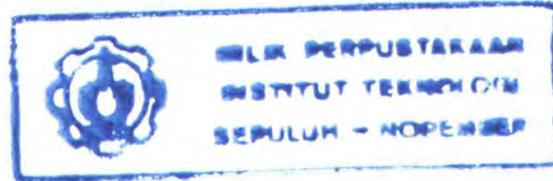


25210/H/06

**TUGAS AKHIR**  
**(LS 1336)**



**ANALISA KERUSAKAN KOMPRESOR  
SEBAGAI MESIN BONGKAR MUAT PELABUHAN CURAH  
DI P.T SEMEN GRESIK**

RSSP  
621.51  
Kha  
9-1  
-----  
2006



Oleh :

Achmad Syifaul Khakim  
4201 109 009

PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	15-2-06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	223876

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2006**

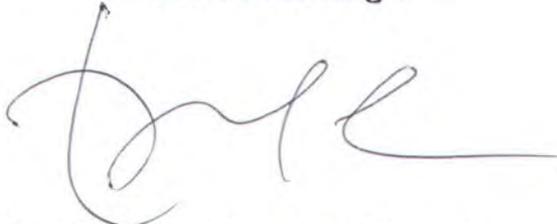
**ANALISA KERUSAKAN KOMPRESOR  
SEBAGAI MESIN BONGKAR MUAT PELABUHAN CURAH  
DI P.T SEMEN GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Mengetahui/Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**



**Taufik Fajar Nugroho S.T, M.Sc  
NIP. 132 262 157**

**Dosen Pembimbing II**

**R.O Saut Gurning S.T, M.Sc  
NIP. 132 133 980**

**SURABAYA  
FEBRUARI, 2006**



**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA  
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111  
TELP.5994754, 45994251 – 55 PES 1102 FAX 5994754**

**SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir  
( LS 1336 )**

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, maka perlu di terbitkan Surat Keputusan Pengerjaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut dibawah untuk mengerjakan tugas sesuai dengan judul dan lingkup batasan yang telah ditentukan.

Nama mahasiswa : ACHMAD SYIFAUL HAKIM  
NRP : 4201 109 009  
Dosen pembimbing : 1. TAUFIK FAJAR NUGROHO S.T, M.Sc  
2. SAUT GURNING S.T,M.Sc  
Tanggal diberikan tugas : 22 September 2005  
Tanggal diselesaikan tugas :  
Judul Tugas Akhir : ANALISA KERUSAKAN KOMPRESOR SEBAGAI MESIN  
BONGKAR MUAT PELABUHAN CURAH DI P.T SEMEN  
GRESIK

Surabaya, 22 September 2005  
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
ITS, Kelautan



Ir.Suryo Widodo Adji, M.Sc  
NIP. 131 879 390

Yang Menerima Tugas ;

Mahasiswa

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Achmad Syifaul Hakim  
NRP. 4201 109 009

Taufik Fajar Nugroho S.T, M.sc  
NIP. 132 262 157

Saut Gurning S.T.M.Sc  
NIP. 132 133 980

### Abstrak

Salah satu perusahaan besar di kota Gresik yaitu P.T Semen Gresik adalah perusahaan yang bergerak dibidang pembangunan yang memproduksi salah satu bahan bangunan yang sangat penting sebagai campuran yaitu semen. Berbagai macam semen yang diproduksi sesuai kebutuhan dan permintaan pasar. Akhir-akhir ini permintaan pasar cukup meningkat sehingga memerlukan peningkatan produksi untuk memenuhi permintaan pasar. Sedangkan produksi di pabrik tersebut masih konstan sehingga memerlukan bantuan dari Semen Padang dan Tonasa melalui transportasi laut dengan Bulk Carrier.

Untuk mendukung kegiatan tersebut maka memerlukan sarana transportasi dan peralatan yang mendukung salah satunya adalah pelabuhan untuk proses bongkar muat khusus semen. Dalam hal ini pelabuhan semen sudah ada tetapi ada sedikit kendala yang mengganggu proses bongkar muat dan dapat mengakibatkan kerugian yang cukup signifikan. Yaitu pada proses bongkar muat berlangsung selama kurang lebih 20 menit kompresor utama break down sehingga menyebabkan proses bongkar muat lama. Hal tersebut disebabkan oleh kompresor sebagai motor penggerak utama overheating dan autoshutdown sehingga sangat mengganggu operasi bongkar muat semen di pelabuhan tersebut.

Oleh karenanya maka permasalahan tersebut cukup menarik untuk diangkat menjadi topic dari suatu permasalahan yang harus diselesaikan agar proses bongkar muat bisa normal kembali yaitu mencari penyebab kenapa kompresor tersebut break down dan menganalisa sistem bongkar muat pelabuhan tersebut secara kualitatif dan kuantitatif kemudian merekomendasikan tindakan apa yang perlu dilakukan sebagai langkah pencegahan dan apakah perlu adanya modifikasi terhadap sistem yang sudah ada.

**Kata Kunci : Bulk Carrier,Overheating,Autoshutdown,Breakdown**

### Abstract

*One of big company in Gresik that is P.T Semen Gresik T.bk is company that development area producing one of very important construction material as mixture that is cement. Assorted of cement produced by according to market request and requirement. Latterly the market request enough mount so that need product increase to fulfill the market request. While production in the factory still be constant so that need aid from and Tonasa Field Cement of through transportation go out to sea by Bulk Carrier.*

*To support the activity hence need medium of transportation and equipments supporting one of them is port to process unloading ekspecialy cement. In this case the port cement have there but there is a little constraint bothering porses of unloading cement and can result loss which enough significant. That is at process of unloading take place during more or less 20 minute of especial kompresor of break down so that cause process of old unloading. matter of that causes by compresor as especial activator is overheating and autoshutdown so that very bother operation of unloading cemen in the port.*

*For the reason hence the the problems enough draw to be lifted to become topic from a problems which must be finished in order to process unloading can be normal return that is look for cause of why the compressor is break down and analyse unloading system the port with qualitative analysis and quantitative analysis later then recommend action of what require to be conducted as preventive action and whether modification existence need to system there is.*

**Keyword : Bulk Carrier,Overheating,Autoshutdown,Breakdown**

## **KATA PENGANTAR**

Dengan meengucapkan puji syukur Alhamdullilah kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan segala Rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul:

### **ANALISA KERUSAKAN KOMPRESOR SEBAGAI MESIN BONGKAR MUAT PELABUHAN SEMEN CURAH DI P.T SEMEN GRESIK T.bk**

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi S1 pada jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dengan kesadaran yang penuh, bahwa dalam menyelesaikan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan yang disebabkan keterbatasan yang ada. Namun demikian penulis berharap semoga kekurangan tersebut tidak mengurangi arti dari penulisan tugas akhir ini.

Akhirnya penulis berharap semoga buku tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca, almamater khususnya bagi penulis sendiri.

Surabaya, Februari 2006

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terselesaikannya tugas akhir ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ir. Suryo Widodo Adji, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS.
2. Bapak Taufik Fajar Nugroho S.T,M.Sc, selaku dosen pembimbing I, yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan.
3. Bapak Saut Gurning S.T, M.Sc selaku dosen pembimbing II, yang dengan sabar menuntun dan memberikan pengarahan kepada penulis.
4. Bapak DR. Ketut Budha A S.T,M.Sc yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan yang sangat berharga bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhirnya.
5. Orang tuaku, dan saudara-saudaraku yang telah banyak memberikan bantuan materiil maupun spirituil serta dorongannya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
6. Kepada mantan pacarku yang bersedia memberikan segenap waktu dan perhatiannya untuk menemaniku disaat bingung dan sedih juga dorongan spiritual yang sangat membantu sekali.
7. Yogi (genggek), Amd; Hadi Irawan, Amd; Anton Widodo, David Kurniawan ;Amd,Adam F, Andrian B (Koko);Khususnya temanku Rio Trianton yang telah banyak memberikan masukan;Putra (kebo),Rekan-rekan *Boyzone* serta rekan-rekan seperjuangan S1 yang telah memberikan masukan,dorongan dan semangat untuk memeperlancar penyelesaian tugas akhir ini.
8. Segenap karyawan PT. Semen Gresik yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Semua pihak yang memberikan dukungan kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.

Akirnya penulis hanya bisa berdoa semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan imbalan atas segala bantuannya, dan memberikan kemudahan dalam menyongsong hari-hari yang akan dilaluinya.

