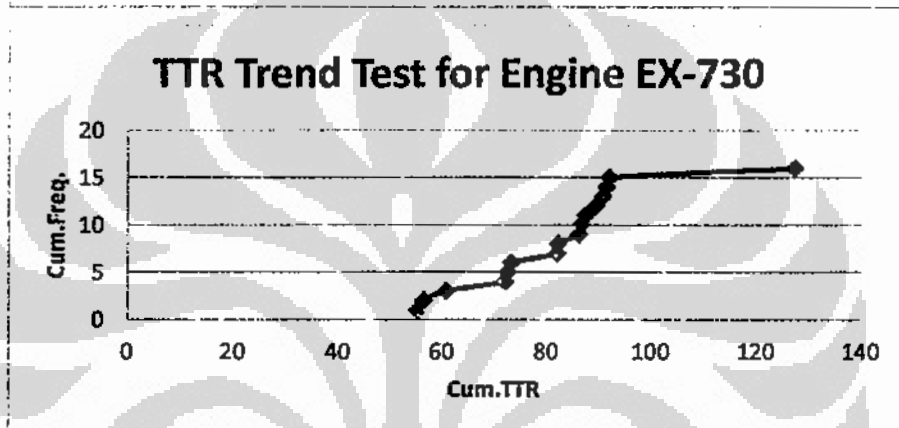
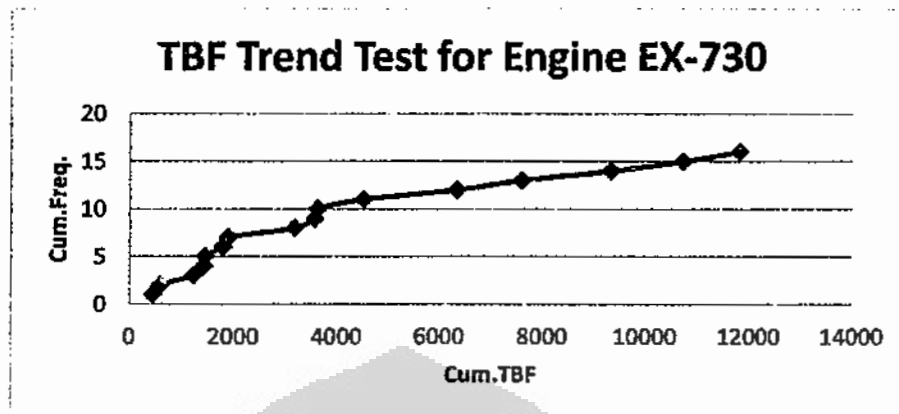
TBF Serial Correlation Test for Optional Accessories EX-730



TTR Serial Correlation Test for Optional Accessories EX-730

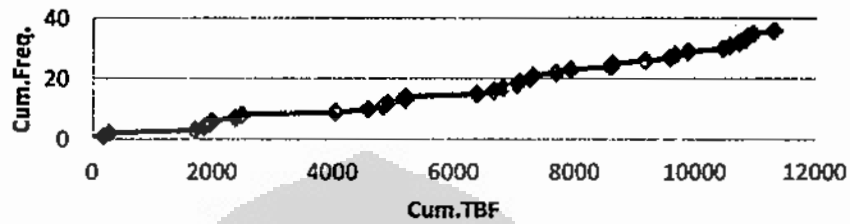




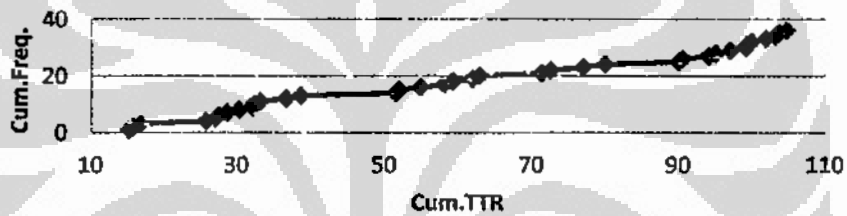


Lampiran 12 Trend Test dan Serial Correlation Test SH-701

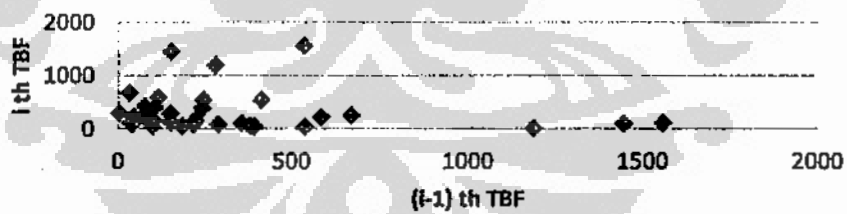
TBF Trend Test for Hydraulic System SH-701



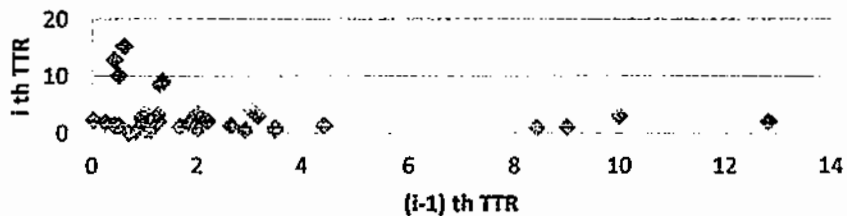
TTR Trend Test for Hydraulic System SH-701



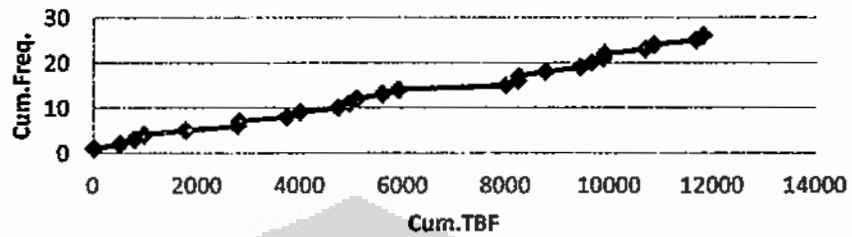
TBF Serial Correlation Test for Hydraulic System SH-701



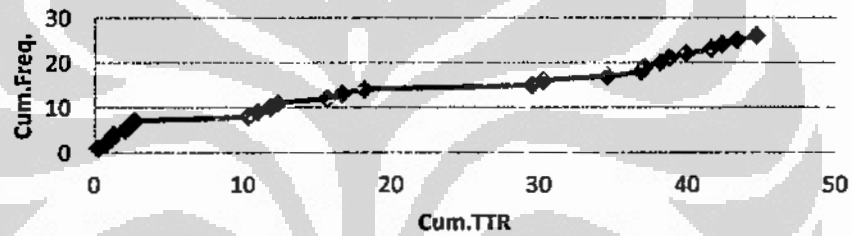
TTR Serial Correlation Test for Hydraulic System SH-701



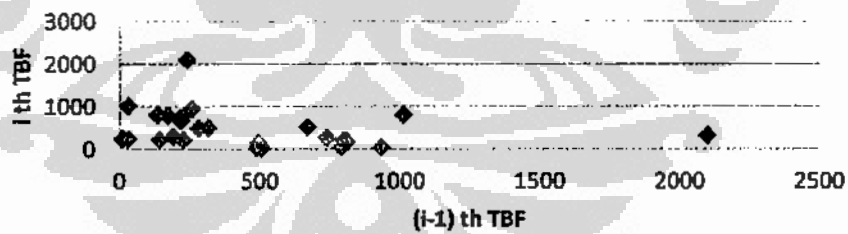
TBF Trend Test for Electrical System SH-701



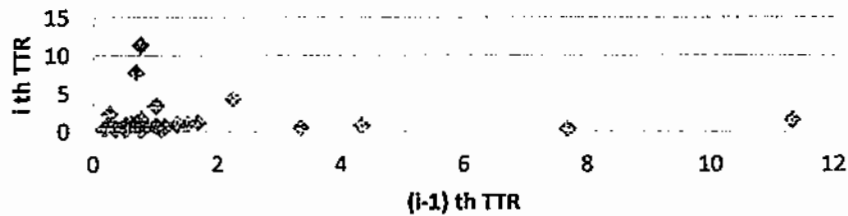
TTR Trend Test for Electrical System SH-701

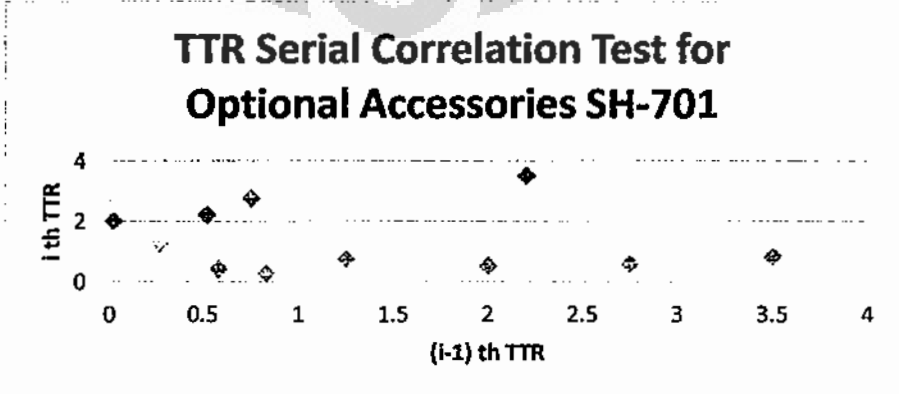
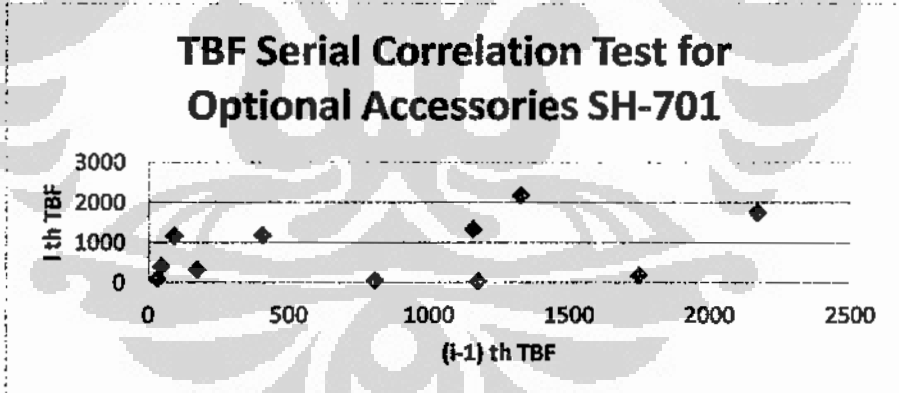
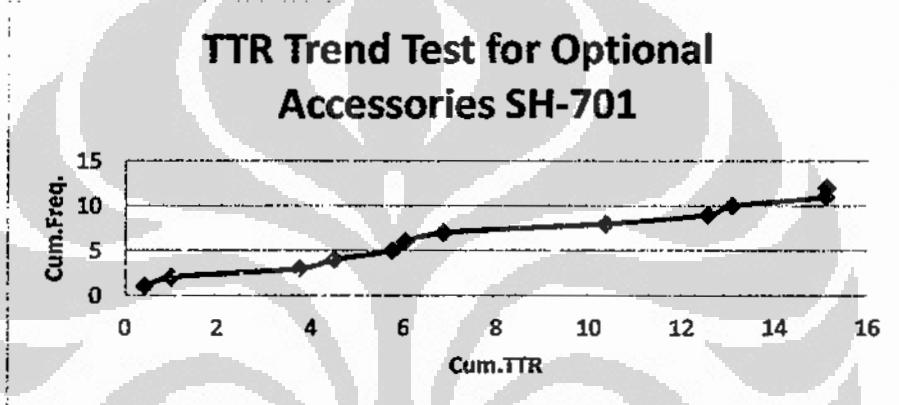
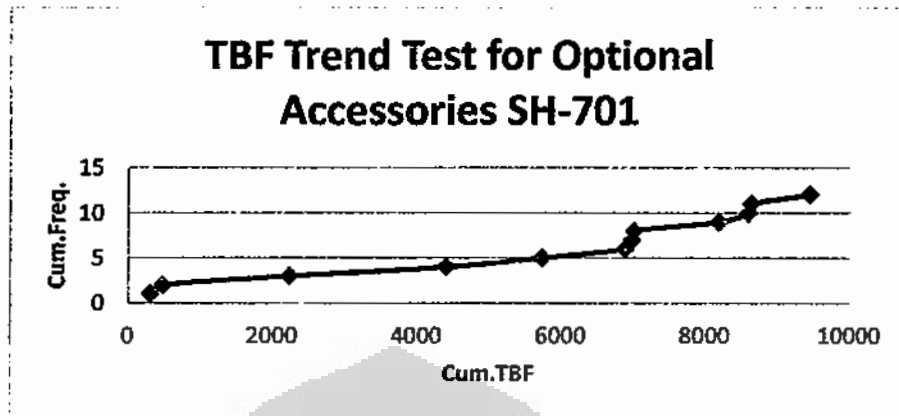


TBF Serial Correlation Test for Electrical System SH-701



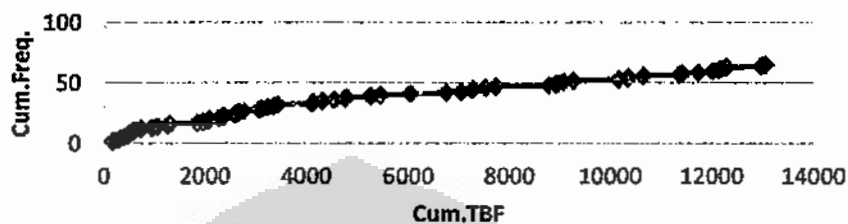
TTR Serial Correlation Test for Electrical System SH-701



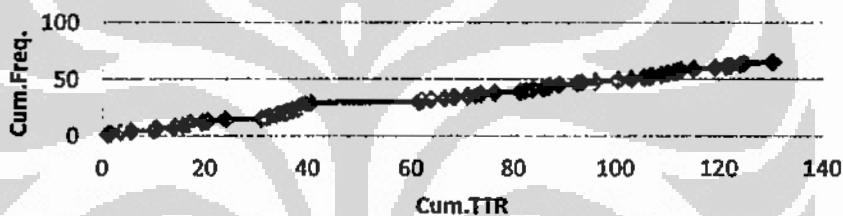


Lampiran 13 Trend Test dan Serial Correlation Test SH-702

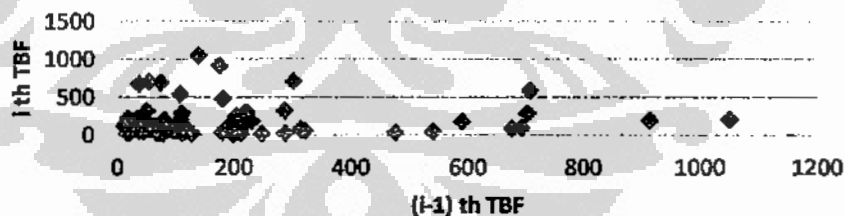
TBF Trend Test for Hydraulic System SH-702



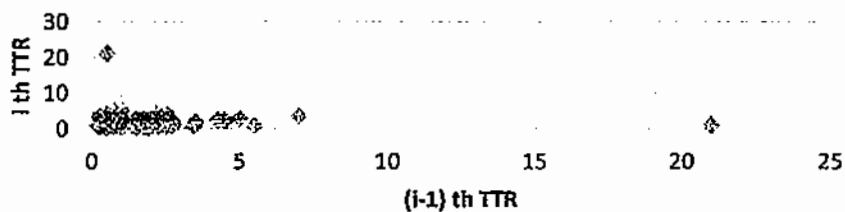
TTR Trend Test for Hydraulic System SH-702



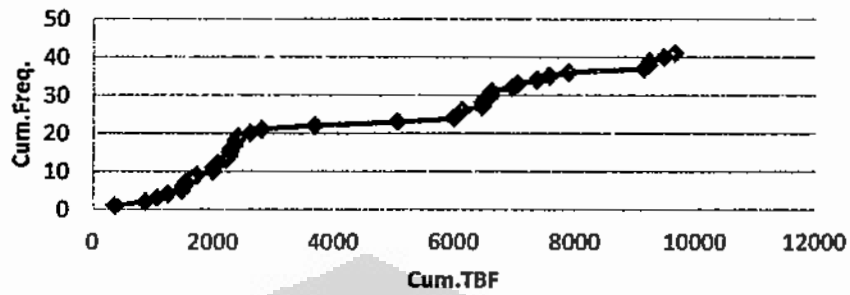
TBF Serial Correlation Test for Hydraulic System SH-702



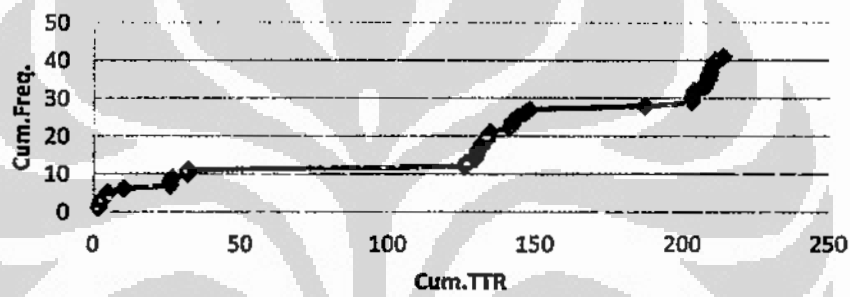
TTR Serial Correlation Test for Hydraulic System SH-702



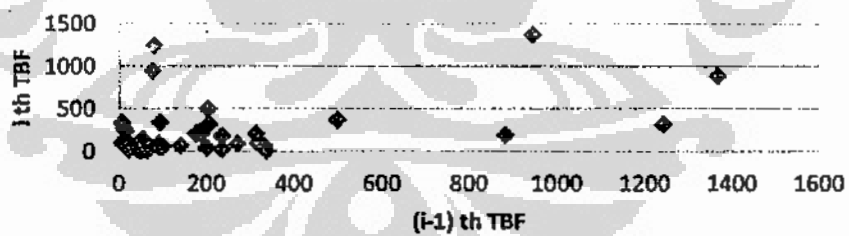
TBF Trend Test for Engine SH-702



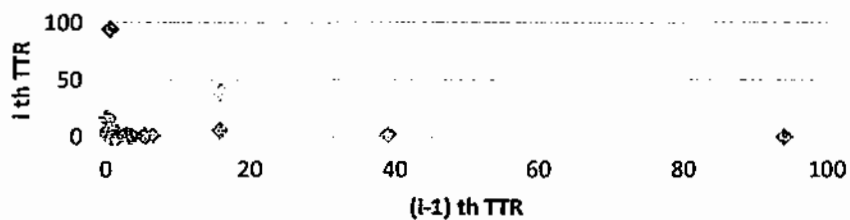
TTR Trend Test for Engine SH-702



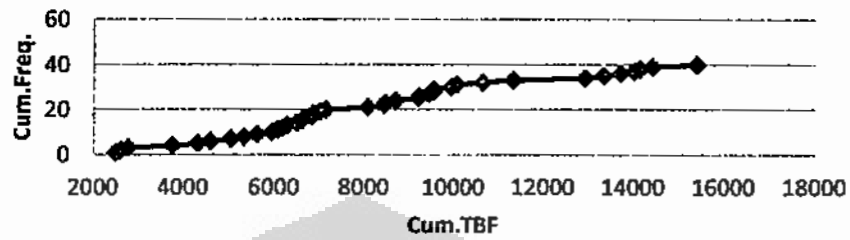
TBF Serial Correlation Test for Engine SH-702



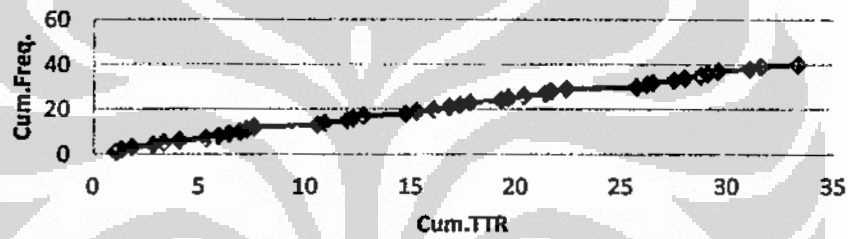
TTR Serial Correlation Test for Engine SH-702



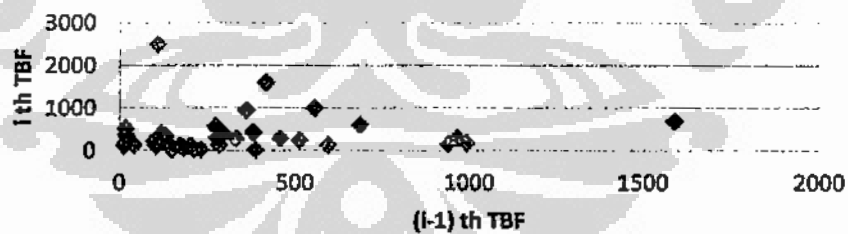
TBF Trend Test for Optional Accessories SH-702



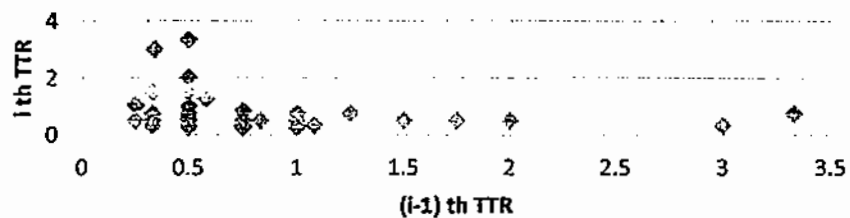
TTR Trend Test for Optional Accessories SH-702



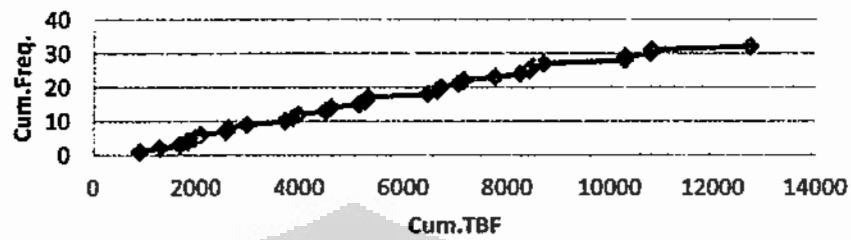
TBF Serial Correlation Test for Optional Accessories SH-702



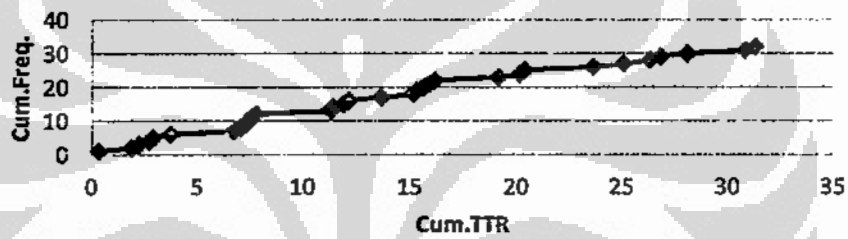
TTR Serial Correlation Test for Optional Accessories SH-702



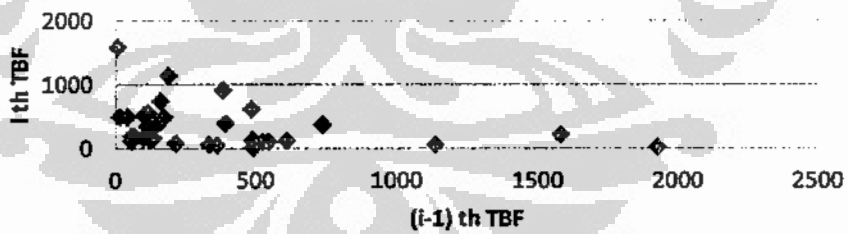
TBF Trend Test for Electrical System SH-702



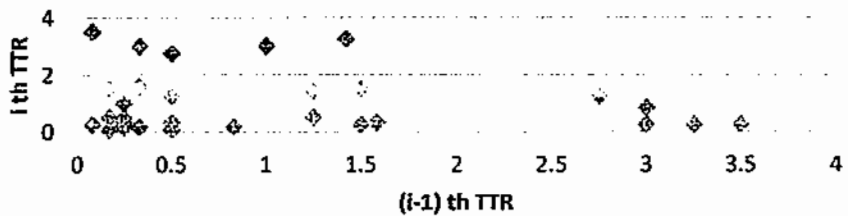
TTR Trend Test for Electrical System SH-702



TBF Serial Correlation Test for Electrical System SH-702



TTR Serial Correlation Test for Electrical System SH-702



Lampiran 14. Best-Fit Distribution

EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-721	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	Exponential 1	Lambda=0.0036
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=0.794, Eta=1.243
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=1.155, Eta=0.791
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=744.342, Eta=0.821
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=1.835, Eta=1640.559
		TTR	Loglogistic 2	Mu=-0.0863, sigma=0.7325
	ENGINE	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=1.215, Eta=931.535
		TTR	Lognormal 2	Mean=0.3623, Std=1.0084
	UNDER CARRIAGE	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=0.878, Eta=444.560
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=0.841, Eta=1.873

EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-722	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.5819, Sigma=1.2546, Lambda=1.0634
		TTR	G-Gamma 3	Mu=0.6666, Sigma=1.1224, Lambda=1.1626
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	Weibull 2	Mu=7.8998, Sigma=0.1832, Lambda=13.9851
		TTR	Weibull 3	Beta=0.9588, Eta=0.8388, Gamma=0.2135
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	Exponensial 1	Lambda=0.0016
		TTR	Weibull 3	Beta=0.7251, Eta=1.6612, Gamma=0.1514
	ENGINE	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=1.184, Eta=1126.37
		TTR	G-Gamma 3	Mu=-0.1446, Sigma=0.5795, Lambda=-0.9859
	UNDER CARRIAGE	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=1.144, Eta=1647.889
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=0.295, Eta=0.007

EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-723	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	Weibull 3	Beta=0.9672, Eta=130.7393, Gamma=3.1600
		TTR	G-Gamma 3	Mu=0.0829, Sigma=1.1801, Lambda=-0.4325
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	Weibull 3	Beta=0.8017, Eta=236.5255, Gamma=-1.6739
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=1.292, Eta=5.333
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=4.5474, Sigma=1.2612, Lambda=0.0186
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=1.340, Eta=3.520
	ENGINE	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=1.479, Eta=1101.048
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=1.770, Eta=35.165

EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-724	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=4.9557, Sigma=1.0329, Lambda=0.8510
		TTR	G-Gamma 3	Mu=0.7554, Sigma=1.0689, Lambda=0.7648
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	Weibull 3	Beta=0.7345, Eta=215.2549, Gamma=12.3336
		TTR	non-iid	Beta=1.874, Eta=11.696
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=4.6753, Sigma=1.4130, Lambda=0.4335
		TTR	non-iid	Beta=1.550, Eta=11.465
	ENGINE	TBF	non-iid	Beta=0.845, Eta=247.940
		TTR	non-iid	Beta=1.832, Eta=16.866

EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-725	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=4.0993, Sigma=1.3497, Lambda=3.8194e-5
		TTR	G-Gamma 3	Mu=0.5504, Sigma=1.1360, Lambda=0.4425
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	Weibull 2	Beta=1.0131, Eta=241.0975
		TTR	non-iid	Beta=1.099, Eta=2.963
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=4.9453, Sigma=1.2487, Lambda=0.1255
		TTR	non-iid	Beta=1.043, Eta=1.820
	ENGINE	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.9970, Sigma=0.9370, Lambda=1.0484
		TTR	non-iid	Beta=0.949, Eta=4.910

EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-726	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	Weibull 3	Beta=0.7290, Eta=187.9718, Gamma=3.6500
		TTR	non-iid	Beta=0.963, Eta=2.111
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	Weibull 3	Beta=0.7382, Eta=352.9310, Gamma=16.7500
		TTR	non-iid	Beta=0.883, Eta=0.508
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.7180, Sigma=1.1958, Lambda=0.7268
		TTR	non-iid	Beta=1.111, Eta=1.524
	ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT	TBF	Loglogistic 2	Mu=5.5321, Sigma=0.4971
		TTR	non-iid	Beta=0.858, Eta=0.354
	ENGINE	TBF	Weibull 3	Beta=0.6642, Eta=376.4923, Gamma=46.5369
		TTR	non-iid	Beta=0.672, Eta=0.414

EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-727	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=4.3469, Sigma=1.1206, Lambda=0.1990
		TTR	G-Gamma 3	Mu=0.7196, Sigma=1.1720, Lambda=0.6929
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	G-Gamma 3	Mu=3.9904, Sigma=1.3557, Lambda=0.7311
		TTR	G-Gamma 3	Mu=0.2213, Sigma=1.1241, Lambda=0.3175
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=1.409, Eta=548.897
		TTR	G-Gamma 3	Mu=0.3687, Sigma=1.4870, Lambda=0.3826

EGI	Subsystem		Best-fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-728	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.7272, Sigma=0.8586, Lambda=1.4364
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=1.208, Eta=1.247
	ATTACHMENT / WORK EQUIPMENT	TBF	Weibull 2	Beta=0.9449, Eta=474.0696
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=0.986, Eta=0.935
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	Exponential 2	Lambda=0.0027, Gamma=2.4123
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=0.935, Eta=0.656
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	Weibull 2	Beta=0.8884, Eta=404.2487
		TTR	Weibull 3	Beta=0.7384, Eta=0.8413, Gamma=0.1582
	ENGINE	TBF	Weibull 3	Beta=0.7384, Eta=0.8413, Gamma=0.1582
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=1.419, Eta=1.579

EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-729	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.4396, Sigma=0.9704, Lambda=1.3461
		TTR	G-Gamma 3	Mu=1.0734, Sigma=1.0744, Lambda=0.6686
	ENGINE	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=1.4777, Eta=1229.73
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=1.047, Eta=5.257
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=0.8113, Eta=320.229
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=0.364, Eta=0.0196
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	Weibull 3	Beta=0.8952, Eta=450.3271, Gamma=8.9513
		TTR	Weibull 3	Beta=0.6757, Eta=1.3759, Gamma=0.1358

EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500 EX-730	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=1.6945, Sigma=1.2871, Lambda=1.2098
		TTR	G-Gamma 3	Mu=0.7947, Sigma=0.7940, Lambda=1.3943
	ENGINE	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=1.405, Eta=1642.295
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=0.465, Eta=0.329
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	Weibull 3	Beta=0.6587, Eta=255.8797, Gamma=11.7116
		TTR	Weibull 3	Beta=0.7723, Eta=1.0113, Gamma=0.1361
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.4294, Sigma=0.8668, Lambda=1.1784
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=1.016, Eta=2.302

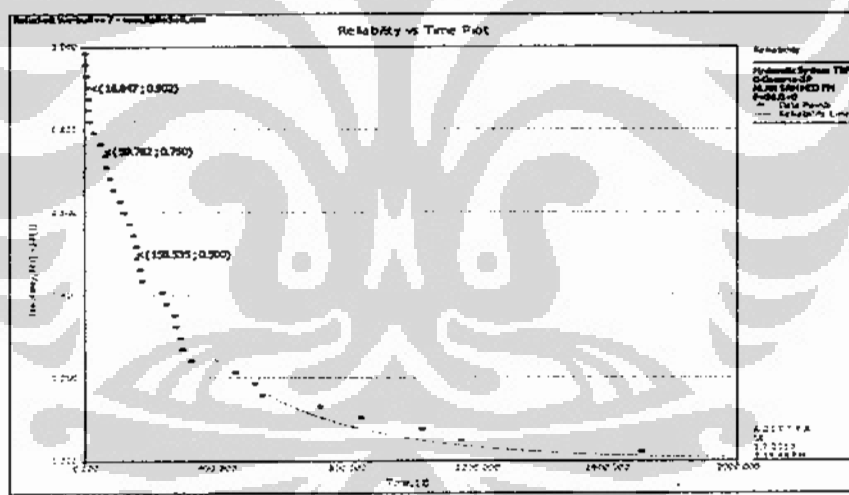
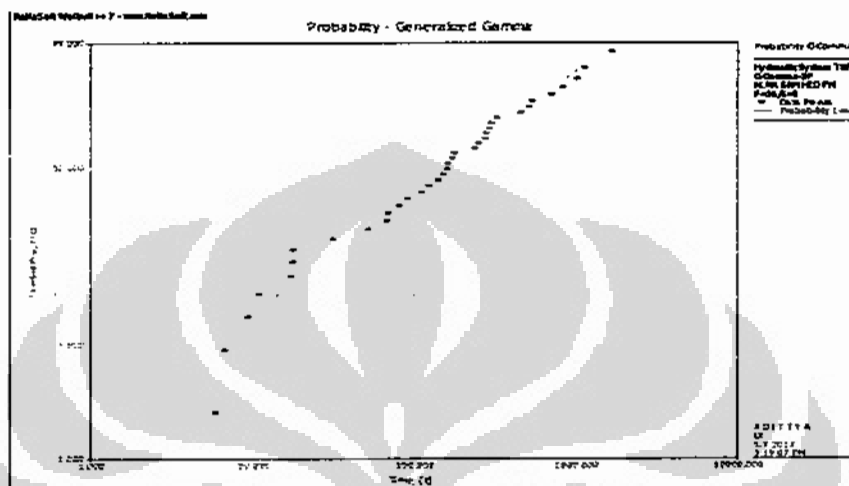
EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500LD SH-701	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.2306, Sigma=1.1334, Lambda=0.0916
		TTR	Loglogistic 2	Mu=0.4380, Sigma=0.7080
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=0.859, Eta=522.957
		TTR	Exponential 2	Lambda=0.7669, Gamma=0.0200
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	Exponential 1	Lambda=0.0021
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=1.380, Eta=4.213

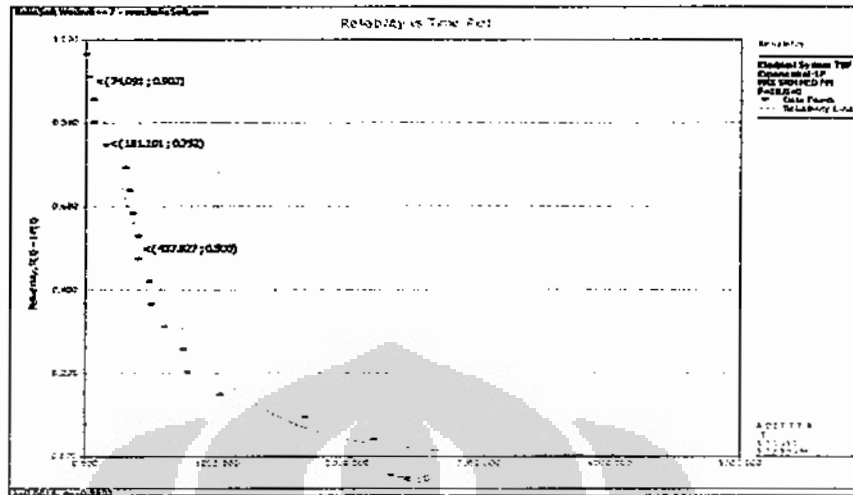
EGI	Subsystem		Best-Fit Distribution	Parameters
EX-2500LD SH-702	HYDRAULIC SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=4.8839, Sigma=1.1651, Lambda=0.3066
		TTR	G-Gamma 3	Mu=0.3094, Sigma=0.9362, Lambda=0.1875
	ENGINE	TBF	non- $\bar{i}d$	Beta=1.043, Eta=274.259
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=1.038, Eta=5.962
	OPTIONAL ACCESSORIES	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.6147, Sigma=1.0077, Lambda=0.4134
		TTR	non- $\bar{i}d$	Beta=1.005, Eta=0.848
	ELECTRICAL SYSTEM	TBF	G-Gamma 3	Mu=5.5781, Sigma=1.2505, Lambda=0.2966
		TTR	Weibull 3	Beta=0.7309, Eta=0.8380, Gamma=0.0747

ENGINE EX-721

Non-iid

HYDRAULIC SYSTEM EX-722





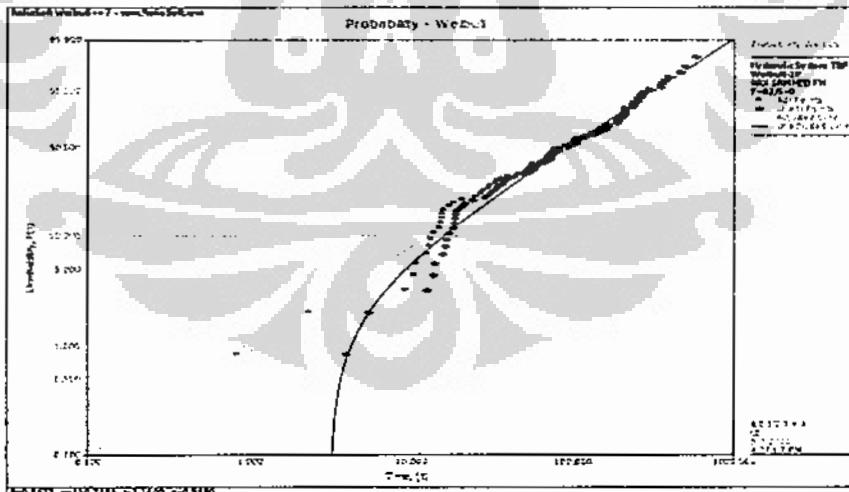
UNDER CARRIAGE EX-722

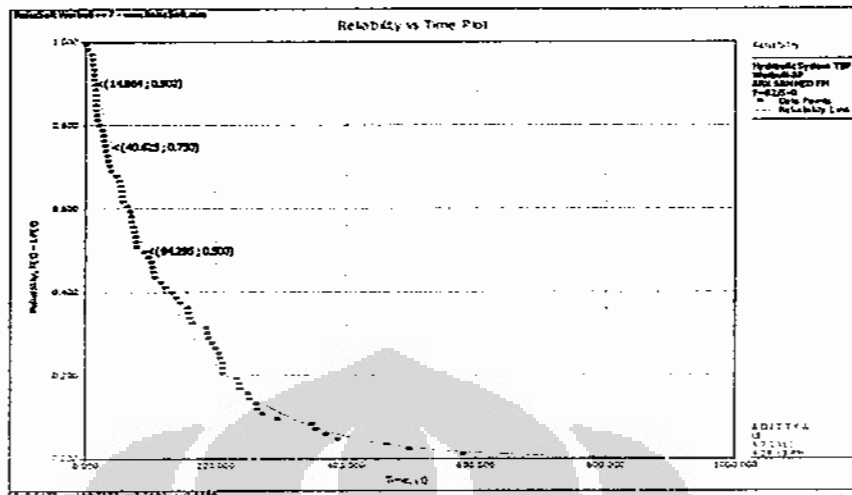
Non-iid

ENGINE EX-722

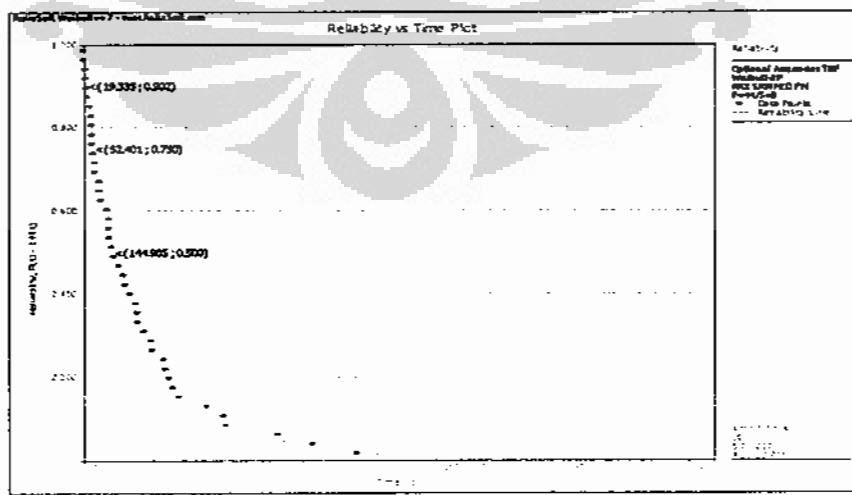
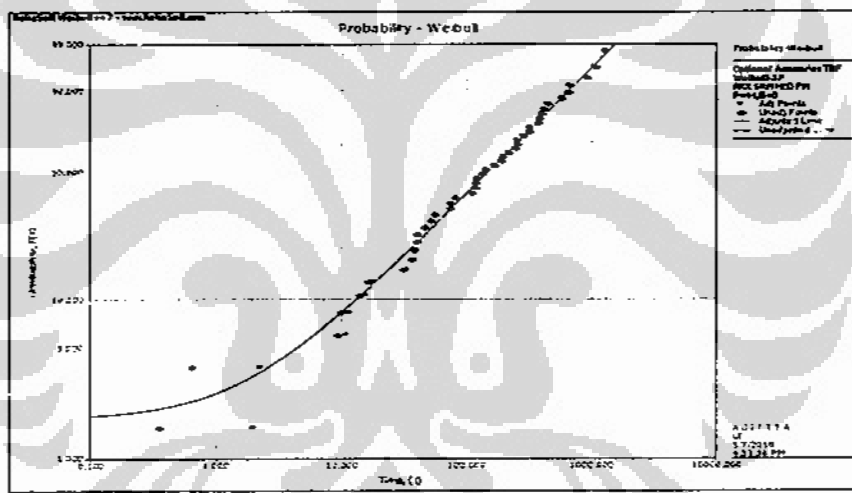
Non-iid