## DAFTAR ISI

Abstrak .....	i
Kata Pengantar .....	ii
Ucapan Terima Kasih .....	iii
Daftar Isi .....	iv
Daftar Gambar .....	vii
Daftar Grafik .....	viii
Daftar Tabel .....	ix
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>I-1</b>
I.1 Latar Belakang permasalahan.....	I-1
I.2 Rumusan masalah.....	I-2
I.3 Tujuan Penulisan .....	I-5
I.4 Manfaat Penulisan.....	I-5
I.5 Batasan Masalah.....	I-5
I.6 Sistematika Tugas Akhir.....	I-5
<b>BAB II. DASAR TEORI.....</b>	<b>II-1</b>
II.1 Diskripsi Umum Sistem Bongkar Muat Pelabuhan Curah Di P.T Semen Gresik.....	II-1
II.2 Fungsi Komponen Pada Sistem Bongkar Muat Pelabuhan . II.1	
II.2.1 Blower .....	II-1
II.2.2 Vacum Pump.....	II-2
II.2.3 Reloader .....	II-2
II.2.4 Storage (silo).....	II-2
II.2.5 Auxiliary compresor.....	II-3
II.2.6 Sentrifugal Pump .....	II-3
II.2.7 Valve .....	II.3
II.3 Kompresor.....	II.-4
II.3.1 macam komprsor .....	II.4

II.3.2	Komponen Pengatur Pengaman.....	II-8
II.3.3	Sistem Pendingin Minyak .....	II-8
II.4	Keandalan.....	II-12
II.4.1	Struktur Keandalan.....	II.12
II.4.2	Diskripsi Kerusakan .....	II.13
II.4.3	Mean Time To Failure.....	II-14
II.4.4	Mean Time Between Failure.....	II.15
II.4.5	Mean Time To Repair .....	II.16
II.4.6	Availability (ketersediaan).....	II-16
II.4.8	Kurva Bathup.....	II-17
II.5	Fault Tree Analysis.....	II-18
II.5.1	Analisa Fault Tree .....	II-18
II.5.2	Definisi Problem Dan Kondisi Batas .....	II.20
II.5.3	Pengkonstruksian Fault Ttree .....	II-23
II.6	Penggunaan Software FaultrEASE .....	II.24

### **BAB III METODOLOGI..... III-1**

III.1	Umum.....	III-1
III.2	Studi Literatur .....	III-1
III.3	Pengumpulan Data.....	III-2
III.4	Detail Desain.....	III-4
III.5	Penetapan operating Konteks.....	III-4
III.6	Analisa Data.....	III-4
III.7	Hasil Prediksi Kegagalan .....	III-6
III.8	Kesimpulan Saran.....	III-6

### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....IV-1**

IV.1	Umum.....	IV-1
IV.2	Operating onteks.....	IV-2
IV.2.1	Subsistem Pendingin Kompresor .....	IV-2
IV.2.2	Subsistem Pneumatis .....	IV-3

IV.3 Ketentuan Identifikasi Kegagalan Dengan FTA.....	IV-4
IV.3.1 Sistem Bongkar Muat Pelabuhan Semen .....	IV-5
IV.3.2 Latar Belakang Subsistem Pendingin .....	IV-6
IV.3.3 Latar Belakang Subsistem Pneumatis.....	IV-8
IV.4 Improvemen Potensial.....	IV-11
IV.5 Konstruksi Fault Tree.....	IV-12
IV.6 Evaluasi Kualitatif.....	IV-23
IV.6.1 Identifikasi minimal cut set dengan FaultREASE..	IV-24
IV.7 Evaluasi Kuantitatif.....	IV-26
IV.7.1 Penentuan Nilai Frekwensi Dari Minimal Cut set dengan FaultREASE.....	IV-28
IV.7.2 Critical Analisis.....	IV-33
IV.7.3 Analisa perbandingan .....	IV-50
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>V.1</b>
V.1 Kesimpulan .....	V.1
V.2 Saran.....	V.2
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	
<b>Lampiran .....</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 General Arangement Unloading Sistem.....	I-4
Gambar 2.1 Blok Diagram Seri .....	II-12
Gambar 2.2 Blok Diagram Paralel.....	II-13
Gambar 2.3 Bok Diagram Seri-Paralel.....	II-13
Gambar 2.4 Grafik T waktu Kerusakan .....	II-14
Gambar 2.5 Kurva Bath up .....	II-17
Gambar 2.6 Struktur Fundamental Dari Sebuah Fault Tree .....	II-22
Gambar 2.7 Screen FaultrEASE.....	II-25
Gambar 2.8 Screen FaultrEASE.....	II-26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	III-3
Gambar 4.1 Subsistem Pendingin Kompresor.....	IV-7
Gambar 4.2 Subsistem Pneumatis .....	IV-8
Gambar 4.2 Subsistem Pneumatis .....	IV-9
Gambar 4.4 Top even Fault Tree ( Sistem Bongkar Muat Gagal).....	IV-11
Gambar 4.5 Intermediate event ( Subsistem Pendingin Gagal).....	IV-13
Gambar 4.6 Intermediate event ( Subsistem Pneumatis Gagal) .....	IV-14
Gambar 4.7 Minimal Cut Set.....	IV-17
Gambar 4.8 Cut Set 1 Dari FaultrEASE.....	IV-22
Gambar 4.9 Cut Set 6 Dari FaultrEASE.....	IV-22
Gambar 4.10 Cut Set 15 Dari FaultrEASE .....	IV-23
Gambar 4.11 Probabilitas Ketidakhandalan Subsistem Pneumatis .....	IV-24
Gambar 4.12 Probabilitas Ketidakhandalan Subsistem Pendingin.....	IV-24
Gambar 4.13 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF.....	IV-33
Gambar 4.14 data TTF yang dihasilkan.....	IV-33
Gambar 4.15 Penetuan jenis distribusi dari data TTF.....	IV-34
Gambar 4.16 Reliability indeks 1.....	IV-35
Gambar 4.17 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF.....	IV-35
Gambar 4.18 data TTF yang dihasilkan.....	IV-36
Gambar 4.19 Penetuan jenis distribusi dari data TTF.....	IV-36

Gambar 4.20 Reliability indeks 2.....	IV-37
Gambar 4.21 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF.....	IV-38
Gambar 4.22 data TTF yang dihasilkan.....	IV-38
Gambar 4.23 Penentuan jenis distribusi dari data TTF.....	IV-39
Gambar 4.24 Reliability indeks 3.....	IV-40
Gambar 4.25 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF.....	IV-40
Gambar 4.26 data TTF yang dihasilkan.....	IV-41
Gambar 4.27 Penentuan jenis distribusi dari data TTF.....	IV-41
Gambar 4.28 Reliability indeks 4.....	IV-42
Gambar 4.29 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF.....	IV-43
Gambar 4.30 data TTF yang dihasilkan.....	IV-43
Gambar 4.31 Penentuan jenis distribusi dari data TTF.....	IV-44
Gambar 4.32 Reliability indeks 5.....	IV-45
Gambar 4.33 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF.....	IV-45
Gambar 4.34 data TTF yang dihasilkan.....	IV-46
Gambar 4.35 Penentuan jenis distribusi dari data TTF.....	IV-46
Gambar 4.36 Reliability indeks 6.....	IV-47
Gambar 4.37 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF.....	IV-48
Gambar 4.38 Data TTF yang dihasilkan.....	IV-48
Gambar 4.39 Penentuan jenis distribusi dari data TTF.....	IV-49
Gambar 4.40 Reliability indeks 7.....	IV-50

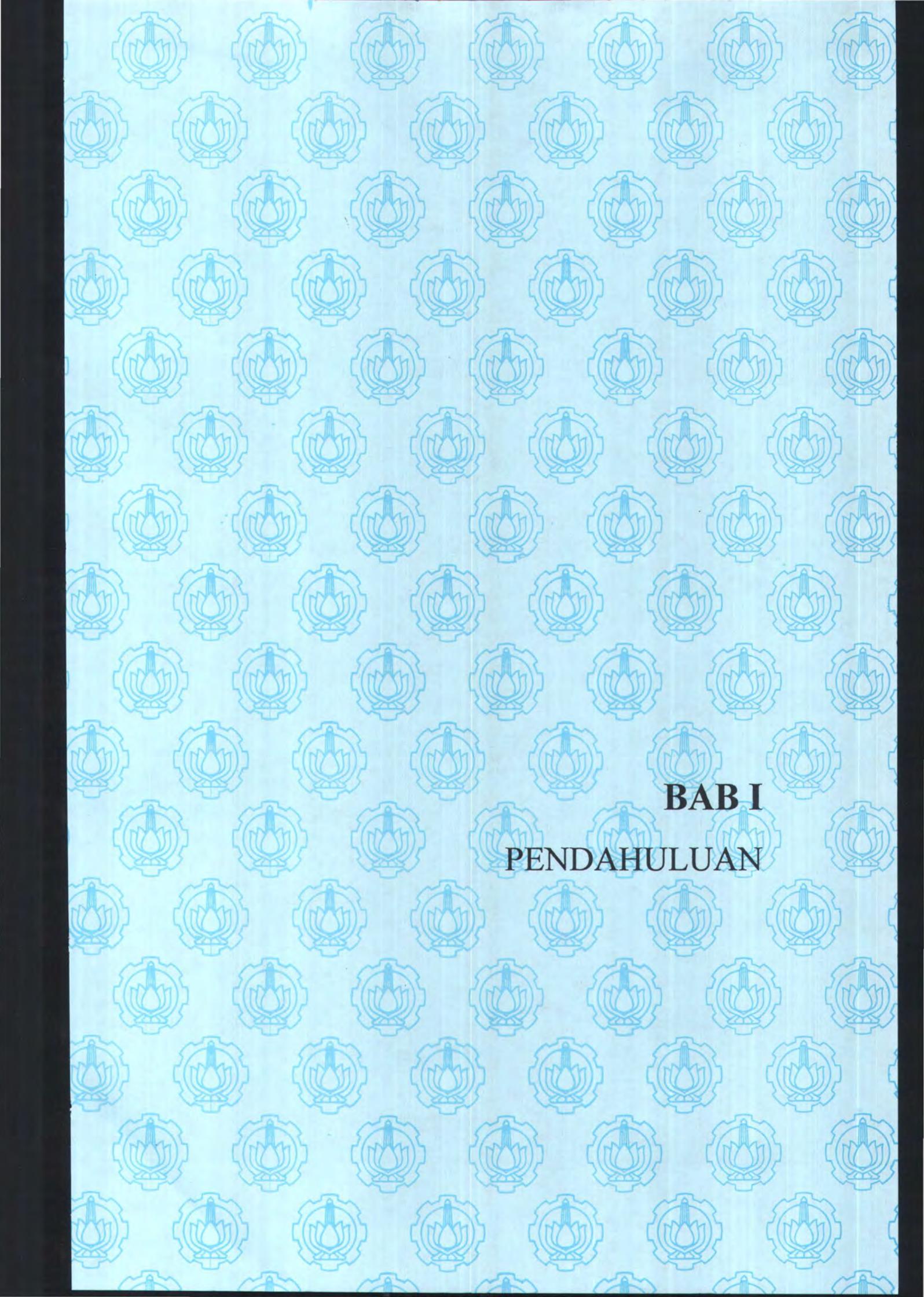
## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 reliability untuk regulating valve .....	IV-34
Grafik 4.2 reliability untuk pipa baja bocor.....	IV-37
Grafik 4.3 reliability untuk pipa baja tersumbat.....	IV-39
Grafik 4.4 reliability untuk Check valve.....	IV-42
Grafik 4.5 reliability untuk Impeller.....	IV-44
Grafik 4.6 reliability untuk inlet filter.....	IV-44
Grafik 4.7 reliability untuk seal.....	IV-49

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel Tingkatan Minimal Cut set .....	IV-18
Tabel 4.2	Indeks keandalan.....	IV-50





**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. LATAR BELAKANG**

Mengingat kemajuan jaman, ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat segala sarana dan prasarana semakin canggih dan mudah untuk didapatkan. Dimana saja kita berada kita akan mudah untuk menjumpainya. Dalam dunia maritim kita diharapkan lebih cepat dan tepat dalam mengerjakan berbagai tugas, pekerjaan ataupun proyek yang akan dikerjakan. Salah satunya adalah penulis ingin mengangkat topik lewat Tugas Akhirnya dengan tema "Analisa Kerusakan Kompresor Sebagai Mesin Bongkar Muat Di Pelabuhan P.T Semen Gresik". Yang paling mendasar diangkatnya topik ini adalah untuk memperdalam Ilmu Pengetahuan bagi si penulis selain yang didapatkan di perkuliahan karena menyadari terbatasnya waktu yang diberikan oleh kampus maka penulis harus mencari alternatif lain guna memperdalam ilmunya dan salah satunya adalah penulisan karya ilmiah atau Tugas Akhir ini.

Aplikasi penggunaan kompresor untuk dunia perindustrian di berbagai sektor telah menjadi obyek penelitian pada beberapa tahun yang lalu. Ketertarikan ini berdasarkan pertimbangan pada upaya untuk mendapatkan kinerja mesin yang baik. Berbagai penelitian untuk mempelajari karakteristik dan efisiensi kompresor telah dilakukan.

Pada proses bongkar muat semen curah kompresor mati dikarenakan adanya suatu indikasi bahwa system pendingin dari kompresor tersebut gagal dalam menjalankan fungsinya sehingga terjadi overheating. Jadwal produksi menjadi tidak tepat. Untuk mengatasi hal tersebut diatas kita harus mengadakan analisa terhadap subsistem tersebut, Pelabuhan adalah salah satu sarana transportasi laut baik untuk konvensional atau perdagangan, salah satunya adalah pelabuhan Semen Gresik sebagai sarana transportasi perdagangan melalui kapal laut. Tujuannya adalah untuk memasarkan produknya di penjuruan tanah air untuk

memenuhi target, baik target perusahaan itu sendiri untuk mensejahterakan karyawannya atau target pemerintah untuk melaksanakan pembanguana sesuai rencana sehingga semua lapisan masyarakat bisa merasakannya.

Dalam hal ini sangat diperlukan untuk dilakukan riset karena kontribusi yang akan diberikan akan cukup besar, baik kepada perusahaan ataupun masyarakat dan pembangunan negara kita. Negara kita termasuk negara berkembang yang sedang menggalakkan pembangunan di berbagai bidang yang memerlukan bahan-bahan bangunan yang sangat banyak salah satunya adalah semen sebagai campuran bahan bangunan. Untuk menghindari impor yang otomatis harganya akan lebih mahal maka perusahaan milik negara ini harus melakukan produksi dengan tepat waktu sehingga kebutuhan negara akan semen bisa terpenuhi.

Hasil yang diharapkan adalah kegagalan pada sistem bongkar muat tersebut tidak terulang lagi dan yang paling penting adalah penulis bisa mengerti prinsip kerja mesin tersebut dan para pembaca juga bisa mengerti dengan baik apa yang dimaksudkan oleh penulis. Diharapkan penulisan Tugas Akhir ini bisa memberikan kontribusi yang cukup besar, baik untuk perusahaan yang penulis jadikan obyek penelitian atau penulis sendiri dan terutama bagi semua pembaca. Sehingga permasalahan yang timbul bisa diselesaikan dengan baik dan benar.

## **I.2. PERUMUSAN MASALAH**

Dalam system bongkar muat semen curah ini menggunakan kombinasi sistem udara bertekanan dan vacuum pressure. Prinsip kerja sistem bongkar muat tersebut adalah; *Vacum Pump* menyediakan Negative Pressure dimana untuk mencampur semen dengan udara dari blower yang kemudian dialirkan dari ruang muat menuju reloader.

Kompresor menyediakan udara, dimana udara bertekanan tersebut dimasukkan kedalam reloader dan bercampur dengan semen. Secara umum intinya adalah mengangkut semen dari kapal lewat reloader menuju storage (silo).

Ini merupakan system "*pull Push*" vacuum line dan pressue line dengan reloader tertentu tidak pernah terbuka secara simultan. Ketika *vacum pump* tidak

berfungsi dari pompa 1 maka akan digunakan pompa 2 dan begitu pula sebaliknya. Juga pertimbangan yang sama untuk kompresor. Oleh karena itu kita mempunyai dua arah tambahan: masing-masing mempunyai satu reloader.

Dari hasil inspeksi ke lapangan proses bongkar muat sudah cukup lama tidak beroperasi sehingga menimbulkan akibat salah satunya adalah kompresor yang digunakan sebagai mesin bongkar muat semen curah ini mengalami gangguan pada bagian *cooler sistem* yang memakai air laut sebagai media pendingin, terbukti pada saat kompresor beroperasi terjadi overheating sehingga proses bongkar muat membutuhkan waktu yang lama. Diduga ada subsistem yang gagal saat beroperasi.

Oleh sebab itu maka perlu ditinjau kembali sistem-sistem yang mempengaruhi kinerja dari sistem bongkar muat pelabuhan semen curah tersebut dan system penunjang yang lain.

1. Bagaimana cara untuk mencari penyebab kegagalan subsistem pendingin yang mengakibatkan kompresor shutdown kemudian sistem bongkar muat pelabuhan tersebut gagal untuk beroperasi.



### **1.3. TUJUAN**

Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk :

1. Mempelajari prinsip kerja kompresor dalam aplikasi sistem bongkar muat pelabuhan curah dan sistem bongkar muat pelabuhan semen curah itu sendiri.
2. Mencari penyebab kegagalan subsistem pendingin pada sistem bongkar muat pelabuhan curah di P.T Semen Gresik.

### **1.4. MANFAAT**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini antara lain adalah:

1. Mengetahui prinsip kerja kompresor sebagai aplikasi mesin bongkar muat curah yaitu semen curah (*bulk cement*) dan sistem bongkar muat (*pneumatic conveying*) itu sendiri.
2. Mengetahui penyebab kegagalan pada subsistem pendingin kompresor
3. Sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan pola perawatan yang lebih baik.

### **1.5. BATASAN MASALAH**

1. Hanya mengidentifikasi penyebab kegagalan yang terjadi di sistem bongkar muat pelabuhan semen curah tersebut.
2. Konstruksi *fault tree* sampai pada subkomponen sistem.
3. Analisa yang dilakukan adalah *kualitatif analisis dan kuantitatif analisis* dengan metode *Fault tree analysis*.
4. Faktor human error tidak dimasukkan dalam proses analisa.

### **1.6. SISTEMATIKA TUGAS AKHIR**

Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari :

Lembar Pengesahan

Abstrak

Kata Pengantar

Daftar Isi

Daftar Gambar

**BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang penulisan, perumusan masalah, pembatasan masalah dan tujuan tugas akhir.

## BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini akan membahas tentang teori tentang proses analisa, teori tentang pencarian penyebab kegagalan suatu sistem, dan referensi lain yang dapat mendukung dalam proses analisa penyelesaian masalah tugas akhir ini.

## BAB III METODOLOGI

Pada bab ini akan dibahas mengenai metode penyelesaian tugas akhir, pengolahan dan analisa data untuk menyelesaikan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini.

### BAB IV 1. Analisa Data.

Berisi tentang analisa semua jenis mode kegagalan dari semua list equipment yang ada. Dalam hal ini adalah semua bagian dari sistem bongkar muat pelabuhan tersebut.