HYDRAULIC SYSTEM EX-723

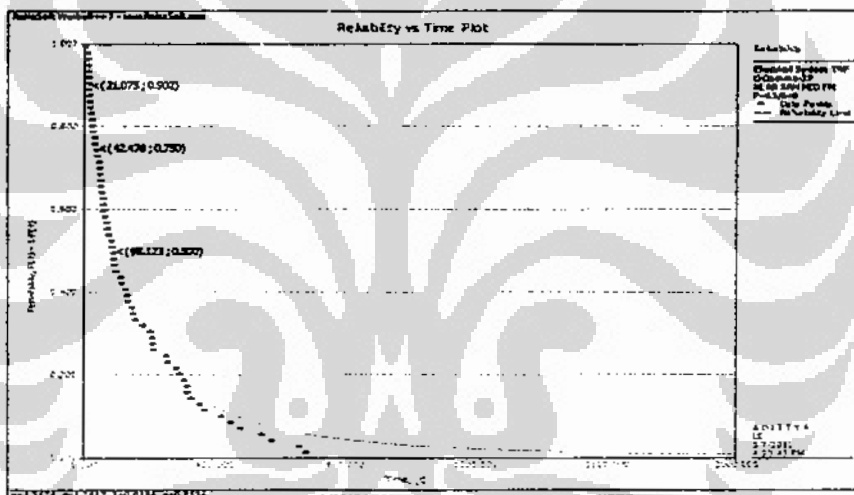
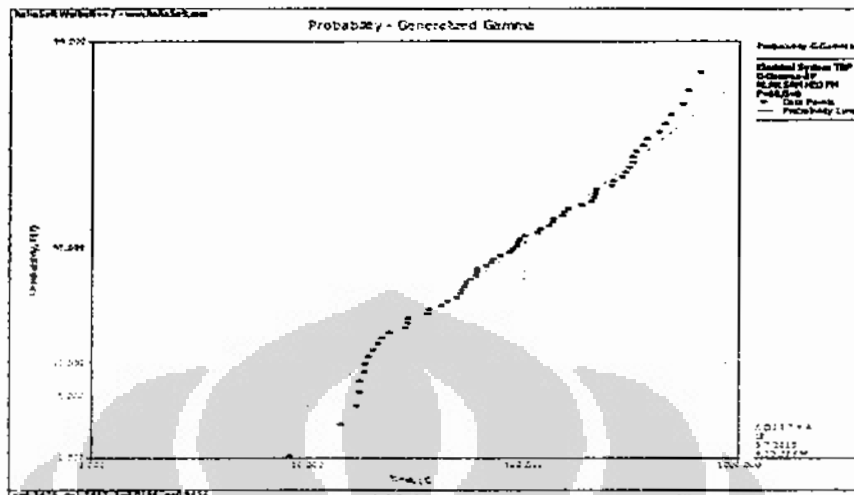




OPTIONAL ACCESSORIES EX-723



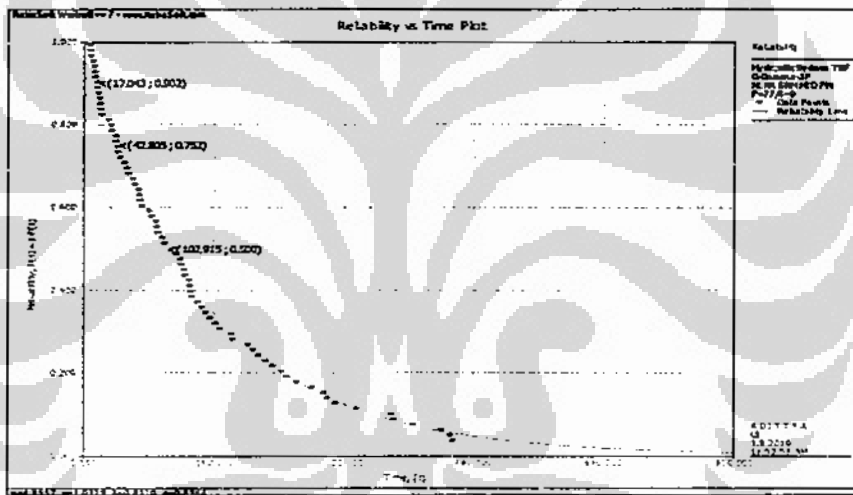
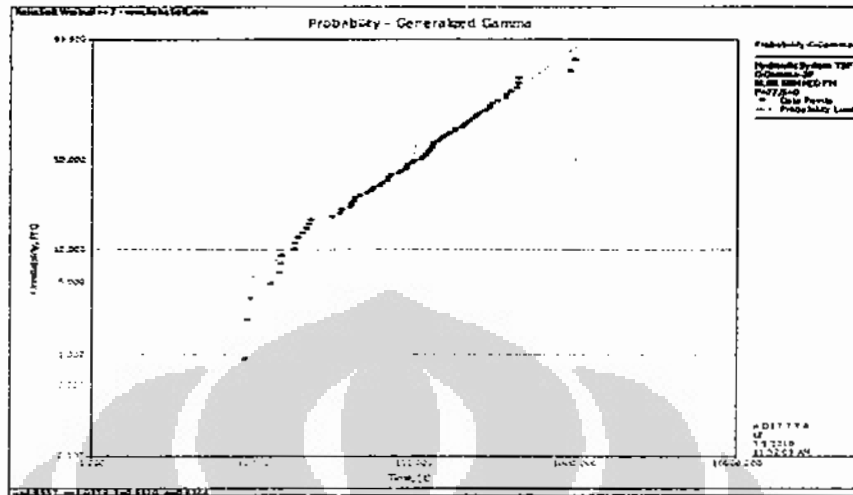
ELECTRICAL SYSTEM EX-723



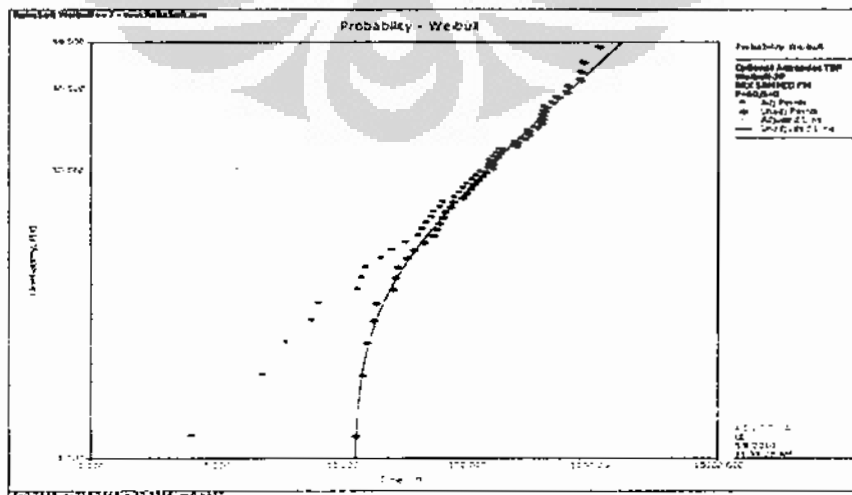
ENGINE EX-723

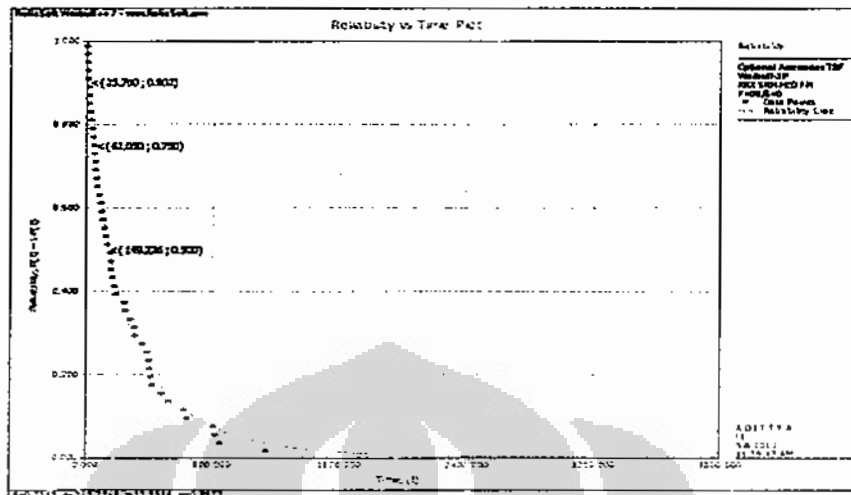
Non-iid

HYDRAULIC SYSTEM EX-724

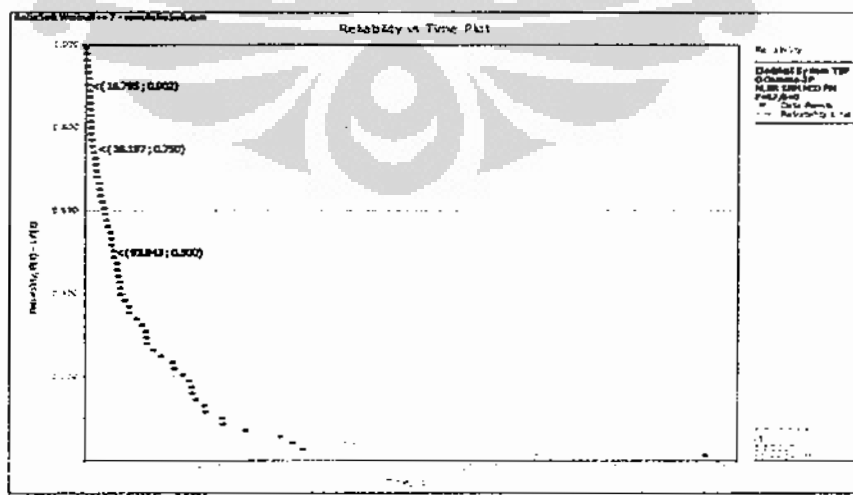
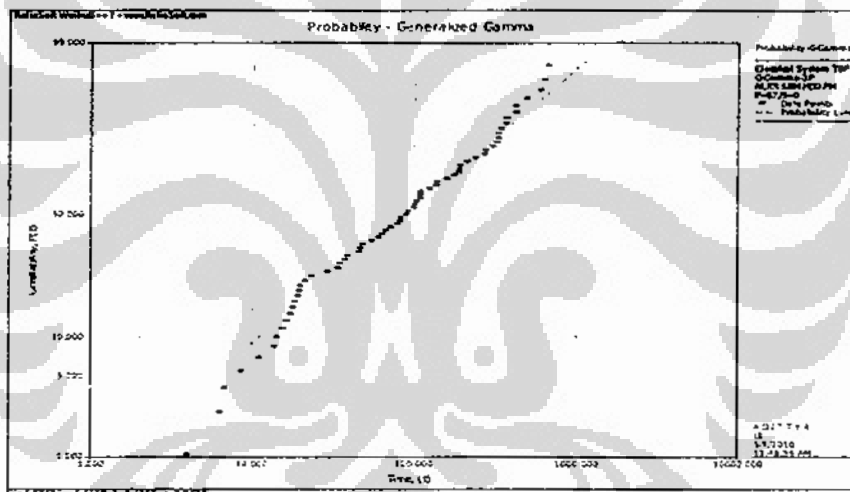


OPTIONAL ACCESSORIES EX-724





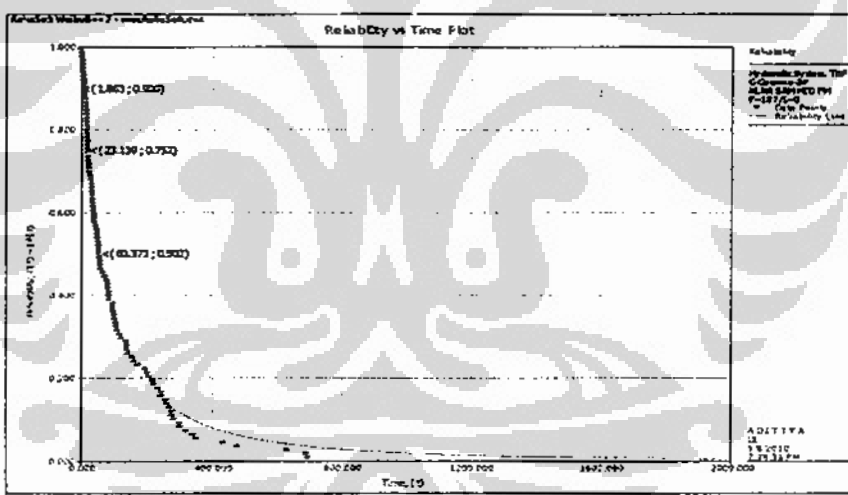
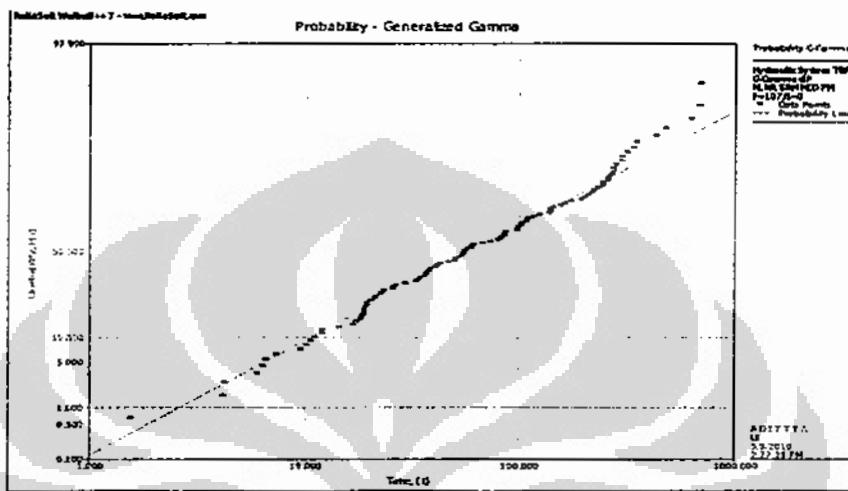
ELECTRICAL SYSTEM EX-724

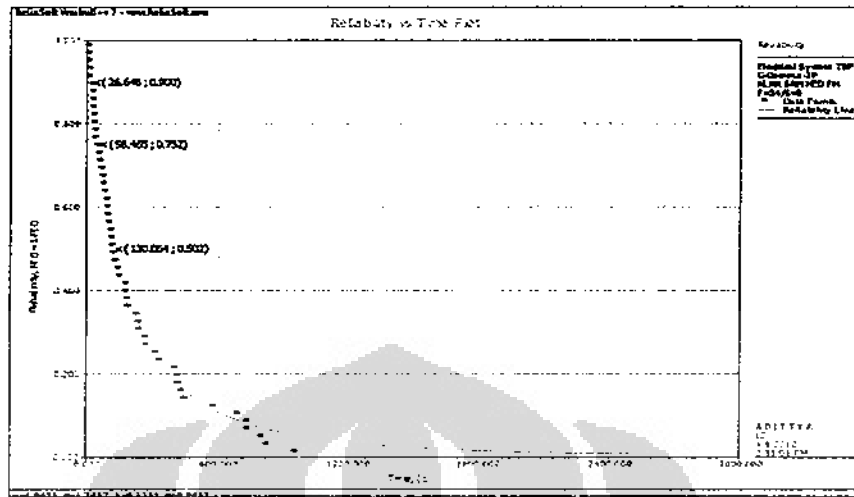


ENGINE EX-724

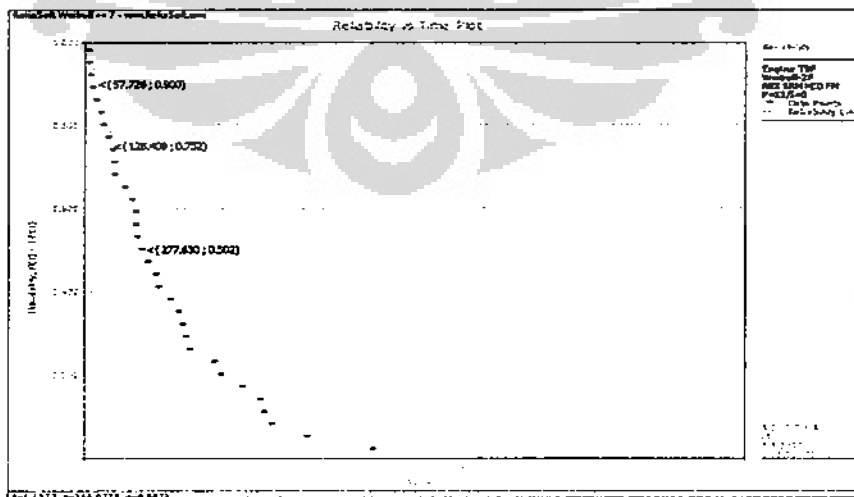
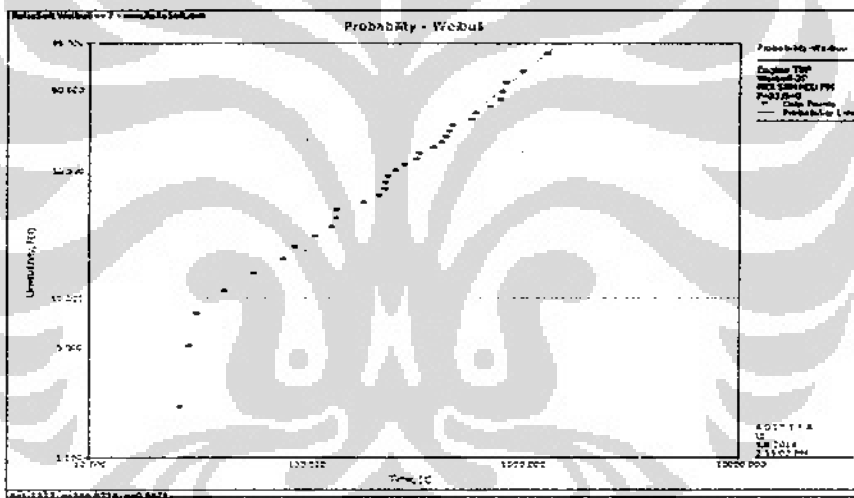
Non-iid

HYDRAULIC SYSTEM EX-725

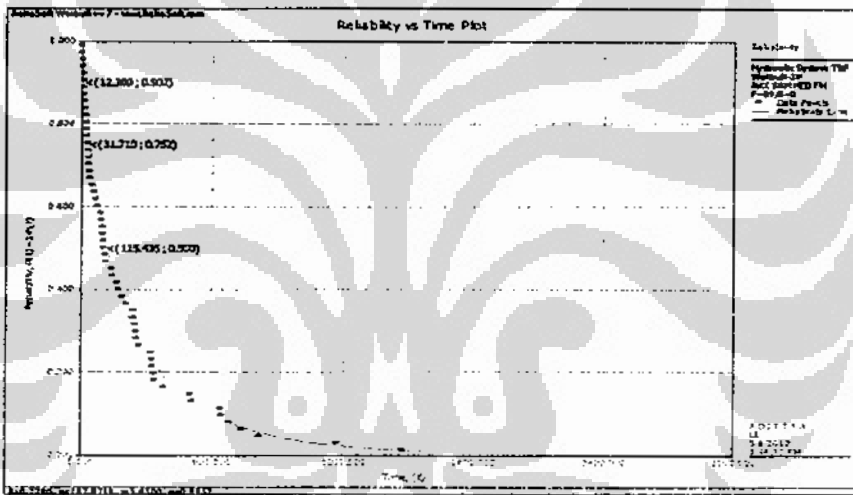
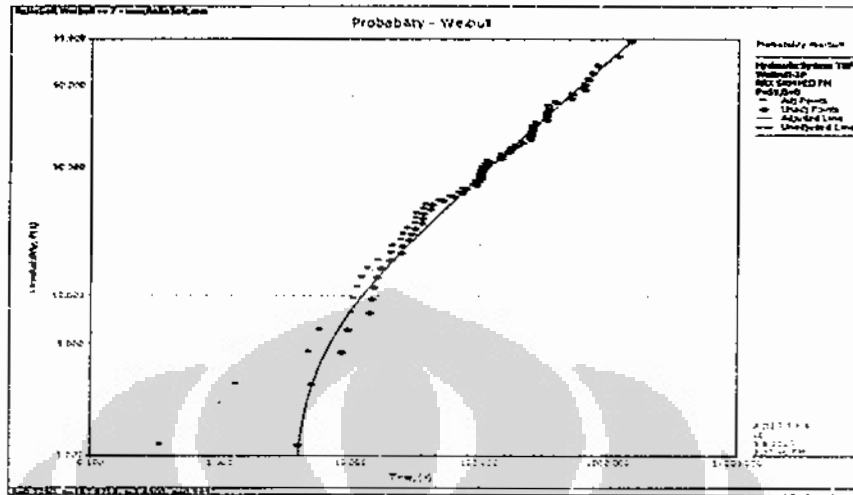




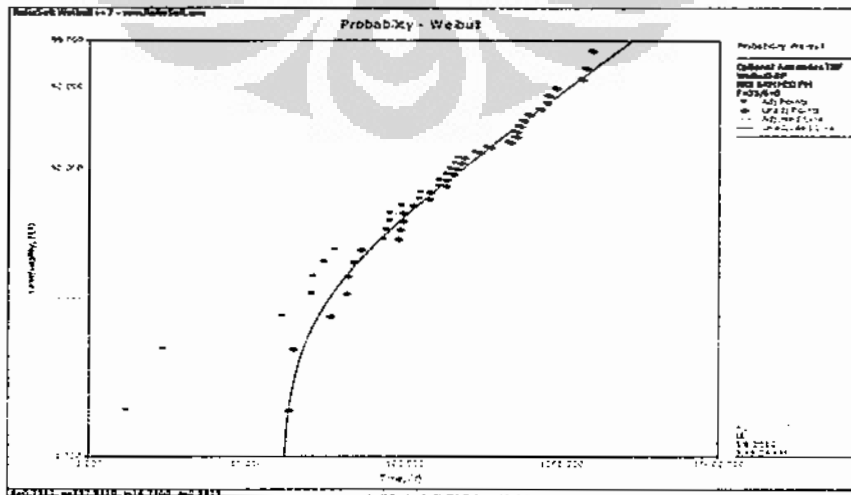
ENGINE EX-725

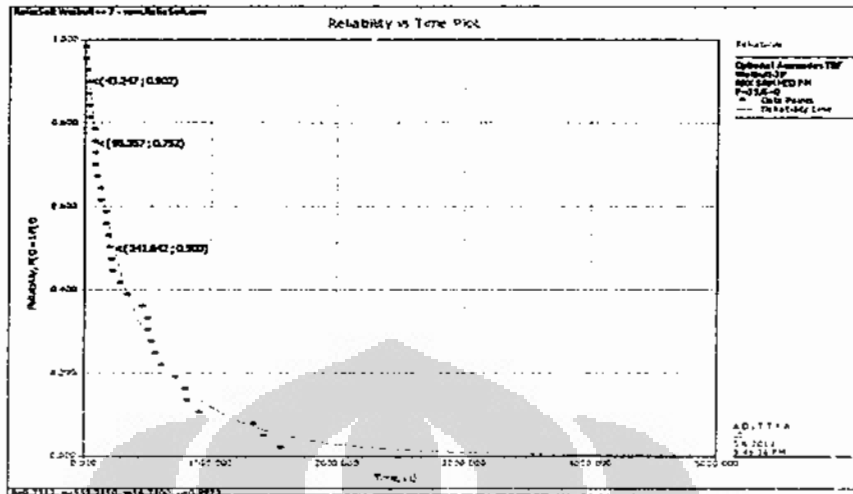


HYDRAULIC SYSTEM EX-726

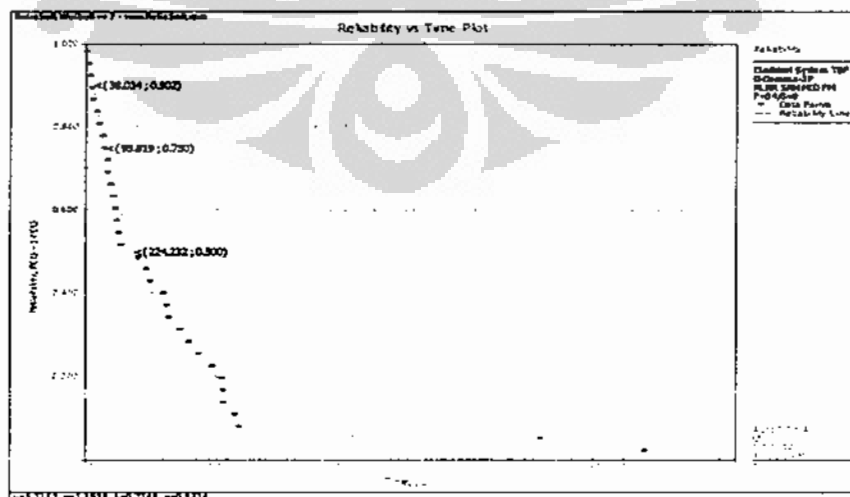
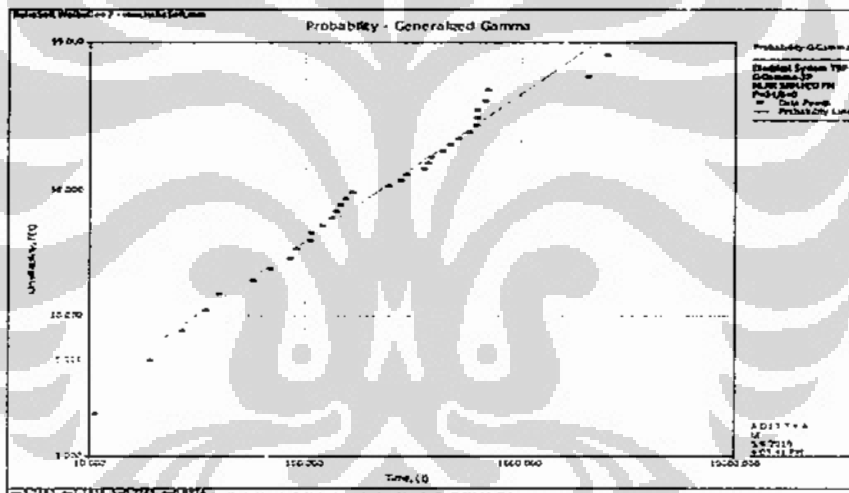


OPTIONAL ACCESSORIES EX-726

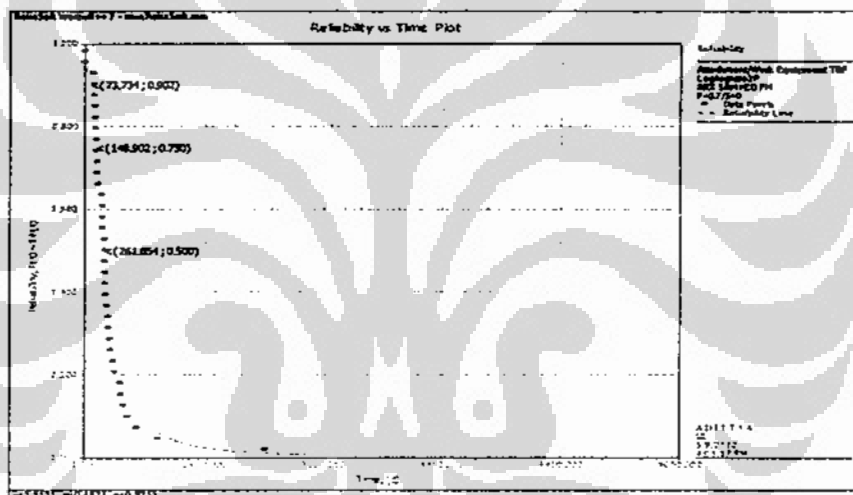
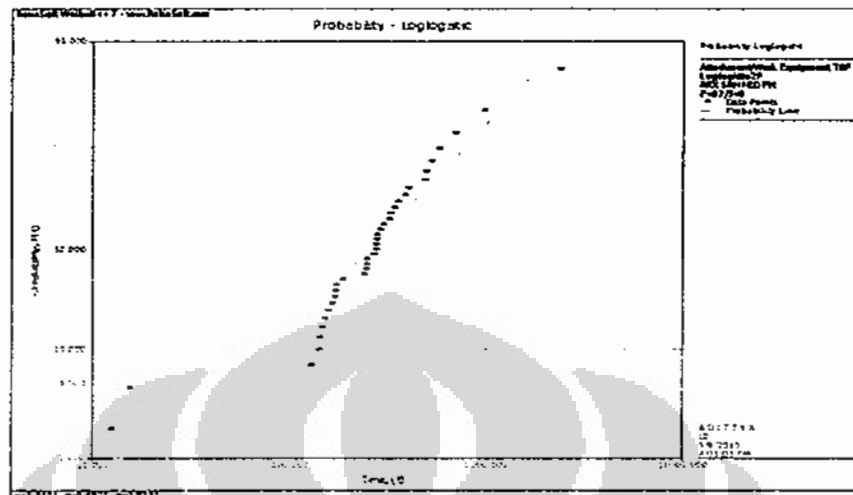




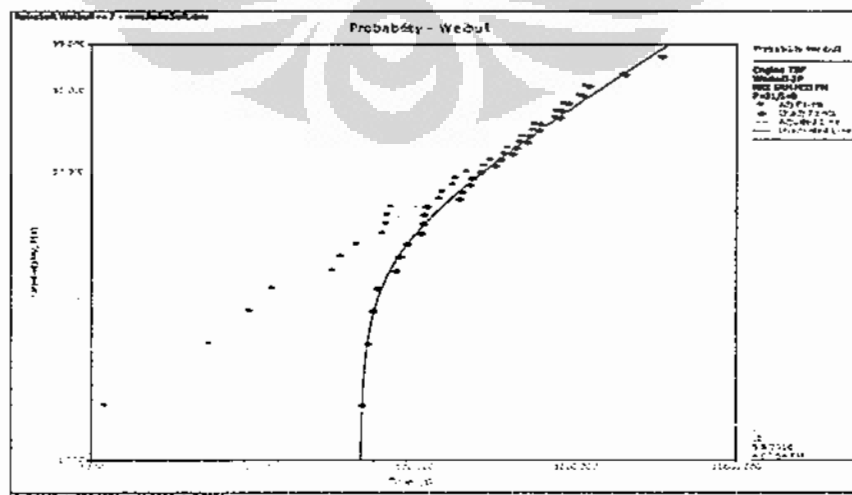
ELECTRICAL SYSTEM EX-726

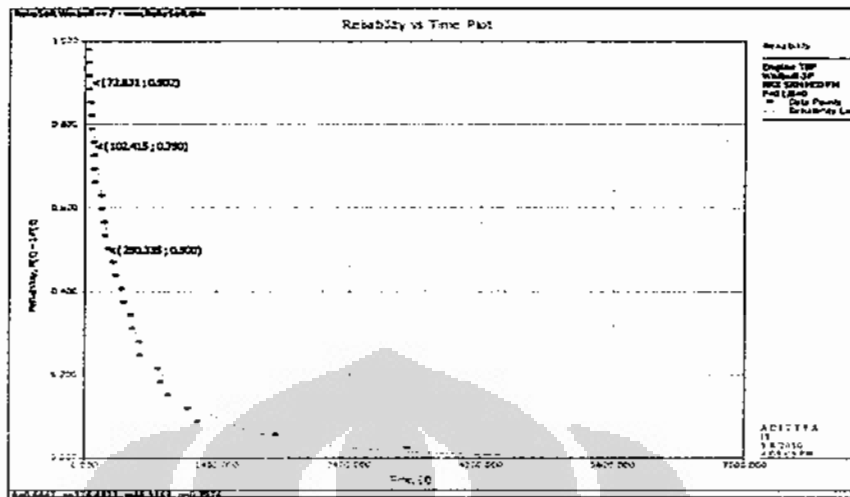


ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT EX-726

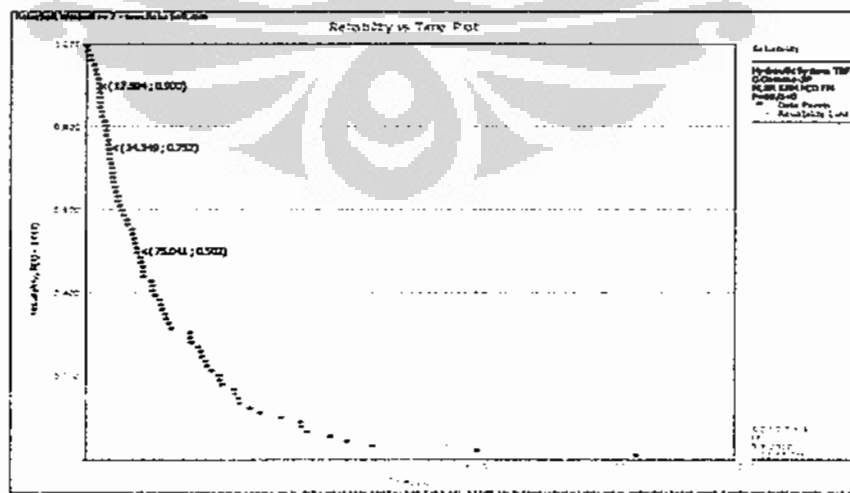
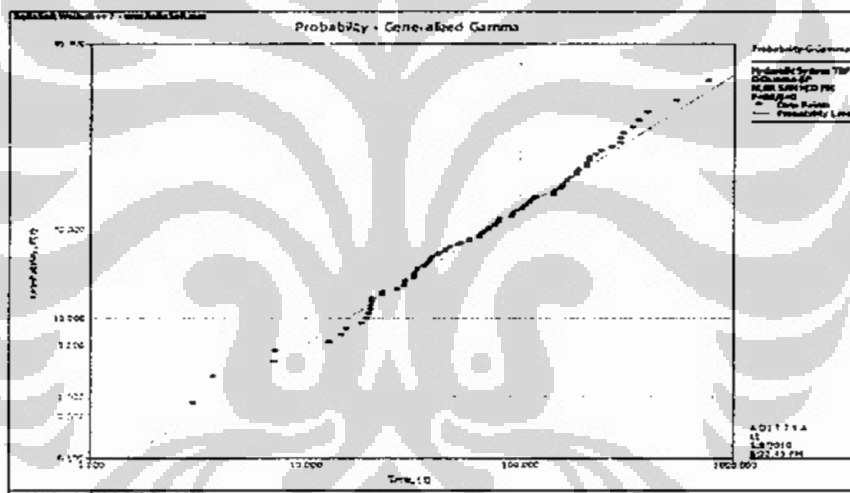


ENGINE EX-726

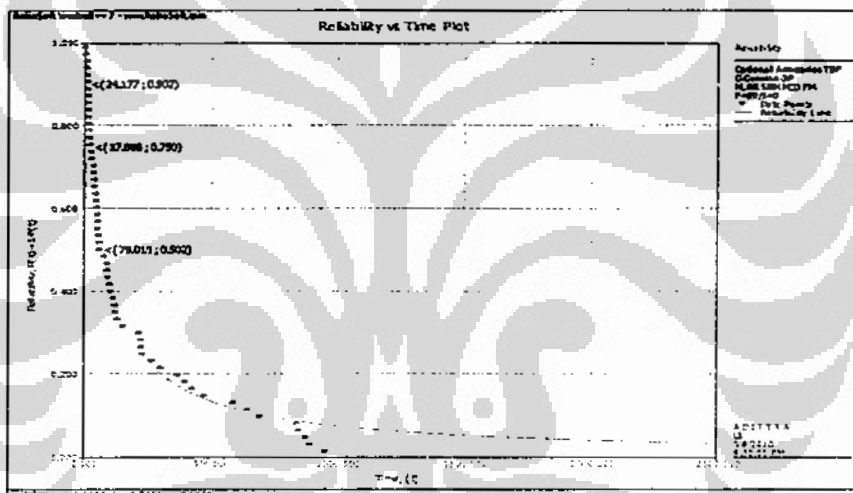
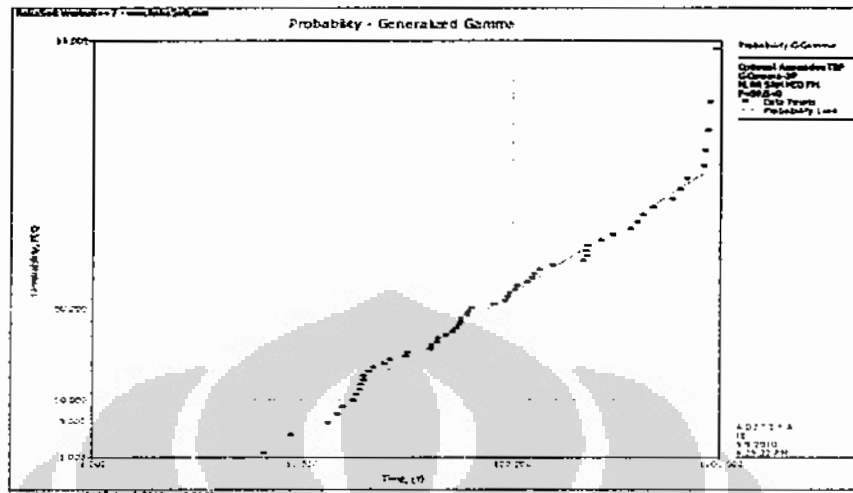




HYDRAULIC SYSTEM EX-727



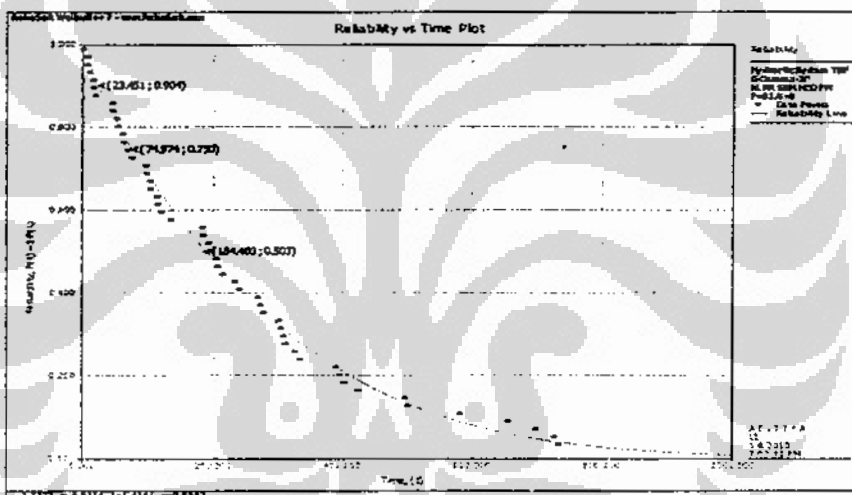
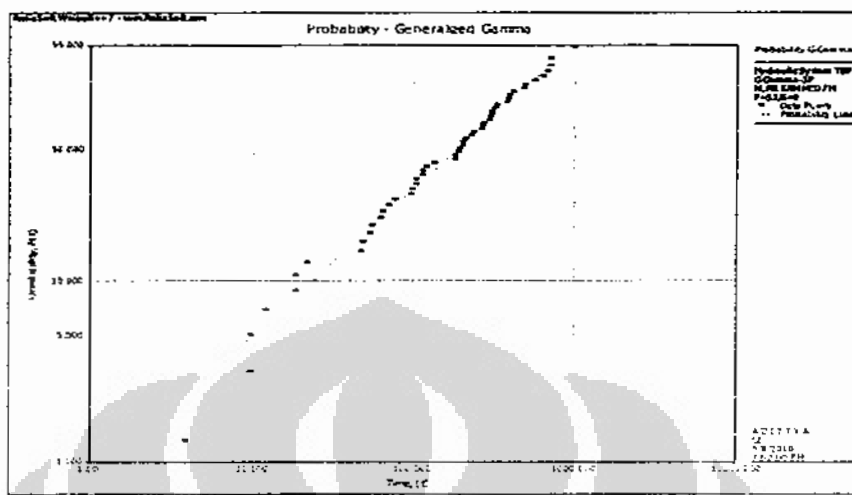
OPTIONAL ACCESSORIES EX-727