### 2. Pembahasan.

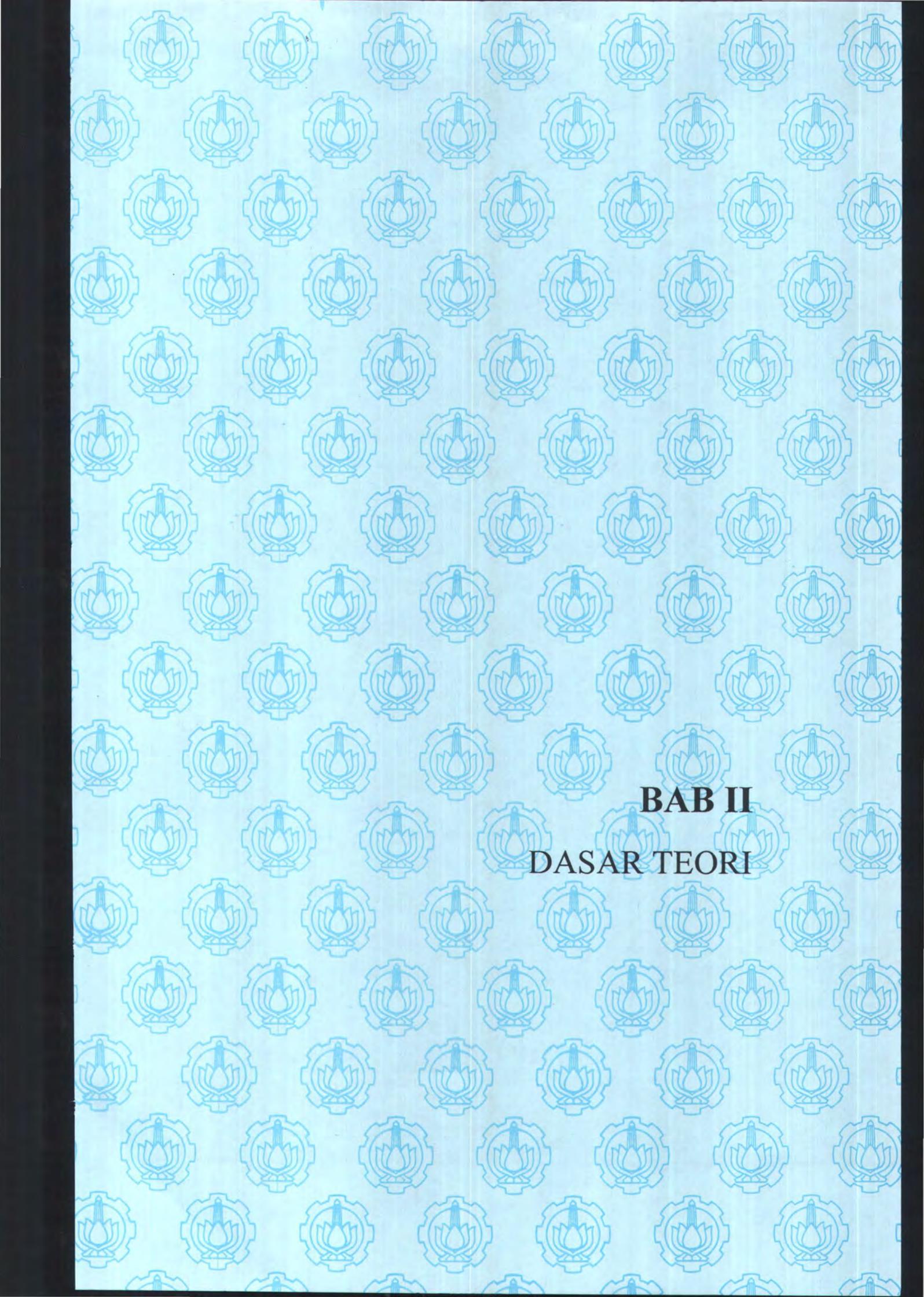
Pembahasan mengenai berbagai macam penyebab kegagalan yang terjadi dan kemudian dicari penyebab yang paling dominan untuk dijadikan acuan indikasi.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari tugas akhir yang telah selesai dikerjakan dan saran-saran yang berguna bagi penulis dan pembaca.

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



**BAB II**  
**DASAR TEORI**

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **II.1 Sistem Bongkar Muat Pelabuhan Curah Semen dan Kompresor Sebagai Mesin Penggeraknya.**

##### **II.1.1 Deskripsi Umum.**

Dalam system bongkar muat ini banyak system penunjang yang sangat mempengaruhi kinerja dari system tersebut. Dalam system bongkar muat semen curah ini menggunakan kombinasi sistem udara bertekanan dan vacuum pressure. Prinsip kerja sistem bongkar muat tersebut adalah; *Vacum Pump* menyediakan *Negative Pressure* dimana untuk mencampur semen dengan udara dari blower yang kemudian dialirkan dari ruang muat menuju reloader. Kompresor menyediakan udara, dimana udara bertekanan tersebut dimasukkan kedalam reloader dan bercampur dengan semen. Secara umum intinya adalah mengangkut semen dari kapal lewat reloader menuju storage (silo). Faktor yang penting dalam aliran semen dari reloader ke discharge line adalah *aeration*. Bagian dasar dari reloader adalah tempat pengisian udara yaitu proses *aeration*, yang mana semen diaduk. Lagipula permukaan tangki bagian dalam dicat hal ini untuk mencegah semen lengket di dindingnya. Dengan begitu aliran dalam saluran bisa beroperasi.

#### **II.2 Fungsi Komponen pada system bongkar muat pelabuhan semen curah di P.T Semen Gresik.**

##### **II.2.1 Blower system**

Blower system ini adalah untuk menyediakan udara atau menyupply kebutuhan udara ke hold (ruang muat). Tujuannya adalah untuk mencampur semen dengan udara atau dengan kata lain mengaduk semen agar bercampur dengan udara sehingga semen dapat didistribusikan menuju silo (storage) dengan melewati reloader.

## II.2.2 Vacum pressure system

Vacum pressure system ini adalah untuk pengkondisian reloader agar tekanannya vacuum atau dibawah 1 atm. Tujuannya adalah agar supaya semen yang telah tercampur dengan udara bisa mengalir kedalam reloader untuk pemrosesan selanjutnya.

## II.2.3 Reloader.

Reloader ini adalah tangki atau tabung yang fungsinya adalah untuk proses penyempurnaan mixed antara semen dengan udara agar semen tidak mengendap atau membatu yang disebabkan oleh pencampuran yang kurang sempurna yang jika hal itu terjadi dapat mengakibatkan saluran discharge tersumbat.

- Air Filter

Filter ini adalah berfungsi untuk menyaring udara yang mau disedot / dihisap oleh vacuum pump agar bersih dari debu.

- Airpad

Bagian dasar reloader sebagai tempat proses *aeration* pengadukan semen agar terjadi turbulensi dan swarl, gunanya adalah agar supaya bulk semen tidak mengendap.

- Level indicator

Alat ini berfungsi sebagai pengontrol atau pemonitoring kondisi didalam reloader, jika reloader penuh maka akan dialihkan ke reloader yang satunya secara bergantian.

## II.2.4 Storage (silo).

Storage ini adalah sebagai tujuan akhir dari sistem bongkar muat ini sebagai tempat penampungan semen yang kemudian bisa didistribusikan dengan bulk truk. Ada sebagian yang dikirim ke pabrik untuk pengepakan dan ada yang langsung dibawa ke suatu proyek yang memerlukan semen dengan jumlah yang besar.



### **II.2.5 Auxiliary kompresor.**

Kompresor bantu ini adalah sebagai system udara bertekanan yang diaplikasikan untuk mengontrol semua valve yang ada dalam system dengan menggunakan auto switch.

### **II.2.6 Water pump.**

Pompa air ini adalah alat bantu untuk system pendingin kompresor dan vacum pump. Kompresor dan vacum pump tersebut menggunakan pendingin air yang menggunakan air laut sebagai pendingin. Setelah operasi pendinginan selesai maka akan dilakukan flushing dengan air tawar, hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya korosi pada komponen yang ada dalam system pendingin tersebut.

### **II.2.7 Valve.**

Valve ini berfungsi untuk mengatur semua aliran yang ada dalam system bongkar muat ini sehingga arah dan tujuan aliran bisa dengan jelas diketahui. Adapun valve-valve tersebut adalah sebagai berikut (lihat gambar 1.1 Pada bab sebelumnya:

- Suction line valve (S1-S2)
- Vacum line valve (V1-V2)
- Discharge line valve (D1-D2)
- Compressor filter line valve (CF1-CF2)
- Compressor airpad line valve (CP1-CP2)
- Compressor booster line Valve (CB1-CB2)
- Compressor line discharge pressure regulating valve (CR1-CR2)
- Blower line pressure regulating valve (BR)
- Vacum valve to atmosphere (VX)
- Compressor valve to atmosphere (CX)

- Blower valve to atmosphere (BX)
- Silo valve (SV1-SV2)
- Chek valve (MC1-MC9)
- Manual valve (MV1-MV12)

### **II.3 Kompresor.**

Dalam system bongkar muat ini kompresor merupakan komponen dalam system yang sangat mempengaruhi kinerja dari system tersebut.

Kompresor yang digunakan adalah tipe screw dengan pendingin minyak menggunakan media air laut.

#### **II.3.1 Macam-Macam Kompresor**

Kompresor dapat diklasifikasikan atas dasar tekanannya seperti ditunjukkan dibawah ini yaitu :

1. kompresor (pemampat) untuk yang bertekanan tinggi,
2. blower (peniup) untuk yang bertekanan rendah,
3. fan (kipas); untuk yang bertekanan sangat rendah.

Menurut cara pemampatannya kompresor dapat digolongkan atas;

1. kompresor jenis turbo, ini menggunakan impeller yang menimbulkan gaya centrifugal untuk menaikkan tekanan dan kecepatan gas atau dengan gaya angkat (lift) yang ditimbulkan oleh sudu.
2. Kompresor jenis perpindahan; pada kompresor jenis ini kompresi gas dilakukan dengan cara memperkecil atau memampatkan volume gas yang dihisap kedalam cylinder atau stator oleh torak atau sudu.
3. Selanjutnya kompresor jenis perpindahan dapat digolongkan lagi menjadi jenis putar dan jenis bolak-balik.