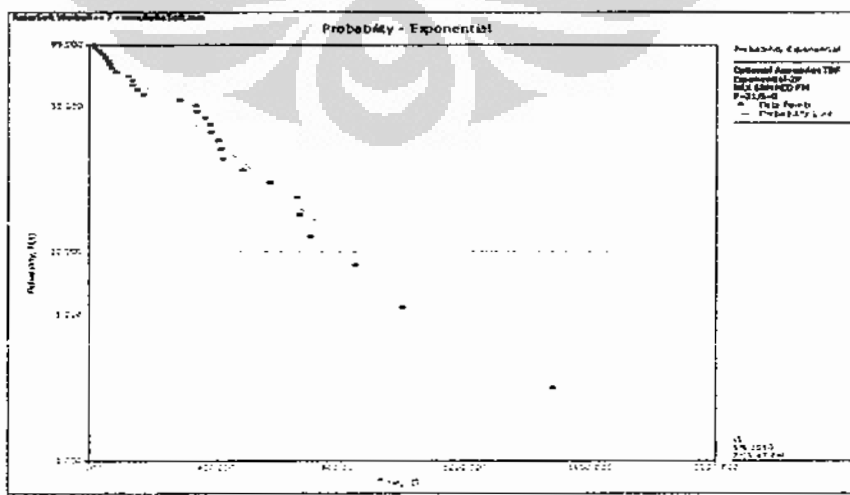
ELECTRICAL SYSTEM EX-727

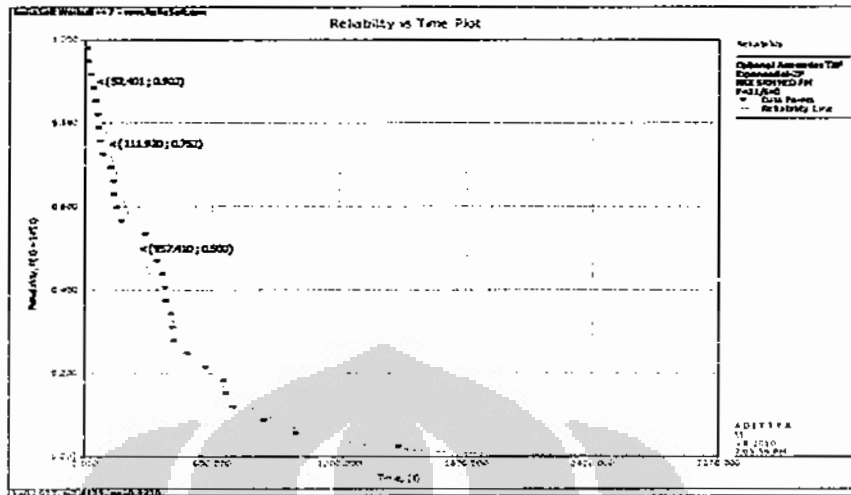
Non-iid

HYDRAULIC SYSTEM EX-728

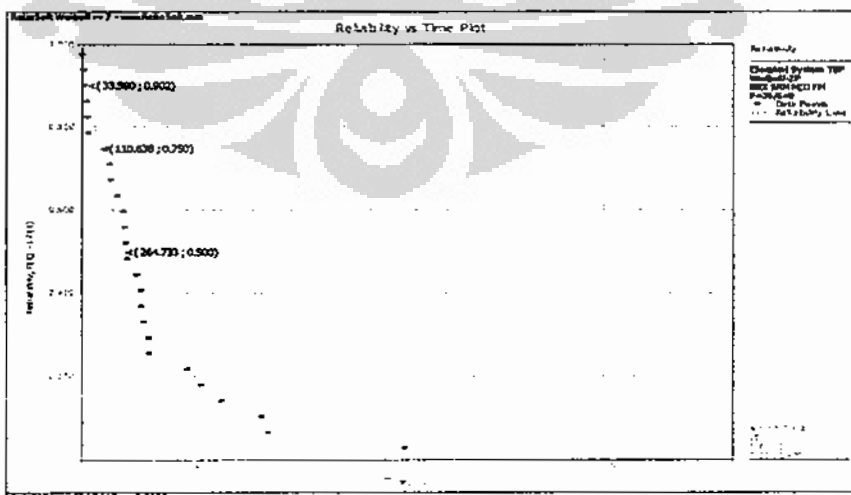
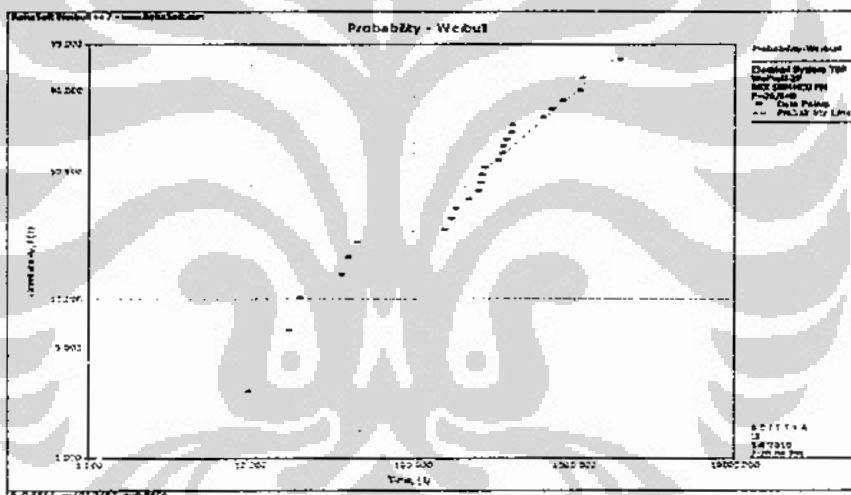


OPTIONAL ACCESSORIES EX-728

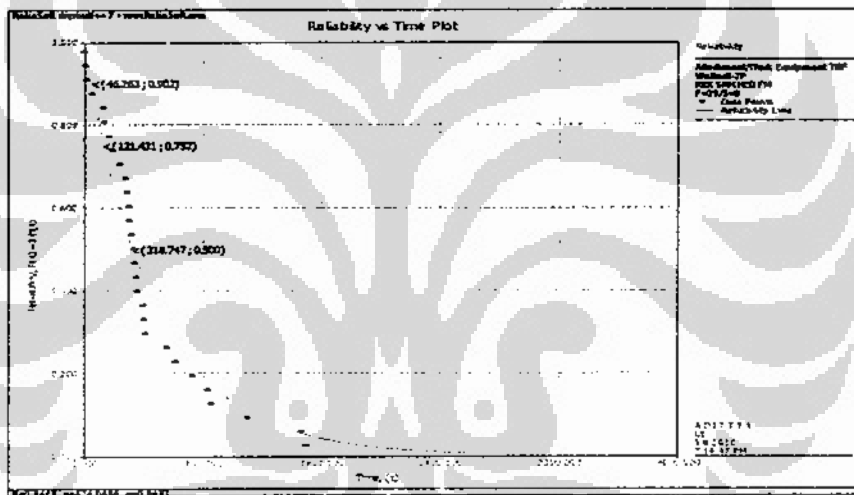
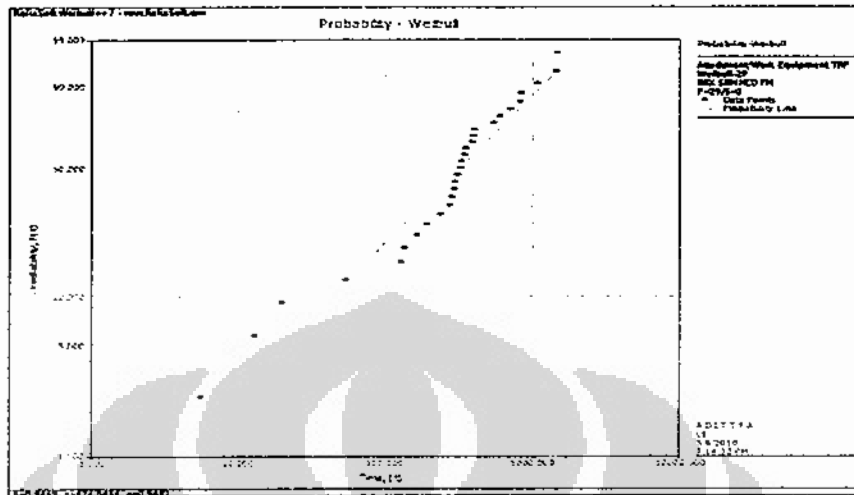




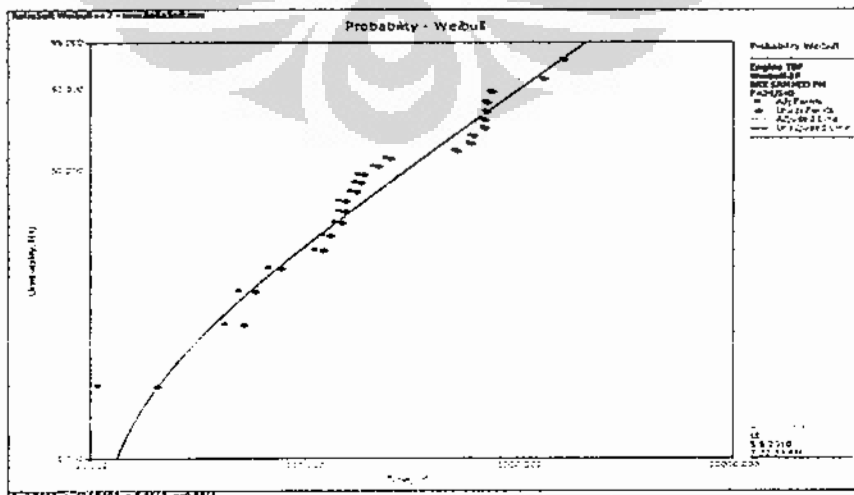
ELECTRICAL SYSTEM EX-728

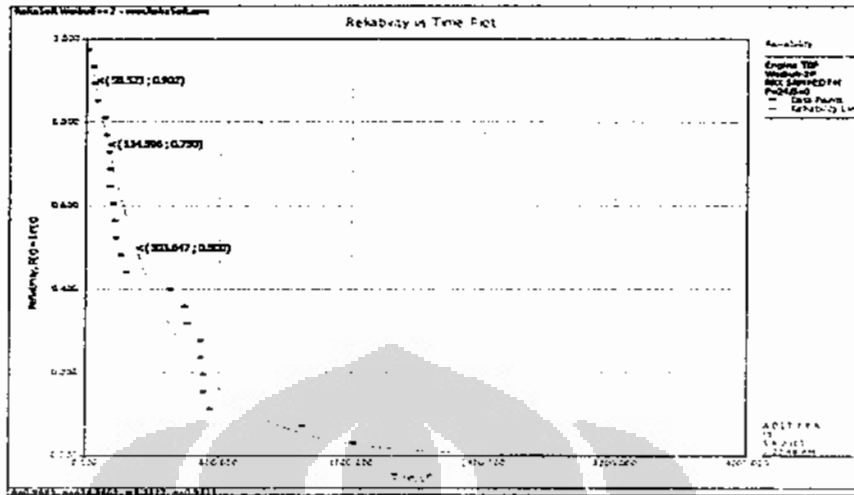


ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT EX-728

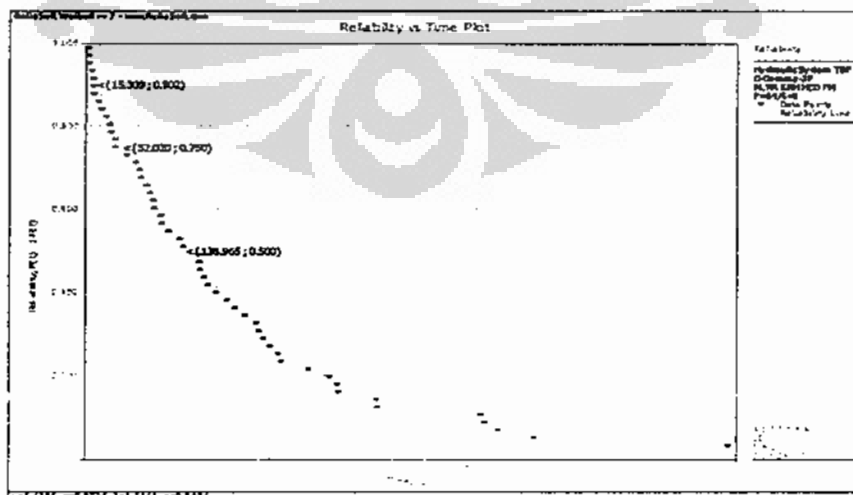
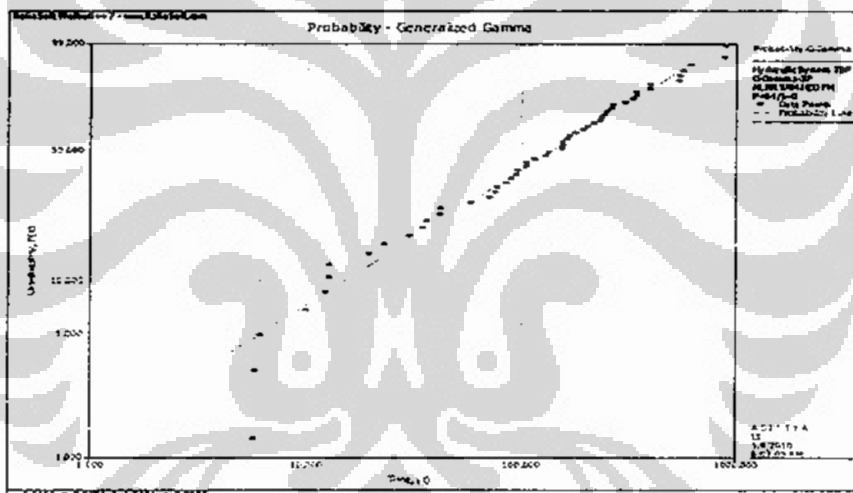


ENGINE EX-728





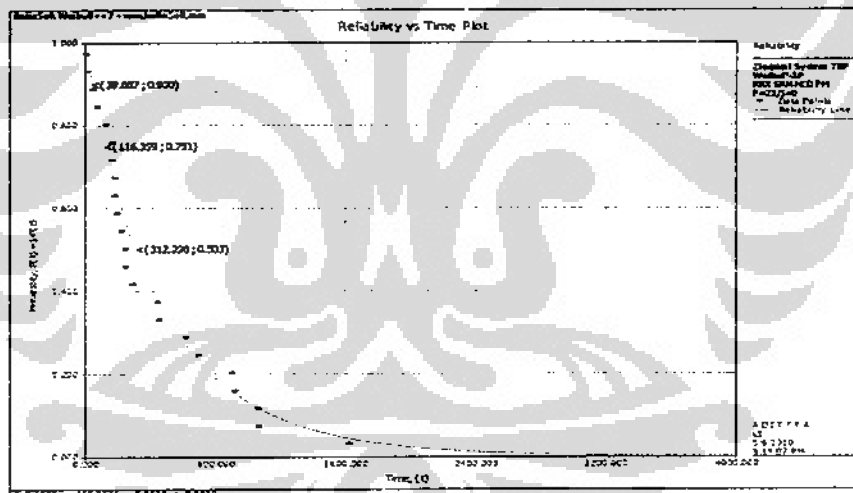
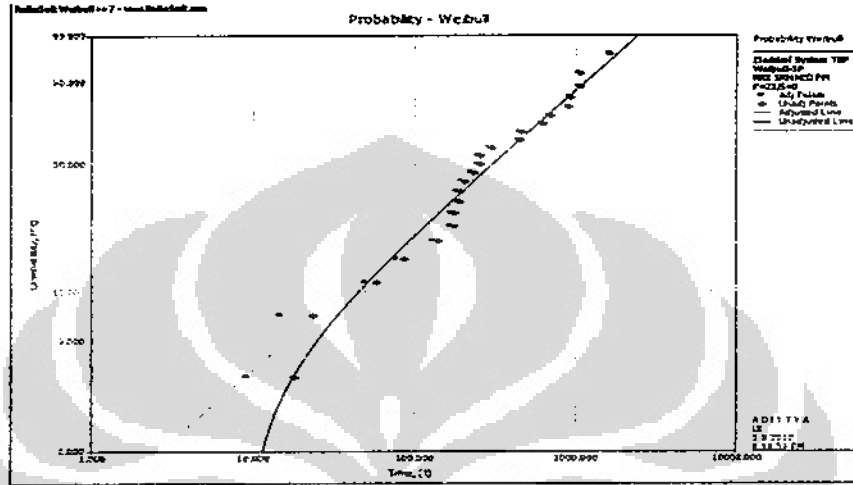
HYDRAULIC SYSTEM EX-729



OPTIONAL ACCESSORIES EX-729

Non-iid

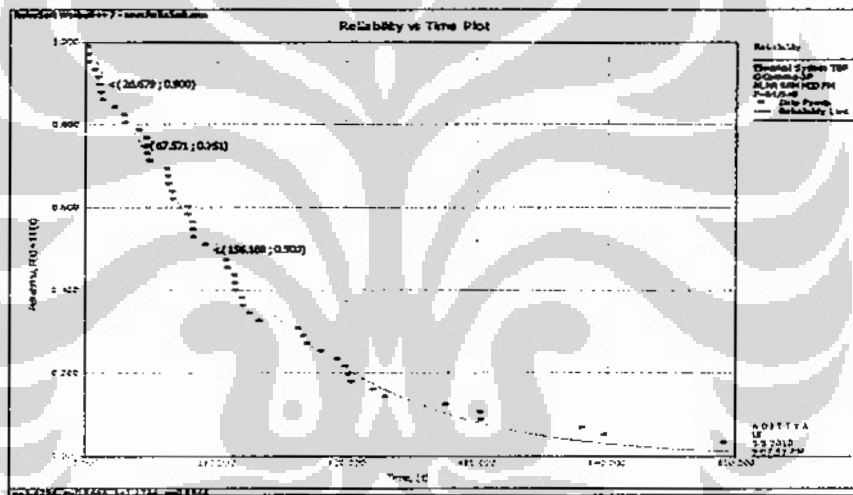
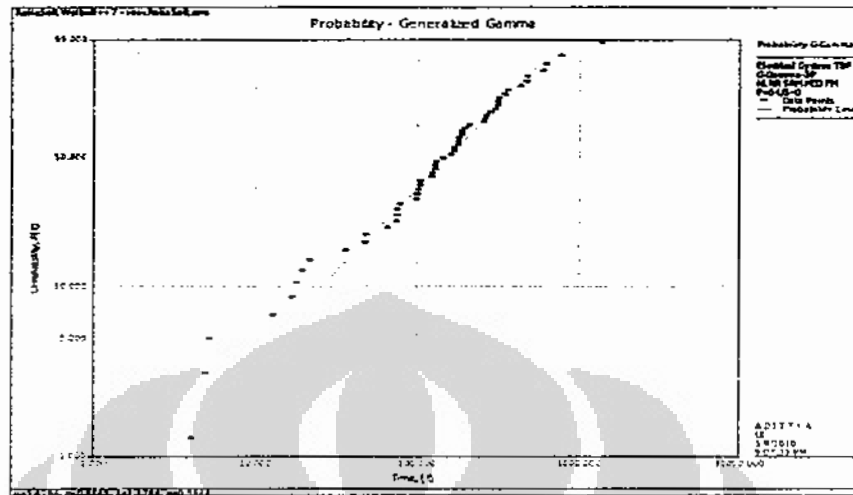
ELECTRICAL SYSTEM EX-729

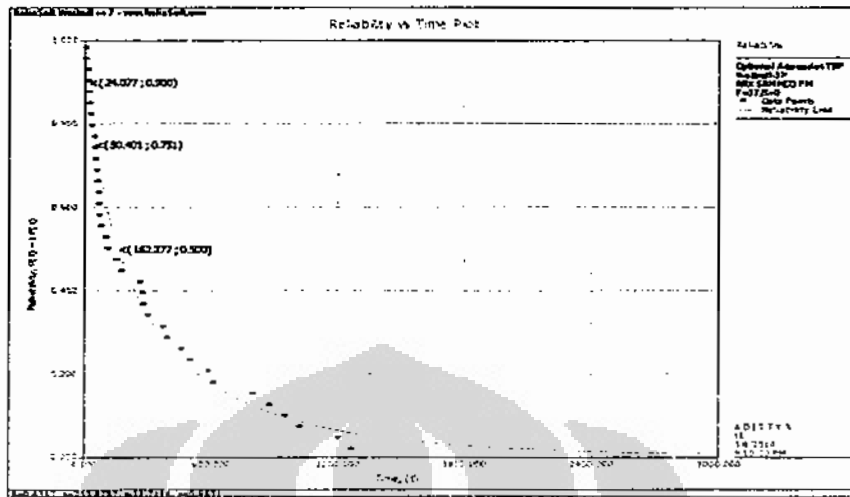


ENGINE EX-729

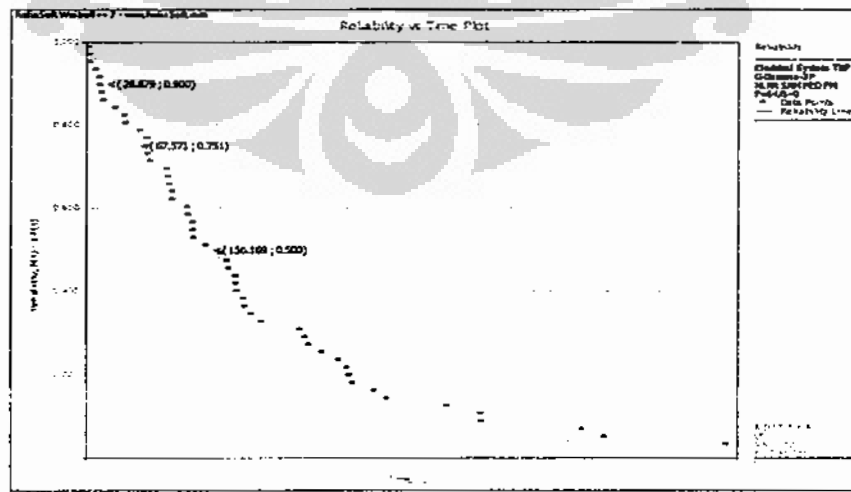
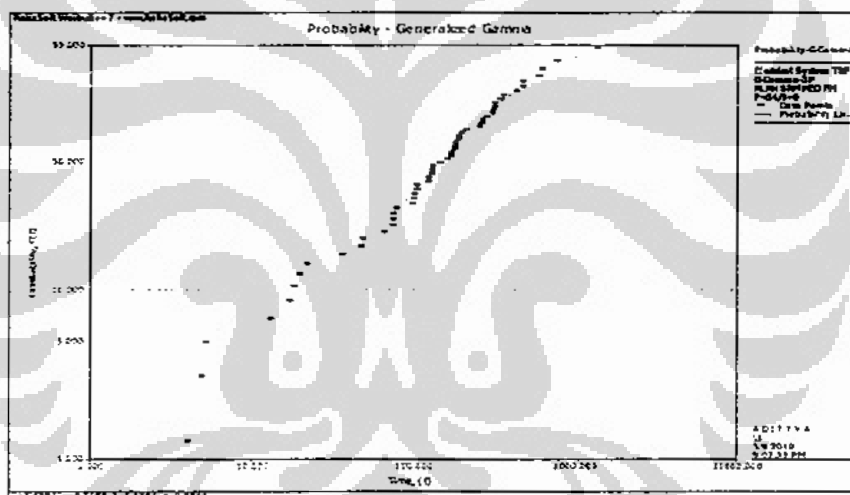
Non-iid