4. Kompresor putar dapat dibagi lebih lanjut atas jenis rotor, sudu luncur, dan sekrup.

Kompresor juga dapat diklasifikasikan atas dasar konstruksinya seperti dibawah ini:

1. Klasifikasi berdasarkan jumlah tingkat kompresi: satu tingkat, dua tingkat, banyak tingkat.
2. klasifikasi berdasarkan langkah kerja (pada kompresor torak) : kerja tunggal (single acting), kerja ganda (double acting).
3. klasifikasi berdasarkan susunan silinder (untuk kompresor trak): mendatar, tegak, bentuk L, bentuk V, bentuk W, bentuk bintang, lawan berimbang (balans oposed).
4. klasifikasi berdasarkan cara pendinginan : pendingin air, pendingin udara.
5. klasifikasi berdasarkan transmisi penggerak : langsung, sabuk-V, roda gigi.
6. klasifikasi berdasarkan penempatannya: permanen (stationary), dapat dipindahkan (portable).
7. klasifikasi berdasarkan cara pelumasan: pelumasan minyak, tanpa minyak.

Kompresor yang digunakan pada sistem bongkar muat curah di PT. Semen Gresik adalah kompresor *screw* produksi Aerzen VM 310-3 250KW dan VM 410-3 400KW. Pengaturan kapasitas dilakukan dengan cara mengatur pembukaan katup pada sisi masuk dan membocorkan udara pada sisi tekan ke atmosfer pada posisi *unloading*.

#### Prinsip Kerja Kompresor *Screw*

Adapun prinsip kerja kompresor *screw* saat *loading* dan *unloading* adalah sebagai berikut :

##### a. *Loading*

Saat *net pressure* berkurang sampai dibawah batasan dari tekanan kerja, katup *solenoid* diberi tenaga. Penghisap dari katup *solenoid* bergerak keatas menekan gaya pegas.

1. Penghisap dari katup *solenoid* membuka suplai tekanan *receiver* kearah *chamber*. Katup *unloading* membuka menekan gaya pegas.
  2. Tekanan dari *receiver* juga mendorong katup keatas menutup saluran pembuangan *Blow-off channel* dan *Channel*.
  3. Pengangkutan udara tekan dilanjutkan (100%). Kompresor *loading*.
- b. *Unloading*

Jika konsumsi terhadap udara bertekanan kurang dari udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor maka *net pressure* meningkat. Ketika *net pressure* meningkat melewati batas atas dari tekanan kerja (*unloading pressure*), katup *solenoid* dilepaskan, penghisap dari katup bergerak kebawah dengan gaya pegas

Prinsip kerja kompresor perpindahan positif adalah prinsip mendorong. Pada kompresor *reciprocating* udara atau gas diisap kedalam silinder dan kemudian dikompresi oleh gerak maju *phyer*. Sedang pada kompresor *screw* udara atau gas didorong oleh gerak putar *rotor*.

Selanjutnya akan dijelaskan tentang prinsip dasar dan konstruksi kompresor *screw*.

Pada kompresor *srew* pemindahan gas dilakukan oleh putaran sudu geser/sepasang *rotor* yang berada dalam rumah sudu berbentuk silinder eksentrik sehingga menghasilkan tekanan pada saluran pelepasan yang besarnya tergantung dari hambatan didalam sistem pelepasannya. Masing-masing *rotor* berputar pada poros yang sejajar, tertutup oleh rumah yang dibuat dari besi cor. *Rotor male* mempunyai tonjolan sebanyak empat buah dan *rotor female* mempunyai lekuk sebanyak enam buah. Tonjolan dari *rotor male* tepat masuk ke *rotor female*. *Rotor* ini mempunyai fungsi sebagai penyekat. *Rotor male* dan *rotor female* dihubungkan oleh roda gigi sehingga sepasang *rotor* tersebut berputar dengan arah berlawanan.

Bila *rotor* diputar, udara akan ditarik kedalam ruangan yang terbentuk antara tonjolan dan lekukan tersebut. Udara akan terperangkap pada ruang tersebut dan didorong kearah sisi tekan. Rongga tersebut volumenya semakin kecil bila

mendekati sisi tekan. Dengan demikian tekanan udara yang terperangkap tersebut akan semakin meningkat pada saluran pelepasan karena pengecilan volume.

Kapasitas aliran volumetrik kompresor jenis *screw* sekitar 3.400–25.490 m<sup>3</sup>/jam, perbandingan kompresi 1,7–5,0 dan kemampuan pengisapan gas mencapai kevakuman 500–1000 mm air raksa *absolute*.

Kompresor *screw* adalah termasuk mesin pergeseran positif yang mempunyai ciri bertekanan sedang, kapasitas menengah dan aliran kontinu.

Dalam peninjauan dilapangan yang dilakukan dipelabuhan PT. Semen Gresik menggunakan kompresor jenis *screw* tipe VM 310-3 250W dan VM 410-3 400KW. Pada dasarnya kedua jenis kompresor diatas mempunyai prinsip dasar yang sama. Besarnya aliran udara yang dihasilkan oleh kompresor diatur oleh sistem pengatur (*regulating system*). Sistem ini tetap menjaga agar *net pressure* atau tekanan udara dari kompresor yang dapat diprogram batasan tekanannya tergantung dari konsumsi udara di lapangan dengan *loading* dan *unloading* secara otomatis.

### II.3.2 Komponen Pengatur dan Pengaman

#### 1. Komponen Pengatur dan Pengaman

Komponen pengatur dan pengaman terdiri dari:

##### 1. Komponen pengatur:

- a. *Butterfly valve*, mengatur jumlah udara yang masuk kedalam kompresor.
- b. *Pressure regulator*, mengatur tekanan udara yang menutup *butterfly valve* secara otomatis.
- c. *Solenoid valve*, mengatur arah aliran udara atau oli dalam sistem pengaturan kapasitas yang dikontrol oleh sistem listrik.
- d. *Pressure switch*, kontak dalam rangkaian sistem listrik yang bekerja karena mendapat tekanan.

##### 2. Komponen pengaman :

- a. *Check Valve*, mencegah aliran kembali.
- b. *Safety relief valve*, mengurangi atau membuang tekanan dalam sistem, jika tekanan melampaui batas maksimum.

*Safety shutdown*, menghentikan motor apabila suhu udara keluar melebihi batas maksimum.

### II.3.3 Sistem pendingin minyak

System pendingin minyak ini menggunakan air , baik air tawar atau air laut tetapi untuk kompresor di system bongkar muat ini menggunakan air laut sebagai media pendinginan dan kemudian air tawar sebagai pembilasan saja (*flushing*). Temperatur minyak injeksi harus diatur dengan baik agar tidak terlalu rendah sehingga terjadi pengembunan uap air didalam penampung minyak dan agar tidak terjadi oksidasi minyak karena temperatur yang terlalu tinggi. Pendingin minyak menggunakan air sebagai pendingin. air mengalir melalui pipa dan minyak dari penampung dialirkan disebelah luar pipa didalam bejana pendingin hingga turun temperaturnya menjadi 50 sampai 60°C.

#### *Pendinginan*

Yang dimaksud dengan pendinginan pada kompresor adalah usaha untuk menghindarkan kenaikan temperatur yang tinggi pada udara yang dihasilkan maupun sirkulasi oli pada sistem kompresor tersebut. Selama operasi berlangsung panas yang ditimbulkan oleh kompresor dapat mencapai 100°–150° C, oleh sebab itu agar udara yang dihasilkan bisa dipergunakan dan tidak merusak peralatan, maka dipasanglah pendingin yang disebut *after cooler* demikian juga dengan sistem sirkulasi oli yang digunakan dalam pengoperasian kompresor dipasang pendingin yang disebut *oil cooler*, kedua sistem pendingin tersebut harus mampu mendinginkan atau menurunkan temperatur pada batas–batas temperatur yang diijinkan yaitu sesuai spesifikasi dari kompresor maupun kemampuan material pada kondisi pengoperasian yang baik.

Apabila sistem tersebut kurang mampu, maka akan mengakibatkan kerusakan–kerusakan pada peralatan sehingga dapat memperpendek usia dari mesin tersebut. Dengan adanya pendinginan akan menjadikan pelumasan pada *bearing–bearing*, saringan udara (elemen separator) dan *gear–gear* dapat berfungsi dengan baik, karena tanpa pendinginan minyak menjadi panas sehingga *seal–seal* dan *hose–hose* atau saluran minyak menjadi rusak atau bocor, sehingga menyebabkan *gear* cepat rusak aus ataupun *bearing* cepat rusak.

Udara yang dihisap kedalam kompresor sebagian besar terdiri dari oksigen dan nitrogen, serta sedikit mengandung uap air. Nitrogen dan oksigen selalu berbentuk gas pada semua suhu dan tekanan yang terjadi dikompresor, tetapi uap air dapat mengembun bila tekanannya bertambah atau suhu diturunkan.

Air embun ini bila masuk saluran pipa udara tekan dapat menyebabkan kesulitan-kesulitan, antara lain berkaratnya pipa, terjadinya es pada perkakas *pneumatis* dan bila bercampur dengan pelumas pada kompresor *screw* akan menyebabkan pelumas kehilangan fungsinya untuk melumasi karena perubahan fisik pelumas.

Sehubungan dengan itu, uap air harus dipisahkan dari udara tekan yang akan dipergunakan, sehingga udara tersebut menjadi kering .

Pemisahan uap air dari udara tekan dilakukan dengan pendinginan akhir (*aftercooler*) yaitu dengan cara mendinginkan udara tekan didalamnya. Pendinginan akhir dipasang setelah *separator* sebelum udara masuk ke *receiver*. Sebagian besar uap air yang terkandung diudara mengembun didalam pendingin ini. Air pengembun dikumpulkan didalam perangkap air dan kemudian dibuang.

Meskipun pendinginan pada umumnya merupakan kerugian panas bila ditinjau dari segi pemanfaatan energi atau kerugian-kerugian lainnya dari pendinginan, tetapi dengan adanya pendinginan ini adalah merupakan keperluan untuk menjamin temperatur kerja dari mesin sebaik-baiknya dan untuk mencegah menurunnya viskositas minyak pelumas karena panas yang tinggi.

Perubahan temperatur didalam kompresor berlangsung secara cepat, sebab udara dan minyak didalam kompresor bercampur dengan tekanan yang tinggi didalam tangki penampung (*reservoir*), kemudian udara dan minyak dipisahkan oleh saringan atau *filter* pemisah (*element separator*), udara yang bersih dipergunakan dalam proses berikutnya sedangkan minyak bersirkulasi lagi.

Selain itu minyak pelumas juga berfungsi sebagai pelumasan *bearing*, *seal* dan *gear-gear*.

Jadi tujuan utama pendinginan adalah:

- a. Mendinginkan udara hasil produksi kompresor.
- b. Mendinginkan minyak pada sistem sirkulasi.
- c. Memelihara temperatur kerja dari mesin.
- d. Mencegah mencairnya atau mengentalnya minyak pelumas.
- e. Menjaga agar usia mesin bisa mencapai bahkan melebihi dari *life time* (waktu operasi yang ditentukan dari pabrikasi).

Berdasarkan zat pendingin yang dipakai, pendingin dapat dibedakan menjadi dua:

1. Alat pendingin dengan udara

Udara sebagai zat pendingin dialirkan kedalam pendingin dengan bantuan kipas angin atau *fan*. Pendinginan udara mempunyai komponen utama pipa bersirip yang berliku-liku. Udara tekan mengalir melalui bagian dalam pipa, sedang udara pendingin mengalir diluarnya. Kebanyakan pendingin jenis ini dilengkapi dengan kipas angin untuk memperoleh pendinginan yang baik.

2. Alat pendingin dengan air

Air sebagai zat pendingin dipompakan kedalam pendingin. Biasanya air ini setelah keluar dari alat pendingin akan didinginkan lagi untuk dialirkan kembali ke pendingin. Adakalanya, bila tersedia air bersih yang berlimpah, air yang keluar dari alat pendingin langsung dibuang.

Alat pendingin dengan air umumnya berbentuk suatu tabung silindris dengan jajaran pipa-pipa yang terpasang didalamnya. Dengan bentuk demikian, proses perpindahan kalor terjadi melalui jajaran pipa-pipa.

Tepat pada saluran ke luar udara tekan dari alat pendingin harus dipasang pemisah air. Disini udara tekan yang bercampur dengan titik-titik air ditampung sedemikian hingga titik-titik air tersebut jatuh kebawah, sedang udara tetap berada diatas. Air yang ditampung dipemisah air akan dibuang, baik secara otomatis maupun dengan dibuka katup buangnya secara manual.

Alat pendingin dengan air juga digunakan untuk mendinginkan pelumas yang digunakan untuk operasi kompresor atau disebut *oil cooler*. Pelumas setelah dipisahkan dengan udara di *separator* melalui *oil filter* dipompa ke *oil cooler* untuk didinginkan. Setelah itu bersirkulasi kembali ke elemen

kompresor. Bila pendinginan tidak berfungsi baik akan menimbulkan permasalahan, antara lain terjadi oksidasi yang berlebihan pada pelumas yang tidak dapat diatasi oleh *anti-oxidant* dari pelumas. Akibatnya akan terjadi perubahan fisik pada minyak pelumas yaitu peningkatan viskositas kinematis minyak pelumas. Masalah lain yang terjadi jika pendingin tidak berjalan dengan baik adalah viskositas kinematis akan menurun drastis jika temperatur meningkat menyebabkan minyak pelumas kehilangan lapisan *oil film*-nya.

## II.4 Keandalan

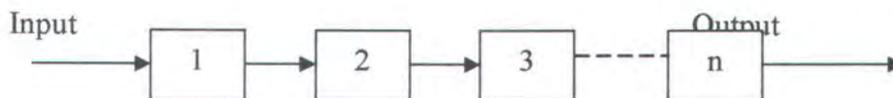
Keandalan (Reliability) didefinisikan sebagai probabilitas komponen, peralatan, mesin atau sistem tetap beroperasi dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan selama periode tertentu dan kondisi tertentu.

Pada bagian ini akan dijelaskan diskripsi kerusakan, fungsi keandalan, laju kerusakan, MTTF (Mean Time To Be Failure) beserta pendugaan parameter keandalan.

### II.4.1 Struktur Keandalan

#### Struktur seri

Struktur seri adalah suatu struktur sistem dimana sistem dikatakan rusak apabila salah satu komponennya rusak dan sistem dikatakan baik apabila semua komponennya dalam kondisi baik. Adapun diagram blok struktur seri adalah sebagai berikut :

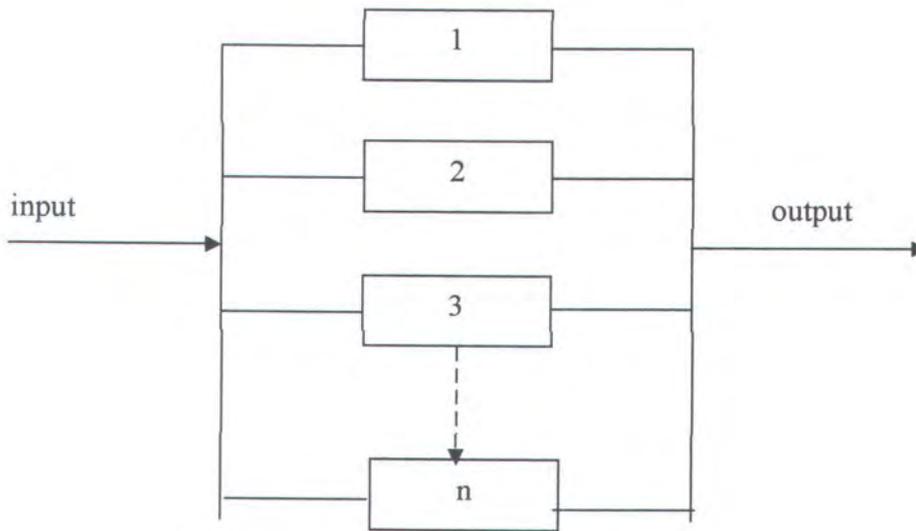


Gambar 2.1 Blok Diagram Seri

#### Struktur Paralel

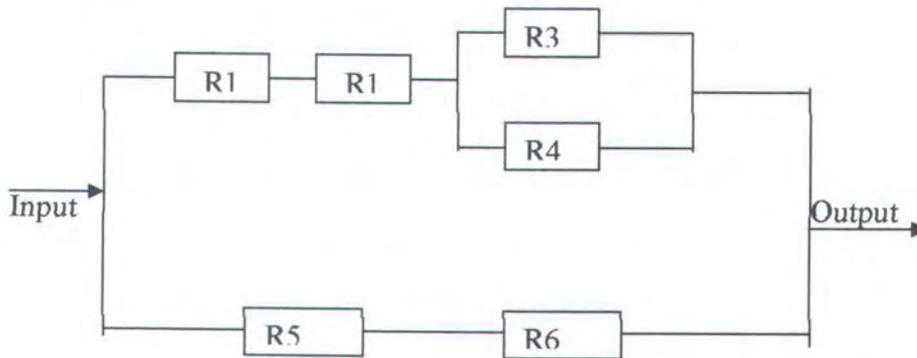
Struktur parallel adalah struktur sistem dimana sistem tersebut masih dapat berfungsi dengan baik apabila paling sedikit satu komponennya berfungsi dan komponen akan rusak apabila semua komponennya rusak.

Diagram blok struktur paralel sebagai berikut



Gambar 2.2 Blok Diagram Paralel

Struktur Gabungan Seri dan Paralel



Gambar 2.3 Blok Diagram Seri-Paralel

#### II.4.2 Diskripsi Kerusakan.

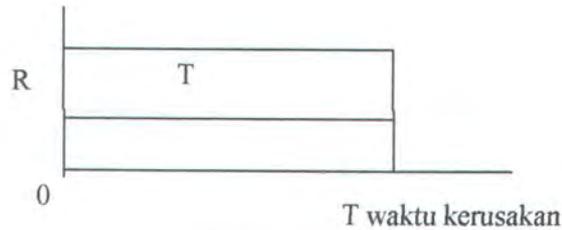
Dalam analisa keandalan, kondisi peralatan yang beroperasi dibedakan dalam dua state, yaitu baik dan rusak. Untuk menyatakan state ini misalkan

X : state dari sistem/peralatan yang merupakan variable random.

X = 1 : menggambarkan bahwa sistem/peralatan dalam kondisi baik.

X = 0 : menggambarkan bahwa sistem dalam kondisi rusak.

State dari keandalan merupakan proses stokastik. Karena merupakan fungsi dari waktu maka  $x(t)$  merupakan proses stokastik.



Gambar 2.4

Dimana :

$T$  : Lama peralatan beroperasi.

$T$  : Masa Pakai.

$R$  : Merupakan Variable Random.

Kerusakan dapat dinyatakan dengan variable random  $T$  atau dapat pula dinyatakan dengan proses stokastik  $x(t)$ . Hubungannya adalah

$$T > t \iff x(t) = 1$$

$$T < t \iff x(t) = 0$$

Sehingga diperoleh :

$$P(x(t) = 1) = P(T > t)$$

$$P(x(t) = 0) = P(T < t)$$

$P(x(t) = 1)$  : menyatakan bahwa peralatan tersebut masih beroperasi pada saat  $t$

$P(x(t) = 0)$  : menyatakan fungsi  $t$ .