HYDRAULIC SYSTEM EX-730





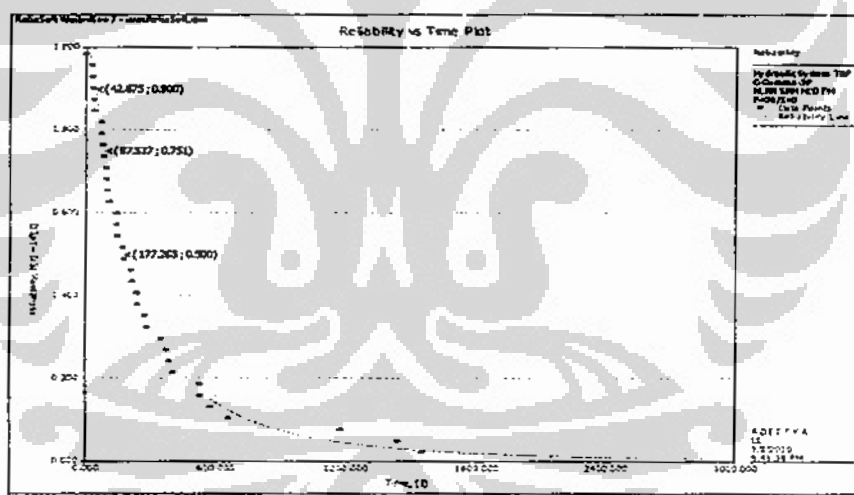
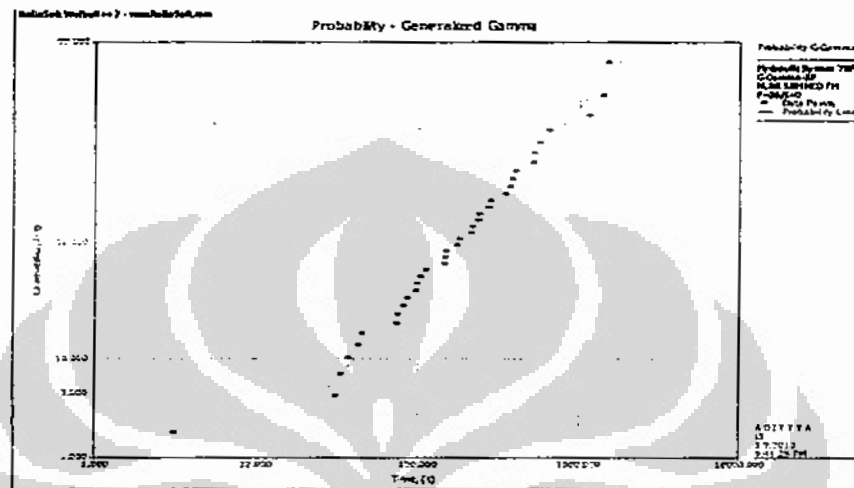
ELECTRICAL SYSTEM EX-730



ENGINE EX-730

Non-iid

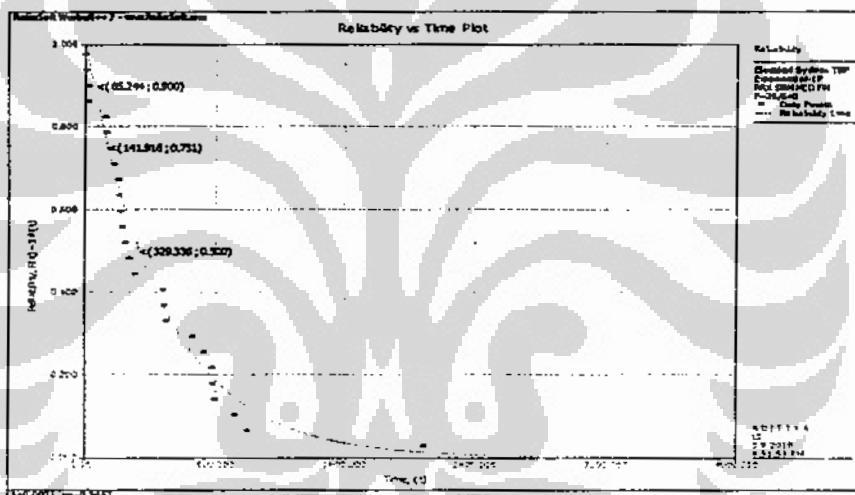
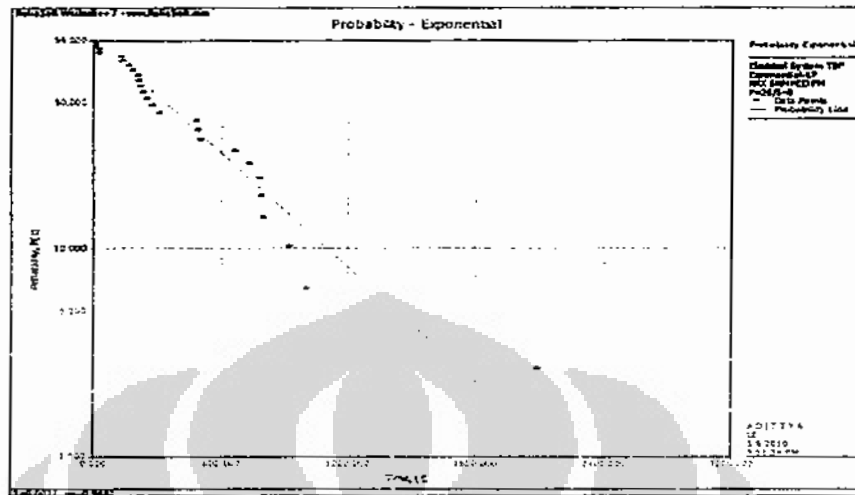
HYDRAULIC SYSTEM SH-701



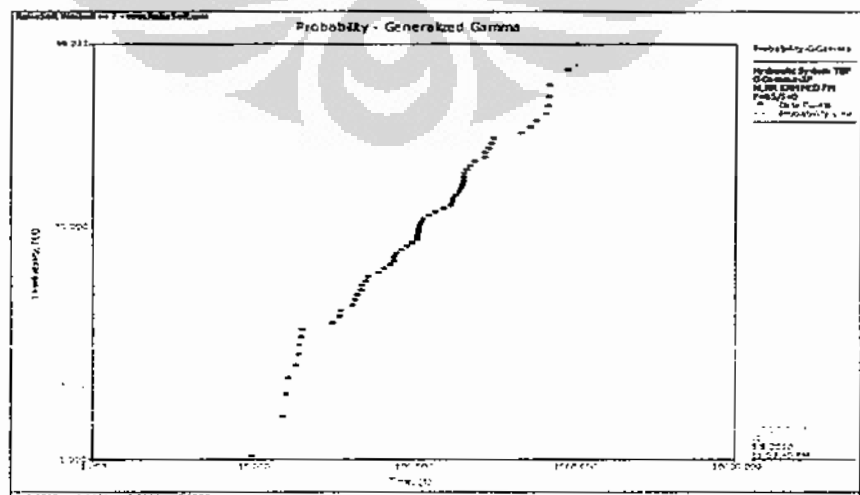
OPTIONAL ACCESSORIES SH-701

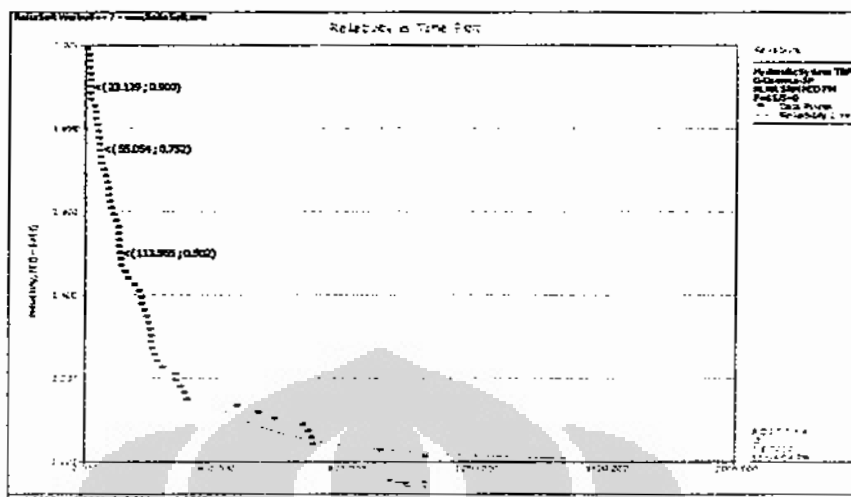
Non-iid

ELECTRICAL SYSTEM SH-701

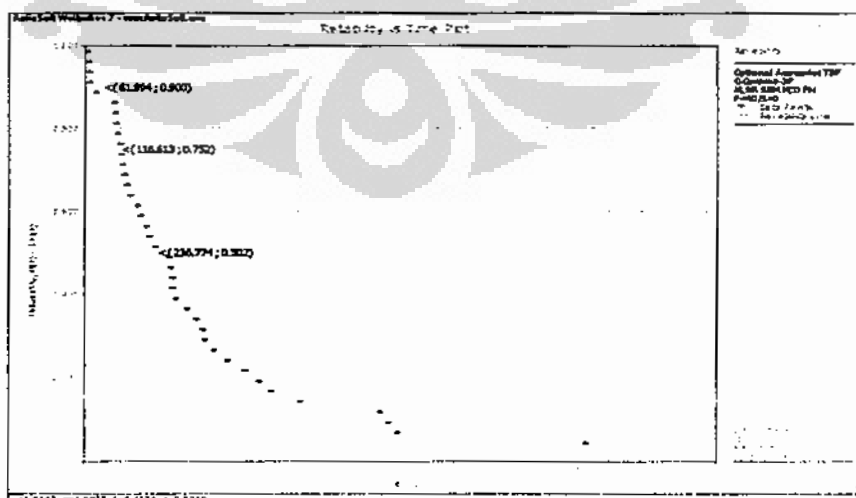
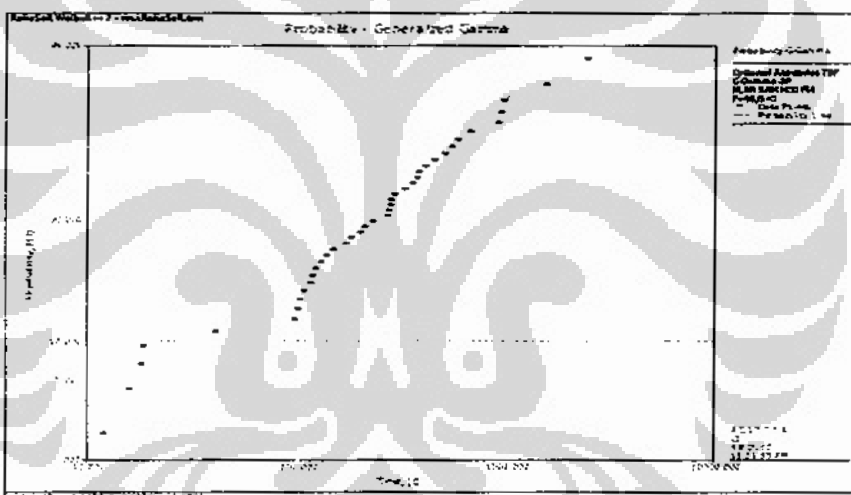


HYDRAULIC SYSTEM SH-702





OPTIONAL ACCESSORIES SH-702



Lampiran 16. Reliability Based Maintenance Interval**EX-721**

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Kehandalan yang Berbeda-Beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	34.00	85.50	192.90
OPTIONAL ACCESSORIES	93.50	223.00	478.00
ELECTRICAL SYSTEM	345.00	597.00	965.00
UNDER CARRIAGE	39.50	124.50	339.00
ENGINE	124.00	284.50	586.00

EX-722

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Kehandalan yang Berbeda-Beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	16.85	59.78	158.54
ELECTRICAL SYSTEM	74.09	181.10	437.93
OPTIONAL ACCESSORIES	19.34	85.47	482.26
ENGINE	145.00	340.00	715.00
UNDER CARRIAGE	204.00	493.00	1063.00

EX-723

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Kehandalan yang Berbeda-Beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	14.86	40.63	94.30
ELECTRICAL SYSTEM	21.08	42.50	48.12
OPTIONAL ACCESSORIES	19.34	52.40	145.00
ENGINE	184.50	363.90	659.50

EX-724

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Kehandalan yang Berbeda-Beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	17.04	42.80	102.92
ELECTRICAL SYSTEM	16.80	28.20	93.84
OPTIONAL ACCESSORIES	25.78	61.05	149.23
ENGINE	13.16	35.95	86.62

EX-725

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Kehandalan yang Berbeda-Beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	10.67	23.14	60.37
ELECTRICAL SYSTEM	26.65	58.47	130.05
OPTIONAL ACCESSORIES	29.22	72.92	165.77
ENGINE	57.73	128.41	277.63

EX-726

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Kehandalan yang Berbeda-Beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	12.39	31.71	115.44
ELECTRICAL SYSTEM	38.03	95.82	224.23
OPTIONAL ACCESSORIES	43.25	98.36	241.64
ENGINE	72.83	102.43	250.34
ATTACHMENT/ WORK EQUIPMENT	73.73	148.90	261.65

EX-727

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Kehandalan yang Berbeda-Beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	17.59	34.35	75.04
ELECTRICAL SYSTEM	87.10	177.70	331.70
OPTIONAL ACCESSORIES	24.18	37.89	79.02

EX-728

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Kehandalan Yang Berbeda-beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	21.46	74.74	189.83
OPTIONAL ACCESSORIES	47.42	106.53	257.60
ELECTRICAL SYSTEM	30.25	97.17	260.77
ENGINE	49.34	122.74	310.32
ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT	46.89	124.17	325.09

EX-729

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Keandalan Yang Berbeda-beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	15.31	52.02	138.97
OPTIONAL ACCESSORIES	25.85	89.20	263.70
ELECTRICAL SYSTEM	39.69	116.36	312.30
ENGINE	205.90	406.33	736.75

EX-730

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Keandalan Yang Berbeda-beda		
	0.9	0.75	0.5
HYDRAULIC SYSTEM	23.45	81.13	266.99
OPTIONAL ACCESSORIES	24.08	50.4	162.28
ELECTRICAL SYSTEM	26.68	67.57	156.17
ENGINE	259.8	531.1	993.2

SH-701

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Keandalan Yang Berbeda-beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	42.68	87.54	177.26
OPTIONAL ACCESSORIES	26.48	72.33	174.25
ELECTRICAL SYSTEM	65.24	141.92	329.34

SH-702

Subsystem	Reliability Based Maintenance Interval (Hr) Untuk Variabel Keandalan Yang Berbeda-beda		
	0.90	0.75	0.50
HYDRAULIC SYSTEM	23.14	55.05	133.57
OPTIONAL ACCESSORIES	61.99	116.61	236.77
ELECTRICAL SYSTEM	46.14	99.17	237.04
ENGINE	30.44	79.75	185.35

**Lampiran 17. Keandalan Subsistem untuk Beberapa Interval Waktu
EX-721**

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	UNDER CARRIAGE	ENGINE	TOTAL
0	1	1	1	1	1	1
20	0.930	0.999	0.982	0.944	0.989	0.8518
40	0.866	0.998	0.961	0.899	0.974	0.7273
60	0.806	0.996	0.939	0.860	0.958	0.6210
80	0.750	0.993	0.916	0.823	0.940	0.5278
100	0.698	0.989	0.892	0.789	0.922	0.4479

EX-722

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE	UNDER CARRIAGE	TOTAL
0	1	1	1	1	1	1
20	0.871	0.968	0.856	0.990	0.993	0.7095
40	0.791	0.938	0.811	0.976	0.984	0.5779
60	0.725	0.908	0.779	0.964	0.974	0.4815
80	0.670	0.879	0.753	0.950	0.965	0.4065
100	0.621	0.851	0.730	0.935	0.955	0.3445

EX-723

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE	TOTAL
0	1	1	1	1	1
20	0.871	0.889	0.866	0.996	0.6679
40	0.746	0.751	0.784	0.989	0.4344
60	0.640	0.637	0.714	0.980	0.2853
80	0.549	0.549	0.656	0.970	0.1918
100	0.474	0.479	0.605	0.958	0.1316

EX-724

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE	TOTAL
0	1	1	1	1	1
20	0.918	0.962	0.980	0.934	0.8083
40	0.808	0.904	0.939	0.869	0.5960
60	0.709	0.845	0.889	0.808	0.4303
80	0.625	0.792	0.838	0.749	0.3107
100	0.553	0.741	0.787	0.695	0.2241

EX-725

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE	TOTAL
0	1	1	1	1	1
20	0.793	0.929	0.923	0.956	0.6501
40	0.619	0.827	0.850	0.912	0.3968
60	0.501	0.735	0.783	0.870	0.2508
80	0.417	0.657	0.721	0.829	0.1638
100	0.354	0.590	0.664	0.789	0.1094

EX-726

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE	TOTAL
0	1	1	1	1	1	1
20	0.845	0.994	0.937	0.969	1.000	0.7626
40	0.739	0.976	0.874	0.874	1.000	0.5510
60	0.660	0.947	0.818	0.809	0.896	0.3706
80	0.595	0.910	0.767	0.755	0.818	0.2565
100	0.541	0.866	0.719	0.709	0.761	0.1818

EX-727

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	TOTAL
0	1	1	1	1
20	0.793	0.929	0.923	0.6800
40	0.619	0.827	0.850	0.4351
60	0.501	0.735	0.783	0.2883
80	0.417	0.657	0.721	0.1975
100	0.354	0.590	0.664	0.1387

EX-728

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ELECTRICAL SYSTEM	ENGINE	ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT	TOTAL
0	1	1	1	1	1	1
20	0.913	0.953	0.933	0.973	0.951	0.7512
40	0.849	0.903	0.880	0.925	0.908	0.5666
60	0.791	0.854	0.832	0.881	0.868	0.4298
80	0.738	0.809	0.789	0.839	0.830	0.3280
100	0.688	0.766	0.749	0.800	0.795	0.2510

EX-729

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE	TOTAL
0	1	1	1	1	1
20	0.876	0.964	0.918	0.997	0.7729
40	0.791	0.913	0.861	0.991	0.6162
60	0.719	0.867	0.812	0.983	0.4976
80	0.655	0.826	0.768	0.974	0.4047
100	0.597	0.787	0.729	0.964	0.3302

EX-730

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE	TOTAL
0	1	1	1	1	1
20	0.892	0.921	0.901	0.997	0.7380
40	0.834	0.847	0.791	0.992	0.5543
60	0.787	0.777	0.719	0.987	0.4340
80	0.747	0.711	0.658	0.980	0.3425
100	0.711	0.649	0.609	0.973	0.2734

SH-701

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	TOTAL
0	1	1	1	1
20	0.970	0.959	0.924	0.8595
40	0.903	0.920	0.853	0.7086
60	0.830	0.882	0.788	0.5769
80	0.761	0.846	0.727	0.4680
100	0.697	0.811	0.672	0.3799

SH-702

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE	TOTAL
0	1	1	1	1	1
20	0.918	0.962	0.980	0.934	0.8083
40	0.808	0.904	0.939	0.869	0.5960
60	0.709	0.845	0.889	0.808	0.4303
80	0.625	0.792	0.838	0.749	0.3107
100	0.553	0.741	0.787	0.695	0.2241

Lampiran 18. Indeks *Reliability Importance Measure*

EX-721

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	UNDER CARRIAGE	ENGINE
20	0.916	0.853	0.867	0.902	0.861
40	0.840	0.729	0.757	0.809	0.747
60	0.771	0.624	0.661	0.722	0.648
80	0.704	0.531	0.576	0.641	0.561
100	0.642	0.453	0.502	0.568	0.486

EX-722

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE	UNDER CARRIAGE
20	0.815	0.733	0.829	0.717	0.715
40	0.731	0.616	0.713	0.592	0.587
60	0.664	0.530	0.618	0.499	0.494
80	0.607	0.463	0.540	0.428	0.421
100	0.555	0.405	0.472	0.368	0.361

EX-723

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE
20	0.767	0.751	0.771	0.671
40	0.582	0.578	0.554	0.439
60	0.446	0.448	0.400	0.291
80	0.349	0.349	0.292	0.198
100	0.278	0.275	0.218	0.137

EX-724

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE
20	0.881	0.840	0.825	0.865
40	0.738	0.659	0.635	0.686
60	0.607	0.509	0.484	0.533
80	0.497	0.392	0.371	0.415
100	0.405	0.302	0.285	0.322

EX-725

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE
20	0.820	0.700	0.704	0.680
40	0.641	0.480	0.467	0.435
60	0.501	0.341	0.320	0.288
80	0.393	0.249	0.227	0.198
100	0.309	0.185	0.165	0.139

EX-726

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE
20	0.903	0.767	0.814	0.787	0.763
40	0.746	0.565	0.630	0.630	0.551
60	0.562	0.391	0.453	0.458	0.414
80	0.431	0.282	0.334	0.340	0.314
100	0.336	0.210	0.253	0.256	0.239

EX-727

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES
20	0.820	0.700	0.704
40	0.641	0.480	0.467
60	0.501	0.341	0.320
80	0.393	0.249	0.227
100	0.309	0.185	0.165

EX-728

TIME (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ELECTRICAL SYSTEM	ENGINE	ATTACHMENT/WORK EQUIPMENT
20	0.823	0.788	0.805	0.772	0.790
40	0.667	0.628	0.644	0.613	0.624
60	0.543	0.503	0.517	0.488	0.495
80	0.444	0.405	0.416	0.391	0.395
100	0.365	0.328	0.335	0.314	0.316

EX-729

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE
20	0.882	0.802	0.842	0.775
40	0.779	0.675	0.716	0.622
60	0.692	0.574	0.613	0.506
80	0.618	0.490	0.527	0.416
100	0.553	0.673	0.726	0.549

EX-730

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE
20	0.827	0.801	0.819	0.740
40	0.665	0.654	0.701	0.559
60	0.551	0.558	0.604	0.440
80	0.458	0.482	0.520	0.349
100	0.385	0.421	0.449	0.281

SH-701

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES
20	0.886	0.896	0.930
40	0.785	0.770	0.831
60	0.695	0.654	0.732
80	0.615	0.553	0.644
100	0.545	0.468	0.565

SH-702

Time (Hr)	HYDRAULIC SYSTEM	ELECTRICAL SYSTEM	OPTIONAL ACCESSORIES	ENGINE
20	0.881	0.840	0.825	0.865
40	0.738	0.659	0.635	0.686
60	0.607	0.509	0.484	0.533
80	0.497	0.392	0.371	0.415
100	0.405	0.302	0.285	0.322

Lampiran 19. *Current Availability Subsystem Excavator EX-2500*

EX-721

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	42	11152.37	137.63	265.533	3.277	0.9878
OPTIONAL ACCESSORIES	23	11255.75	43.25	489.380	1.880	0.9962
ELECTRICAL SYSTEM	35	11393.21	62.79	325.520	1.794	0.9945
UNDER CARRIAGE	15	9700.17	46.83	646.678	3.122	0.9952
ENGINE	14	8179.36	29.64	584.240	2.117	0.9964
TOTAL AVAILABILITY						0.9758

EX-722

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	36	10728.08	66.92	298.002	1.859	0.9938
OPTIONAL ACCESSORIES	14	10969.01	13.99	783.501	0.999	0.9987
ELECTRICAL SYSTEM	18	10352.65	36.35	575.147	2.019	0.9965
ENGINE	13	9827.86	19.14	755.989	1.472	0.9981
UNDER CARRIAGE	9	11243.98	12.02	1249.331	1.336	0.9989
TOTAL AVAILABILITY						0.9861

EX-723

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	82	10951.36	282.64	133.553	3.447	0.9748
OPTIONAL ACCESSORIES	44	11170.19	99.81	253.868	2.268	0.9911
ELECTRICAL SYSTEM	68	11018.00	82.00	162.029	1.206	0.9926
ENGINE	27	10222.70	226.30	378.619	8.381	0.9783
TOTAL AVAILABILITY						0.9383

EX-724

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	77	12176.81	240.19	158.140	3.119	0.9807
OPTIONAL ACCESSORIES	50	12494.68	94.32	249.894	1.886	0.9925
ELECTRICAL SYSTEM	67	11920.26	172.74	177.914	2.578	0.9857
ENGINE	26	11702.19	99.81	450.084	3.839	0.9915
TOTAL AVAILABILITY						0.9513

EX-725

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	107	12546.55	272.45	117.257	2.546	0.9787
OPTIONAL ACCESSORIES	51	12135.79	106.21	237.957	2.083	0.9913
ELECTRICAL SYSTEM	54	12460.70	83.30	230.754	1.543	0.9934
ENGINE	33	12234.62	195.38	370.746	5.921	0.9843
TOTAL AVAILABILITY						0.9487

EX-726

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	59	13459.46	145.54	228.126	2.467	0.9893
ATTACHMENT / WORK EQUIPMENT	37	13305.24	23.76	359.601	0.642	0.9982
OPTIONAL ACCESSORIES	35	13899.50	28.50	397.129	0.814	0.9980
ELECTRICAL SYSTEM	34	13610.58	36.42	400.311	1.071	0.9973
ENGINE	31	16097.42	68.58	519.272	2.212	0.9958
TOTAL AVAILABILITY						0.9787

EX-727

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	88	10065.63	324.27	114.382	3.685	0.9688
OPTIONAL ACCESSORIES	59	11887.06	143.94	201.476	2.440	0.9880
ELECTRICAL SYSTEM	72	11429.72	160.28	158.746	2.226	0.9862
TOTAL AVAILABILITY						0.9440

EX-728

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	53	13201.99	152.01	249.094	2.868	0.9886
OPTIONAL ACCESSORIES	31	11102.18	25.82	358.135	0.833	0.9977
ATTACHMENT/ WORK EQUIPMENT	29	12855.59	28.41	443.296	0.980	0.9978
ELECTRICAL SYSTEM	26	10827.22	29.78	416.432	1.145	0.9973
ENGINE	24	10275.16	14.84	428.132	0.618	0.9986
TOTAL AVAILABILITY						0.9800

EX-729

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	54	10938.00	137.25	202.556	2.542	0.9876
OPTIONAL ACCESSORIES	16	9764.89	40.11	610.306	2.507	0.9959
ELECTRICAL SYSTEM	23	10243.91	38.09	445.387	1.656	0.9963
ENGINE	26	11151.82	118.18	428.916	4.545	0.9895
TOTAL AVAILABILITY						0.9696

EX-730

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	24	11976.30	41.70	499.013	1.738	0.9965
OPTIONAL ACCESSORIES	37	11726.31	45.69	316.927	1.235	0.9961
ELECTRICAL SYSTEM	54	11794.20	116.80	218.411	2.163	0.9902
ENGINE	16	11814.65	127.35	738.416	7.959	0.9893
TOTAL AVAILABILITY						0.9724

SH-701

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	36	11313.26	104.74	314.257	2.909	0.9908
OPTIONAL ACCESSORIES	12	9446.91	15.09	787.243	1.258	0.9984
ELECTRICAL SYSTEM	26	11807.35	44.65	454.129	1.717	0.9962
TOTAL AVAILABILITY						0.9855

SH-702

Subsystem	Freq.	Cum.TBF	Cum.TTR	MTBF	MTTR	Availability
HYDRAULIC SYSTEM	65	13033.73	130.27	200.519	2.004	0.9901
OPTIONAL ACCESSORIES	40	15385.69	33.31	384.642	0.833	0.9978
ELECTRICAL SYSTEM	32	12722.68	31.32	397.584	0.979	0.9975
ENGINE	41	9650.85	213.57	235.387	5.209	0.9783
TOTAL AVAILABILITY						0.9642

Lampiran 20. Proyeksi Peningkatan Ketersediaan Excavator EX-2500

EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
EX-721	Hydraulic System	57.531	23.849	8.727	18182.469	18216.151	18231.273	0.9968	0.9987	0.9995
	Optional Accessories	33.005	13.682	5.007	18206.995	18226.318	18234.993	0.9982	0.9992	0.9997
	Electrical System	31.495	13.056	4.777	18208.505	18226.944	18235.223	0.9983	0.9993	0.9997
	Engine	37.166	15.407	5.638	18202.834	18224.593	18234.362	0.9980	0.9992	0.9997
	Under Carriage	54.634	22.648	8.287	18185.366	18217.352	18231.713	0.9970	0.9988	0.9995
TOTAL AVAILABILTY								0.9883	0.9951	0.9982

EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
EX-722	Hydraulic System	32.637	13.529	4.951	18207.363	18226.471	18235.049	0.9982	0.9993	0.9997
	Optional Accessories	17.538	7.270	2.660	18222.462	18232.730	18237.340	0.9990	0.9996	0.9999
	Electrical System	35.446	14.694	5.377	18204.554	18225.306	18234.623	0.9981	0.9992	0.9997
	Engine	25.842	10.713	3.920	18214.158	18229.287	18236.080	0.9986	0.9994	0.9998
	Under Carriage	23.455	9.723	3.558	18216.545	18230.277	18236.442	0.9987	0.9995	0.9998
TOTAL AVAILABILTY								0.9926	0.9969	0.9989

EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
EX-723	Hydraulic System	60.156	25.086	9.179	18179.484	18214.914	18230.821	0.9967	0.9986	0.9995
	Optional Accessories	39.817	16.506	6.040	18200.183	18223.494	18233.960	0.9978	0.9991	0.9997
	Electrical System	21.173	8.777	3.212	18218.827	18231.223	18236.788	0.9988	0.9995	0.9998
	Engine	147.137	60.995	22.319	18092.863	18179.005	18217.681	0.9919	0.9967	0.9988
TOTAL AVAILABILTY								0.9853	0.9939	0.9978

EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
EX-724	Hydraulic System	54.757	22.699	8.306	18185.243	18217.301	18231.694	0.9970	0.9988	0.9995
	Optional Accessories	33.111	13.726	5.022	18206.889	18226.274	18234.978	0.9982	0.9992	0.9997
	Electrical System	45.259	18.762	6.865	18194.741	18221.238	18233.135	0.9975	0.9990	0.9996
	Engine	67.397	27.939	10.223	18172.603	18212.061	18229.777	0.9963	0.9985	0.9994
TOTAL AVAILABILTY								0.9891	0.9955	0.9983

EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
EX-725	Hydraulic System	44.698	18.529	6.780	18195.302	18221.471	18233.220	0.9975	0.9990	0.9996
	Optional Accessories	36.569	15.160	5.547	18203.431	18224.840	18234.453	0.9980	0.9992	0.9997
	Electrical System	27.089	11.230	4.109	18212.911	18228.770	18235.891	0.9985	0.9994	0.9998
	Engine	103.949	43.092	15.768	18136.051	18196.908	18224.232	0.9943	0.9976	0.9991
TOTAL AVAILABILTY								0.9884	0.9952	0.9982

EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
EX-726	Hydraulic System	43.311	17.954	6.570	18196.689	18222.046	18233.430	0.9976	0.9990	0.9996
	Optional Accessories	14.291	5.924	2.168	18225.709	18234.076	18237.832	0.9992	0.9997	0.9999
	Electrical System	18.802	7.794	2.852	18221.198	18232.206	18237.148	0.9900	0.9996	0.9998
	Engine	38.834	16.098	5.891	18201.166	18223.902	18234.109	0.9979	0.9991	0.9997
	Attachment/ Work Eq.	11.271	4.672	1.710	18228.729	18235.328	18238.290	0.9994	0.9997	0.9999
TOTAL AVAILABILITY								0.9931	0.9971	0.9989

EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
EX-727	Hydraulic System	64.694	26.819	9.813	18175.306	18213.181	18230.187	0.9965	0.9985	0.9995
	Optional Accessories	42.837	17.758	6.498	18197.163	18222.242	18233.502	0.9977	0.9990	0.9996
	Electrical System	39.080	16.200	5.928	18200.920	18223.800	18234.072	0.9979	0.9991	0.9997
	Engine	125.947	52.211	19.105	18114.053	18187.789	18220.895	0.9931	0.9971	0.9990
	TOTAL AVAILABILITY								0.9851	0.9938

EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
EX-728	Hydraulic System	50.351	20.873	7.638	18189.649	18219.127	18232.362	0.9972	0.9989	0.9996
	Optional Accessories	14.624	6.062	2.218	18225.376	18233.938	18237.782	0.9992	0.9997	0.9999
	Electrical System	20.102	8.333	3.049	18219.898	18231.667	18236.951	0.9989	0.9995	0.9998
	Engine	10.850	4.498	1.646	18229.150	18235.502	18238.354	0.9994	0.9998	0.9999
	Attachment/ Work Eq.	17.205	17.205	2.610	18222.795	18222.795	18237.390	0.9991	0.9991	0.9999
TOTAL AVAILABILITY								0.9938	0.9969	0.9991

EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
EX-729	Hydraulic System	44.627	18.500	6.769	18195.373	18221.500	18233.231	0.9976	0.9990	0.9996
	Optional Accessories	44.013	18.245	6.676	18195.987	18221.755	18233.324	0.9976	0.9990	0.9996
	Electrical System	29.073	12.052	4.410	18210.927	18227.948	18235.590	0.9984	0.9993	0.9998
	Engine	79.792	33.077	12.104	18160.208	18206.923	18227.896	0.9956	0.9982	0.9993
TOTAL AVAILABILITY								0.9892	0.9955	0.9984

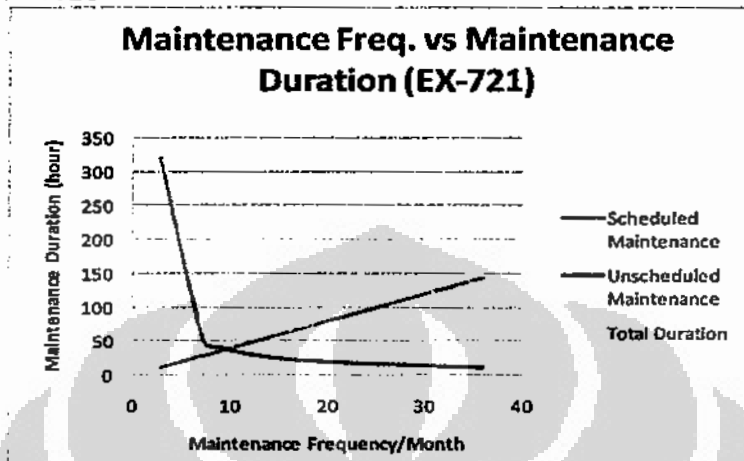
EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
EX-730	Hydraulic System	30.512	12.649	4.628	18209.488	18227.351	18235.372	0.9983	0.9993	0.9997
	Optional Accessories	21.682	8.988	3.289	18218.318	18231.012	18236.711	0.9988	0.9995	0.9998
	Electrical System	37.974	15.742	5.760	18202.026	18224.258	18234.240	0.9979	0.9991	0.9997
	Engine	130.950	54.285	19.864	18109.050	18185.715	18220.136	0.9928	0.9970	0.9989
TOTAL AVAILABILITY								0.9879	0.9950	0.9982

EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
SH-701	Hydraulic System	51.070	21.171	7.747	18188.930	18218.829	18232.253	0.9972	0.9988	0.9996
	Optional Accessories	22.085	9.155	3.350	18217.915	18230.845	18236.650	0.9988	0.9995	0.9998
	Electrical System	30.144	12.496	4.572	18209.856	18227.504	18235.428	0.9983	0.9993	0.9997
TOTAL AVAILABILITY								0.9943	0.9977	0.9991

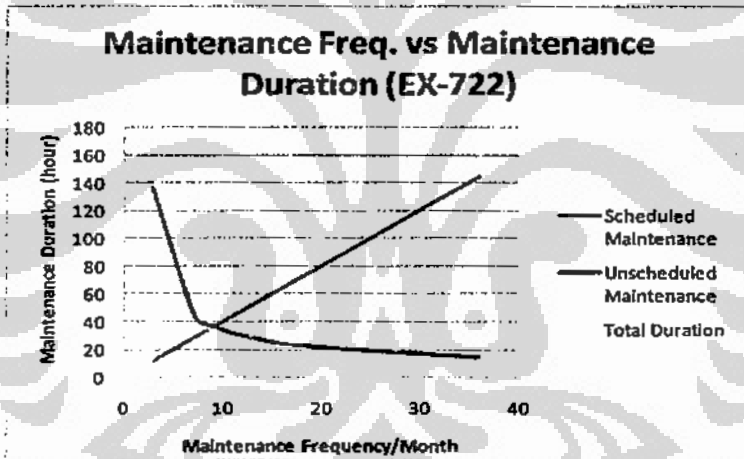
EGI	Subsistem	Proyeksi Cumulative TTR			Proyeksi Cumulative TBF			Proyeksi Ketersediaan		
		R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9	R(t)=0.5	R(t)=0.75	R(t)=0.9
SH-702	Hydraulic System	35.182	14.585	5.337	18204.818	18225.415	18234.663	0.9981	0.9992	0.9997
	Optional Accessories	14.624	6.062	2.218	18225.376	18233.938	18237.782	0.9992	0.9997	0.9999
	Electrical System	17.187	7.125	2.607	18222.813	18232.875	18237.393	0.9991	0.9996	0.9999
	Engine	91.449	37.910	13.872	18148.551	18202.090	18226.128	0.9950	0.9979	0.9992
TOTAL AVAILABILITY								0.9913	0.9964	0.9987

Lampiran 21. Kurva Optimalisasi Frekuensi *Maintenance* dan Total Durasi *Maintenance*

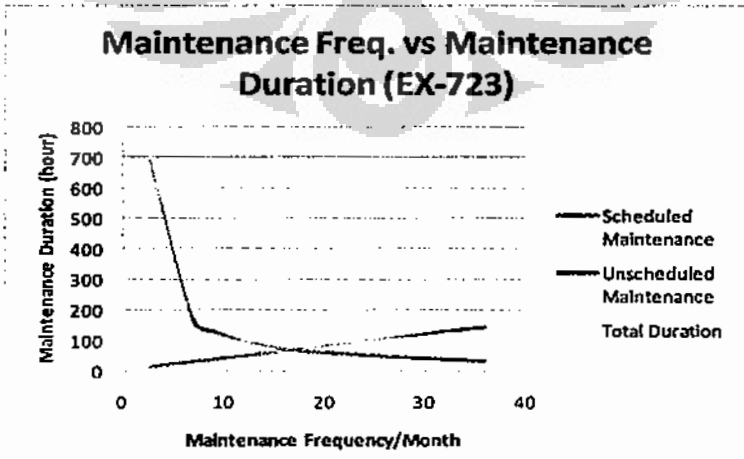
EX-721



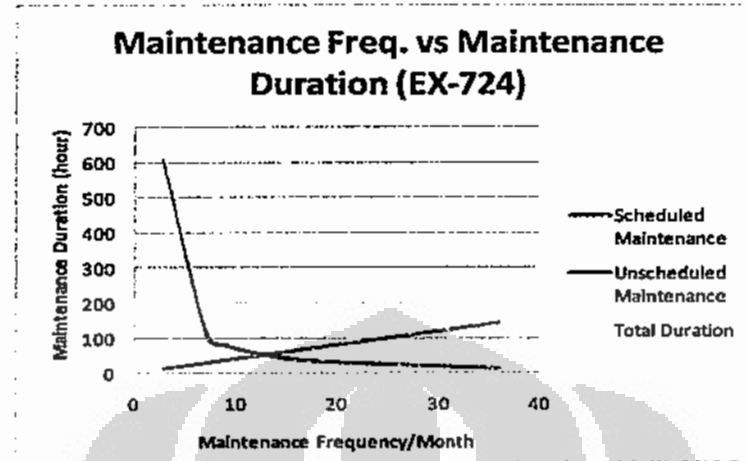
EX-722



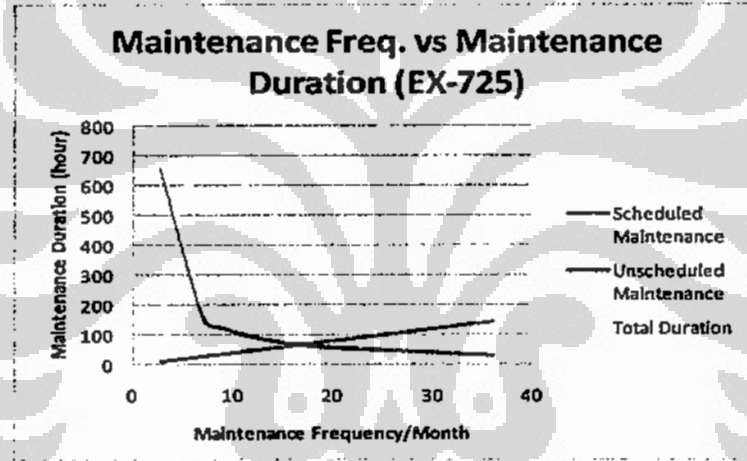
EX-723



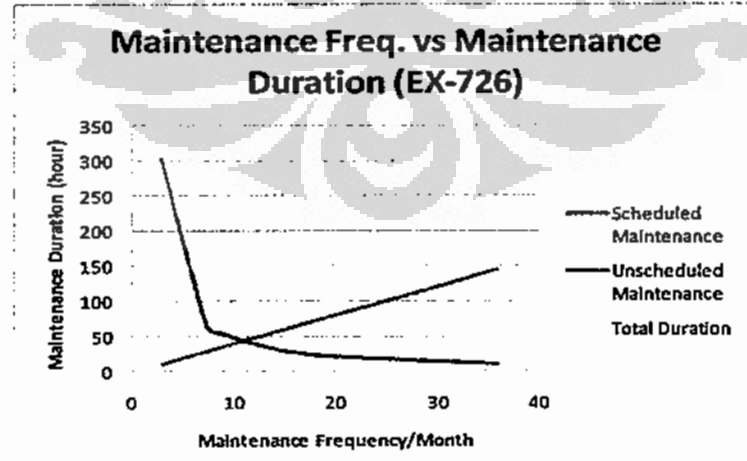
EX-724



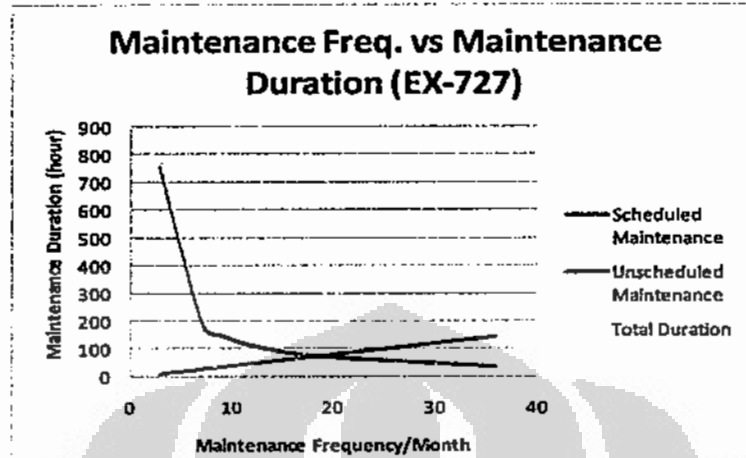
EX-725



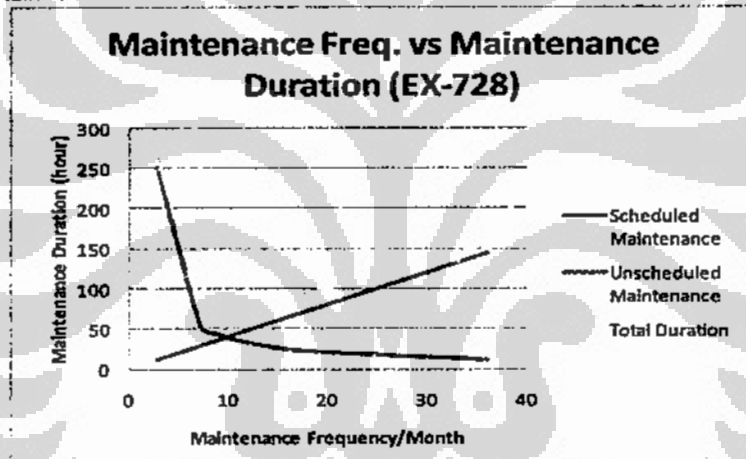
EX-726



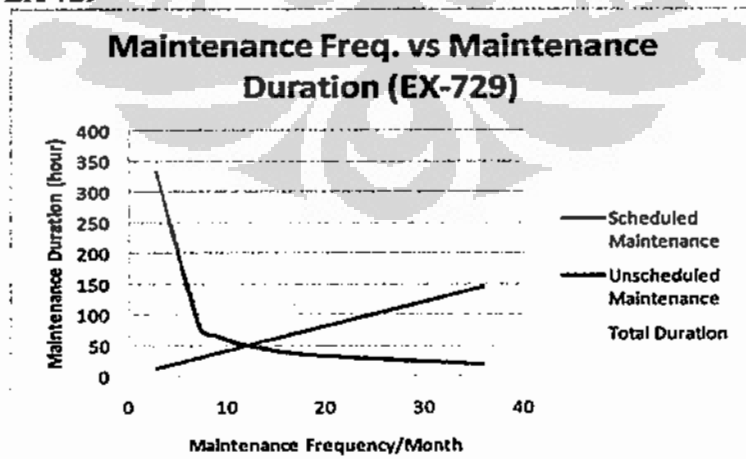
EX-727



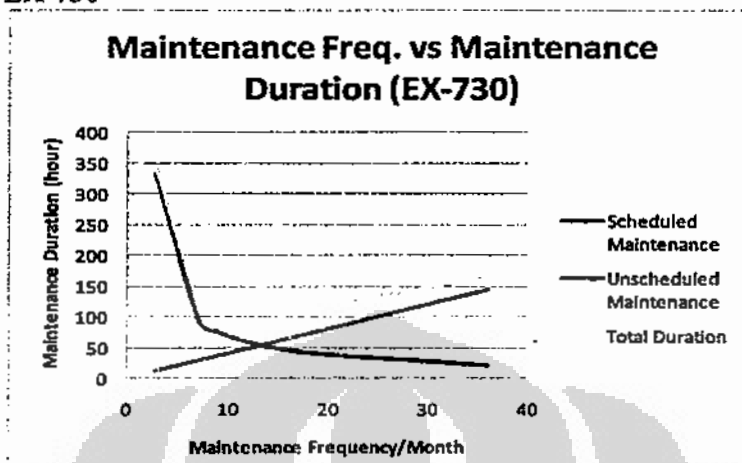
EX-728



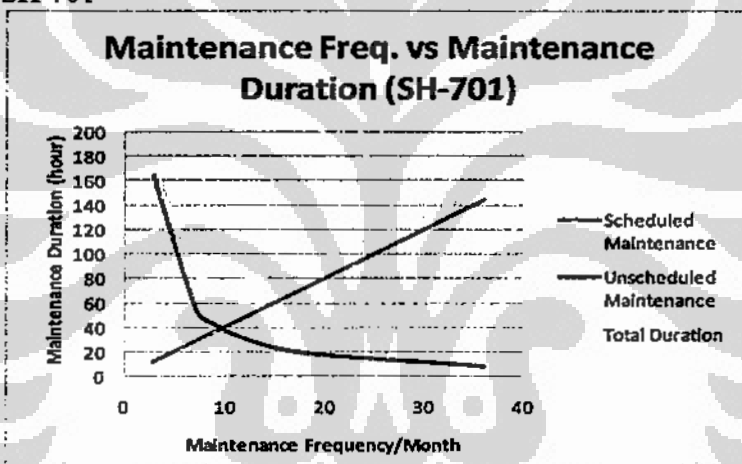
EX-729



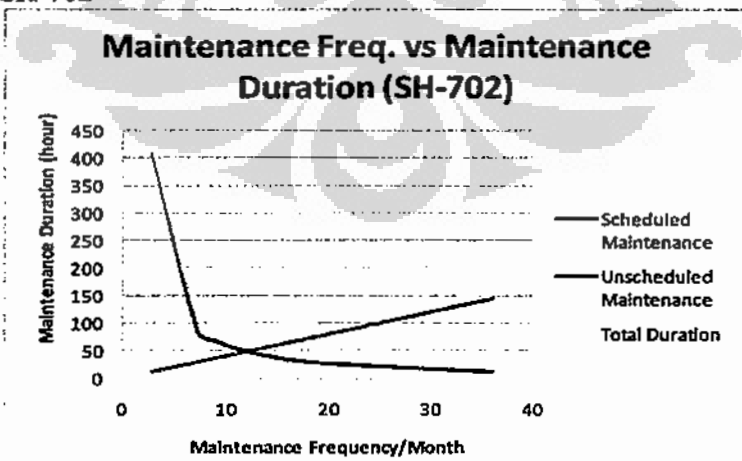
EX-730



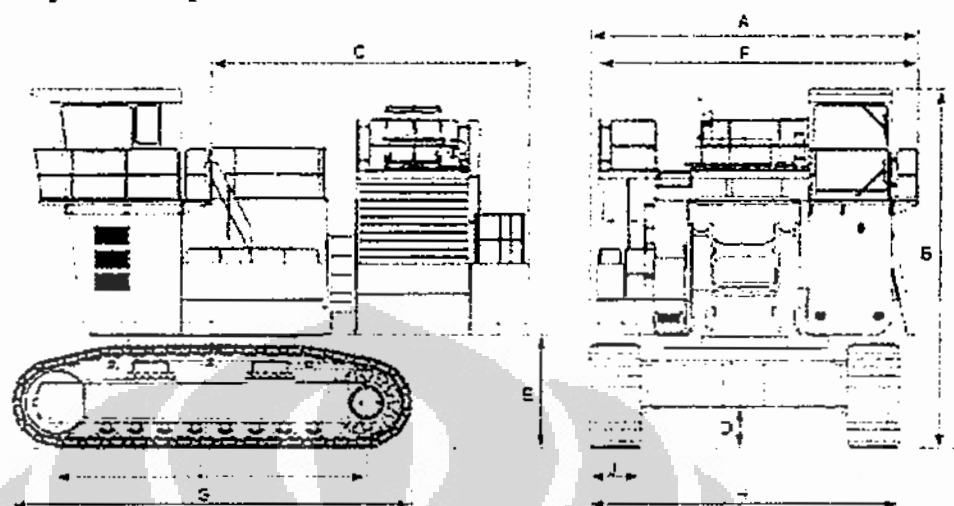
SH-701



SH-702

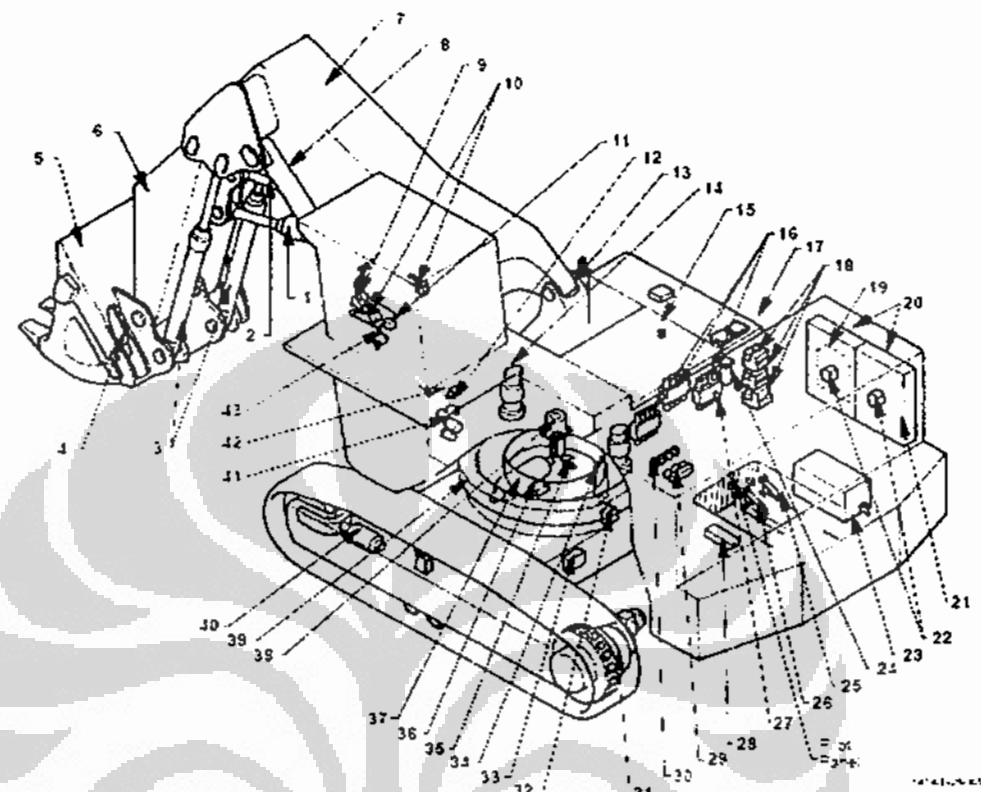


Lampiran 22. Spesifikasi Umum Hitachi EX-2500



Model Designation		EX2500-S	
Front Attachment Type	-	Loading Shovel Front	Backhoe Front
Standard Bucket Capacity (Heaped)	m ³ (yd ³)	14.5 (24)	14.6 (19.1)
Operating Weight	kg (lb)	239500 (527900)	242000 (533400)
Engine	-	QSK45-C 872 kW/1800 min ⁻¹ (1321 PS/1800 rpm)	
A Overall Width	mm (ft in)	6350 (20' 10")	
B Cab Height	mm (ft in)	7040 (23' 1")	
C Rear End Swing Radius	mm (ft in)	6250 (20' 8")	
D Minimum Ground Clearance	mm (ft in)	850 (2' 7")	
E Counterweight Clearance	mm (ft in)	2230 (7' 4")	
F Overall Width of Upperstructure	mm (ft in)	6200 (20' 4")	
G Undercarriage Length	mm (ft in)	7670 (25' 10")	
H Undercarriage Width	mm (ft in)	6000 (19' 8")	
I Sprocket Center to Idler Center	mm (ft in)	6120 (20' 1")	
J Track Shoe Width	mm (ft in)	1030 (3' 5")	
Ground Pressure	kPa (kg/cm ² , psi)	176 (1.79)	
Swing Speed	min ⁻¹ (rpm)	3.6	
Travel Speed (Fast/Slow)	km/h (mph)	2.3/1.6 (1.43/1.00)	
Gradeability	% (Degree)	50 (30)	

Lampiran 23. Layout Komponen Utama Hitachi EX-2500



- | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 - Arm Cylinder | 12 - Auto-Lubrication Device | 25 - Lift Cylinder Fast Flng | 37 - Accumulator Adjuster |
| 2 - Lave Cylinder | Lubricator | Device (Optional) | 38 - Center Joint |
| 3 - Bucket Cylinder | 14 - Swing Device | 26 - Fast Flng Solenoid Valve | 39 - Swing Bearing |
| 4 - Dump Cylinder | 15 - Air Breather Solenoid | (Fast Flng Device: Optional) | 40 - Adjuster Cylinder |
| 5 - Bucket | 16 - Control Valve | 27 - Boom Priority Valve | 41 - Compressor Motor |
| 6 - Arm | 17 - Main Hydraulic Oil Tank | 28 - Travel Pilot Pressure Cut-Off Valve | 42 - Swing Stop Solenoid Valve |
| 7 - Boom | 18 - High Pressure Stopper | 29 - Accumulator Pilot Circuit Shuttle Valve | 43 - Pilot Control Shuttle Valve |
| 8 - Boom Cylinder | 19 - Filter Cooler | 30 - Travel Device | |
| 9 - Pilot Valve (Travel) | 20 - Oil Cooler | 31 - Pilot Pressure Selector Valve | |
| 10 - Pilot Valve (Front Swing) | 21 - Pump Transmission Selector | 32 - Pilot Pressure Selector Valve | |
| 11 - Pilot Valve (Bucket Open/Close) | 22 - Oil Cooler Fan Motor | 33 - Travel Brake Valve | |
| 13 - Compressor (For Air Conditioner) | 23 - Sub- hydraulic Oil Tank | 34 - Accumulator Adjuster | |
| | 24 - Bypass Filter | 35 - Relief Valve - Accumulator | |
| | | 36 - Reducing Valve - Accumulator | |

Lampiran 24. Scheduled Maintenance untuk Beberapa Komponen Utama

Major Components	Working hours (Service meter reading)						
	5000	10000	15000	20000	25000	30000	40000
Engine		10	15				
Hydraulic Pump		8	14				
Hydraulic Swing Motor		8	14				
Hydraulic Travel Motor				18	20		
Center Joint		12		20			
Control Valve			15	20			
Hydraulic Cylinder		8	16				
Track Adjuster Cylinder		8	12				
Hydraulic Oil Cooler				20	30		
High Pressure Hose		8	12				
Low Pressure Hose			15	20			
High Pressure Piping				20	30		
Rollers		70	15	25			
Track Pin			15	25			
Shoe			15	25			
Front Idler				20	30		
Drive Tumbler				20	30		
Pump Transmission				20	30		
Swing Device			15	25			
Travel Device			15	25			
Swing Bearing						30	40
Front End Attachment Pin, Bushing	5	10		20	30		
Radiator			15	25			
Electric Wire Harness			15	25			

NOTE: Maintenance period of the above mentioned major equipment greatly varies depending on how it is maintained and operated (undercarriage components varies depending on how and where it is operated) or the reason, the maintenance period is shown in a certain range. This document is intended for maintenance guideline only, not for Maschi's quality warranty.

Lampiran 25. Contoh Perhitungan Proyeksi Ketersediaan (EX-728)

Dengan tingkat kehandalan 0.5 dan asumsi pengoperasian peralatan adalah 25 bulan atau 18240 jam operasi maka jumlah kegagalan:

$$Freq = \lambda_{(0.5)} \times t$$

$$Freq = (9.625 \times 10^{-4}) \times 18240$$

$$Freq = 17.556$$

Dengan asumsi MTTR adalah sama dan jumlah frekuensi kegagalan 17.556, maka Cum. TTR dari setiap subsistem dapat ditentukan sebagai berikut:

$$Cum\ TTR = Freq \times MTTR$$

Hydraulic System : Cum TTR = 17.556 x 2.868 = 50.351 jam

Optional Accessories : Cum TTR = 17.556 x 0.833 = 14.624 jam

Electrical System : Cum TTR = 17.556 x 0.980 = 20.102 jam

Engine : Cum TTR = 17.556 x 1.145 = 10.850 jam

Attachment/Work Eq. : Cum TTR = 17.556 x 0.618 = 17.205 jam

Maka Cum. TBF dari masing-masing subsistem adalah:

$$Cum.TBF = Available\ Time - Cum\ TTR$$

Hydraulic System : Cum TBF= 18240 – 50.351 = 18189.649 jam

Optional Accessories : Cum TBF= 18240 – 14.624 = 18225.376 jam

Electrical System : Cum TBF= 18240 – 20.102 = 18219.898 jam

Engine : Cum TBF= 18240 – 10.850 = 18229.150 jam

Attachment/Work Eq. : Cum TBF= 18240 – 17.205 = 18222.795 jam

Ketersediaan untuk masing-masing subsistem:

$$A = \frac{Cum.TBF}{Available\ Time}$$

Hydraulic System : A = 18189.649 / 18240 = 0.9972

Optional Accessories : A = 18225.376 / 18240 = 0.9992

Electrical System : A = 18219.898 / 18240 = 0.9989

Engine : A = 18229.150 / 18240 = 0.9994

Attachment/Work Eq. : A = 18222.795 / 18240 = 0.9991

Maka total ketersediaan untuk excavator EX-728 :

$$A = 0.9938$$

Lampiran 26. Contoh Perhitungan Benefit EX-728

Troughput = production rate=960 cubic meter/hour = 1446 ton/hour

Production Volume = (Total Availability x Available Time) x Production Rate

Produksi batubara saat ini (periode Sept. 2007 sampai dengan Sept. 2009):

Production volume = (0.9800 x 18240) x 1446 ton/hour = 25847539.200 ton

Proyeksi produksi batubara dengan peningkatan ketersediaan :

Production volume = (0.9938 x 18240) x 1446 ton/hour = 26211818.318 ton

Proyeksi Peningkatan produksi = Proyeksi produksi - Produksi saat ini

= (26211818.318 – 25847539.200) ton

= 364279.118 ton

Dengan estimasi tingkat penjualan tahun 2008 adalah Rp. 17.992 miliar, EBITDA tahun 2008 adalah Rp. 3.266 miliar dan harga batubara pada spot market pada tahun 2008 adalah Rp. 700 ribu/ton, maka benefit yang diperoleh oleh perusahaan:

Benefit = Proyeksi Peningkatan Produksi x EBITDA/Ton

= 364279.118 ton x Rp. 127067.586/Ton

= Rp. 46.288.068.136,005

* EBITDA/TP= Earn Before Interest, Tax, Depreciation, And Amortization