#### II.4.3 Mean Time to Failure.

Keandalan suatu sistem seringkali dinyatakan dalam bentuk angka yang menyatakan masa pakai sistem tersebut yang dinotasikan  $E(t)$  dan sering disebut rata-rata waktu kerusakan atau Mean time to failure (MTTF). MTTF hanya digunakan pada saat komponen atau peralatan yang sekali rusak harus diganti dengan komponen baru. Rata-rata waktu kerusakan dirumuskan sebagai berikut :

$$E(T) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

Variabel T selalu positif sehingga :

$$\begin{aligned}
 E(T) &= \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} t \frac{dF(t)}{t} dt \\
 &= \int_0^{\infty} t \cdot dR(t) \\
 &= -t R(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \\
 &= -\lim_{t \rightarrow \infty} t \cdot R(t) + 0 \cdot R(0) + \int_0^{\infty} R(t) dt
 \end{aligned}$$

Karena  $R(\infty)$  adalah 0, sehingga diperoleh :

$$E(T) = \text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

#### II.4.4 Mean Time Between Failure ( MTBF )

Untuk peralatan atau komponen apabila mengalami kerusakan dapat diperbaiki sehingga unjuk kerjanya menjadi lebih baik lagi dari kondisi sebelum adanya perbaikan maka waktu rata-rata antara kerusakan dinyatakan dengan Mean Time Between Failure (MTBF).

MTBF merupakan rasio antara period of time pengamatan dengan jumlah kumulatif failure untuk satu sistem selama working life timenya masih repairable.

#### II.4.5 Mean Time To Repair (MTTR)

MTTR merupakan perbandingan jumlah corrective maintenance atau repair dan replacement time termasuk idle time dalam unit waktu dengan jumlah corrective maintenance atau repair action dalam suatu periode waktu tertentu.

#### II.4.6 Availability ( ketersediaan )

Availability ( ketersediaan ) didefinisikan sebagai proporsi waktu ( probabilitas ) dari suatu sistem, peralatan, komponen untuk menampilkan fungsinya selama waktu tertentu (t) dibawah kondisi operasi tertentu

disamping melakukan kegiatan guna mengembalikan kedalam kondisi yang diharapkan semula. Konsep ini adalah untuk sistem yang dapat diperbaiki ( repairable ) yaitu kondisi rusak sehingga siap beroperasi atau berfungsi kembali, nilai dari availability adalah  $0 \leq A \leq 1$ .

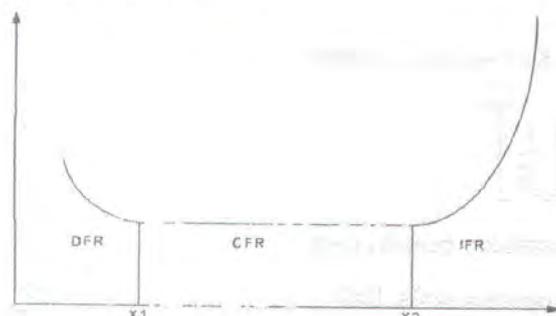
Availability suatu komponen, adalah merupakan probabilitas dari kemampuan komponen tersebut untuk siap melakukan fungsinya dalam suatu periode waktu dan kondisi tertentu.

#### II.4.7 Maintainability (Kemampuan perawatan )

Beberapa komponen atau sistem mampu untuk dilakukan repair setelah nilai reliabilitasnya menyentuh angka failure. Proses ini disebut dengan proses maintenance, sehingga akan menaikkan kembali angka reliabilitasnya menjadi lebih tinggi. Maintainability merupakan probabilitas dari suatu sistem, komponen dapat mempertahankan operasionalnya dalam satu periode waktu setelah maintenance action dilakukan dengan yang ditetapkan.

Konsep dasar Perawatan adalah bahwa Perawatan dapat dikatakan sebagai kombinasi pekerjaan untuk menggantikan, memperbaiki, memodifikasikan komponen, dari suatu proses sehingga menyebabkan alat tersebut dapat berfungsi sampai spesifikasi yang diinginkan untuk waktu tertentu.

#### II.4.8 Kurva BathUp.



Gambar 2.5

Menurut laju kerusakannya, klasifikasi distribusi dapat dibagi menjadi 3 yaitu Decreasing Failure Rate (DFR), constant failure rate (CFR) dan Increasing Failure Rate (IFR) seperti dapat dilihat pada gambar 3.3

Pada periode 0 sampai  $x_1$  (permulaan bekerjanya peralatan) kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu. Kerusakan yang terjadi pada periode ini umumnya disebabkan oleh kesalahan dalam desain atau manufacturing yang kurang sempurna. Adapun solusi untuk permasalahan ini adalah perlu dilakukan Quality Control pada saat manufacturing, penentuan periode waktu pemanasan (burn in).

Pada periode ini dikenal dengan useful life period. Kerusakan yang terjadi pada periode ini umumnya bersifat random dan adanya pengaruh external seperti power surge, fluktuasi temperature dll. Adapun solusi yang diperlukan yaitu melakukan replacement atau melakukan preventive maintenance.

#### **II.5. FAULT TREE ANALYSIS (FTA)**

Merupakan analisis kualitatif untuk menjelaskan dalam bentuk diagram sebab-sebab kerusakan sistem. Fault Tree Analysis dapat juga dikatakan sebagai sebuah analisis teknik, dimana sebuah kondisi yang tidak diinginkan telah ditentukan dan kemudian system tersebut dianalisis dalam konteks lingkungan dan kondisi operasinya untuk menemukan semua kemungkinan cara yang mana *undesired* event dapat terjadi. Dalam analisis fault tree digunakan gerbang-gerbang logika atau simbol-simbol yang masing-masing mempunyai fungsi atau definisi tertentu. Gerbang-gerbang ini menunjukkan hubungan (*relationship*) dari masing-masing kejadian yang diperlukan untuk terjadinya kejadian di atasnya. Kejadian yang terletak di bagian atas adalah output dari gerbang; dan kejadian yang terletak di bagian bawah adalah input dari gerbang. Masing-masing symbol dari *gate* menggambarkan tipe hubungan dari kejadian input yang dibutuhkan untuk kejadian output.

### II.5.1 Analisa Fault Tree

FTA atau *fault tree analysis* adalah teknik yang banyak dipakai untuk studi yang berkaitan dengan resiko dan keandalan dari suatu sistem *engineering*. *Event* potensial yang menyebabkan kegagalan dari suatu sistem *engineering* dan probabilitas terjadinya *event* tersebut dapat ditentukan dengan FTA. Sebuah *TOP event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem (*system failure*), harus ditentukan terlebih dahulu dalam mengkonstruksikan FTA. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan yang didefinisikan pada *TOP event*. FT adalah sebuah model grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) secara paralel dan secara berurutan yang mungkin menyebabkan awal dari *failure event* yang sudah ditetapkan.

Dalam pengkonstruksian sebuah *fault tree* digunakan beberapa simbol dan *gate* standar *fault tree*, yaitu:

-  *BASIC EVENT* – menyatakan kegagalan sebuah peralatan yang tidak memerlukan penelitian lebih lanjut.
-  *CONDITIONING EVENT* – kondisi tertentu atau persyaratan yang digunakan pada semua *logic gate* (digunakan terutama dengan *PRIORITY AND* dan *INHIBIT GATE*)
-  *UNDEVELOPED EVENT* – sebuah *event* yang tidak dikembangkan lebih lanjut disebabkan *event* tersebut tidak terlalu penting atau karena informasi yang tidak tersedia.
-  *EXTERNAL EVENT* – sebuah *event* yang normal terjadi bila terjadi kegagalan.
-  *INTERMEDIATE EVENT* – sebuah *event* yang digunakan sebagai informasi tambahan untuk pengkonstruksian *fault event*.

Sedangkan *gate-gate* yang digunakan dalam pengonstruksian *fault tree* adalah:



*OR GATE* – digunakan untuk menunjukkan bahwa *output event* terjadi kegagalan jika hanya satu atau lebih *input event* terjadi kegagalan.



*AND GATE* – digunakan untuk menunjukkan bahwa kegagalan *output* terjadi jika semua input terjadi kegagalan.



*EXCLUSIVE OR* – *output* mengalami kegagalan jika hanya satu dari *input* mengalami kegagalan.



*PRIORITY AND* – output mengalami kegagalan jika semua *input* mengalami kegagalan dengan sekuen tertentu (sekuen ditunjukkan dengan *CONDITIONING EVENT* digambar disebelah kanan dari *gate*).



*INHIBIT* – output mengalami kegagalan disebabkan oleh suatu *input* (tunggal) dalam kaitannya dengan kondisi tertentu yang mendukung kegagalan *output* (kondisi yang mendukung ditunjukkan dengan *CONDITIONING EVENT* digambar disebelah kanan dari *gate*).

Simbol transfer yang digunakan dalam pengkonstruksian fault tree adalah:



*TRANSFER IN-TRANSFER OUT SYMBOL*



Simbol *transfer out* menunjukkan bahwa *fault tree* dikembangkan lebih lanjut dan berhubungan dengan *transfer in*.

Setelah mengidentifikasi *TOP event*, *event-event* yang memberi kontribusi secara langsung terjadinya *top event* diidentifikasi dan dihubungkan *TOP event* dengan memakai hubungan logika (*logical link*). Gerbang *AND* (*AND gate*) dan sampai dicapai *event* dasar yang independen dan seragam (*mutually independent basic event*).

Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponen-komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *TOP event*. Simbol grafis yang dipakai untuk menyatakan hubungan disebut gerbang logika (*logical gate*). *Output* dari sebuah gerbang logika ditentukan oleh *event* yang masuk ke gerbang tersebut.

## II.5.2 Definisi Problem dan Kondisi Batas

Aktivitas pertama dari *fault tree analysis* terdiri dari dua *step*, yaitu :

- a. Mendefinisikan *critical event* yang akan dianalisa
- b. Mendefinisikan *boundary condition* untuk dianalisa

*Critical event* yang akan dianalisa secara normal disebut dengan *TOP event*. Penting kiranya untuk bahwa *TOP event* harus didefinisikan secara jelas dan tidak kabur (*unambiguous*). Deskripsi dari *TOP event* seharusnya selalu memberikan jawaban terhadap pertanyaan apa (*what*), di mana (*where*), dan kapan (*when*).

What

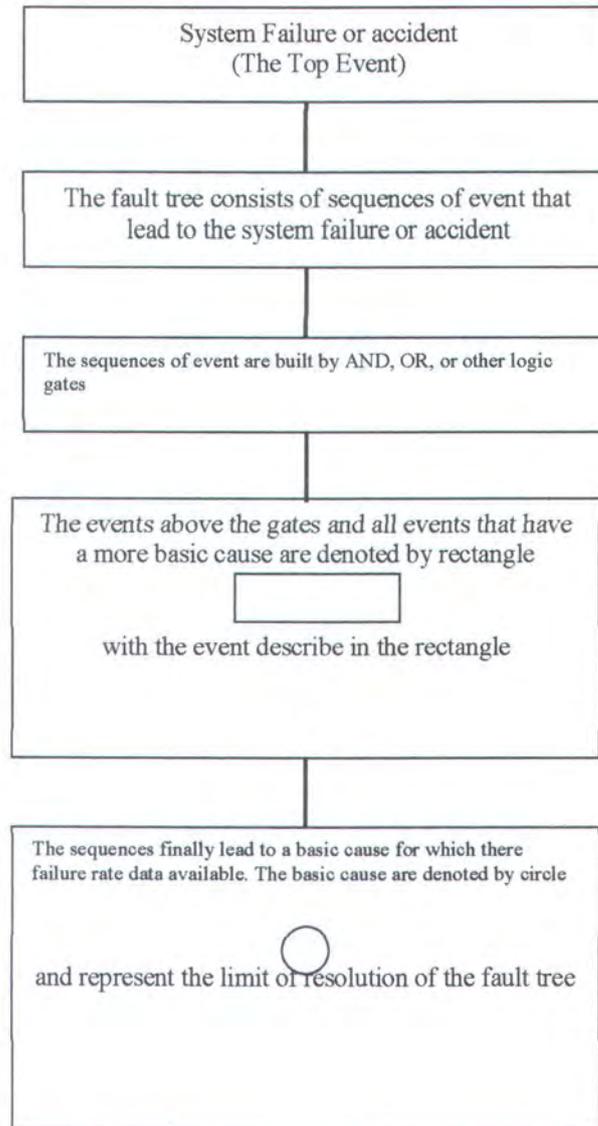
Mendiskripsikan tipe dari *critical event* yang sedang terjadi, sebagai contoh kebakaran (*fire*).

Where

Mendiskripsikan dimana *critical event* terjadi. Sebagai contoh *critical event* terjadi di *process cooling element*.

When

Mendiskripsikan dimana *critical event* terjadi, sebagai contoh *critical event* terjadi pada saat pengoperasian normal.



*Gambar 2.6 Struktur fundamental dari sebuah fault tree.*

Agar analisis dapat dilakukan secara konsisten, adalah hal yang penting bahwa kondisi batas bagi analisa didefinisikan secara hati-hati. Dari kondisi batas, kita akan memiliki berupa pemahaman sebagai berikut :

Batas fisik sistem:

- a. Bagian mana dari sistem yang akan dimasukkan dalam analisa dan bagian mana yang tidak ?
- b. Kondisi awal

- c. Kondisi pengoperasian sistem yang bagaimana pada saat *TOP event* terjadi? Apakah sistem bekerja pada kapasitas yang penuh / sebagian ?
- d. Kondisi batas yang berhubungan dengan *stres eksternal*.
- e. Apa tipe *stres eksternal* yang seharusnya disertakan dalam analisa ?
- f. Level dari resolusi
- g. Seberapa detail kita akan mengidentifikasi berbagai alasan potensial yang menyebabkan kegagalan ?

### II.5.3. Pengkontruksian *Fault Tree*

Pengkontruksian *fault tree* selalu bermula dari *TOP event*. Oleh karena itu, berbagai *fault event* yang secara langsung, penting, dan berbagai penyebab terjadinya *TOP event* harus secara teliti diidentifikasi. Berbagai penyebab ini dikoneksikan ke *TOP event* oleh sebuah gerbang logika. Penting kiranya bahwa penyebab level pertama dibawah *TOP event* harus disusun secara terstruktur. Level pertama ini sering disebut dengan *TOP structure* dari sebuah *fault tree*. *TOP structure* ini sering diambil dari kegagalan modul-modul utama sistem, atau fungsi utama sistem. Analisa dilanjutkan level demi level sampai semua *fault event* telah dikembangkan sampai pada resolusi yang ditentukan. Analisa ini merupakan analisa deduktif dan dilakukan dengan mengulang pertanyaan “Apa alasan terjadinya *event* ini ?”.

Ada beberapa aturan yang harus dipenuhi dalam mengkontruksi sebuah *fault tree*. Berikut ini beberapa aturan yang dipakai untuk mengkonstruksi sebuah *fault tree*.

#### 1. Diskripsikan *fault event*.

Masing-masing *basic event* harus didefinisikan secara teliti (apa, dimana, kapan) dalam sebuah kotak.

#### 2. Evaluasi *fault event*.

Kegagalan komponen dikelompokkan dalam tiga kelompok yaitu, *primary failures*, *secondary failures*, dan *command faults*.

Sebuah *normal basic event* di dalam sebuah *fault tree* merupakan sebuah *primary failures* yang menunjukkan bahwa komponen merupakan penyebab dari kegagalan. *Secondary failures* dan *command faults* merupakan *intemediate*

*event* yang membutuhkan investigasi lebih mendalam untuk mengidentifikasi alasan utama.

Pada saat mengevaluasi sebuah *fault event*, seorang analis akan bertanya, “Dapatkah *fault* ini dikategorikan dalam *primary failure*?” Jika jawabannya YA, maka analis tersebut dapat mengklasifikasikan *fault event* sebagai *normal basic event*. Jika jawabannya TIDAK, maka analis tersebut mengklasifikasikan *fault event* sebagai *intermediate event*, yang harus di-*develop* lebih jauh, atau sebagai *secondary basic event*. *Secondary basic event* sering disebut dengan *undeveloped event* dan menunjukkan sebuah *fault event* yang tidak dikaji lebih jauh karena informasinya tidak tersedia atau karena dampak yang ditimbulkan tidak signifikan.

### 3. Lengkapi semua gerbang logika.

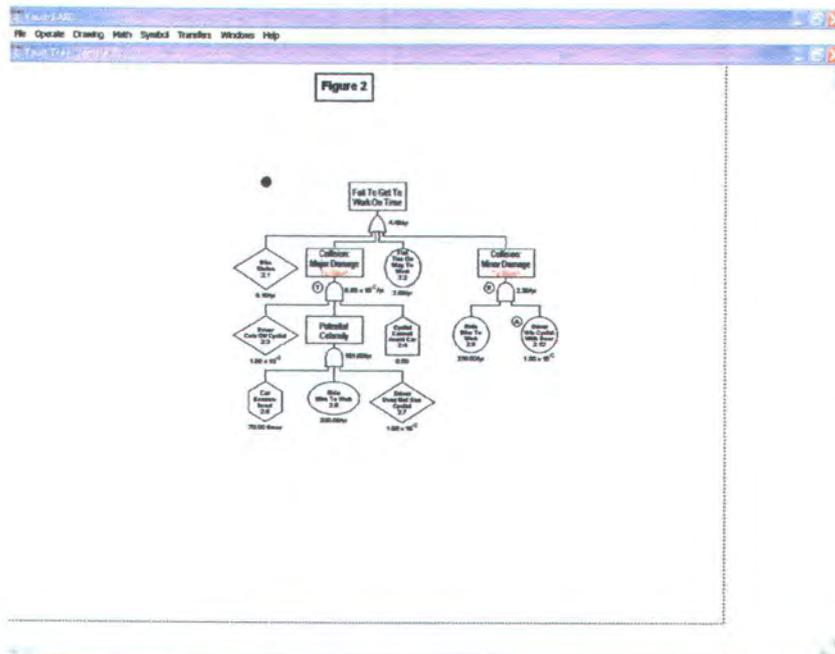
Semua input ke *gate* tertentu harus didefinisikan dengan lengkap dan didiskripsikan sebelum memproses *gate* lainnya. *Fault tree* harus diselesaikan pada masing-masing *level* sebelum memulai *level* berikutnya.

## II.6 penggunaan software FAULTREASE

Dalam evaluasi kualitatif dan kuantitatif Fault Tree ini akan digunakan software *FAULTREASE*. Software ini sangat membantu sekali dalam proses pengkonstruksian FaultTree dan untuk mengidentifikasi kegagalan yang terjadi pada sistem bongkar muat pelabuhan semen curah. Selain itu juga dapat untuk digunakan menghitung probabilitas kegagalan yang akan digunakan untuk menentukan atau mengidentifikasi penyebab utama kegagalan dan penentuan *critical equipment* pada sistem.

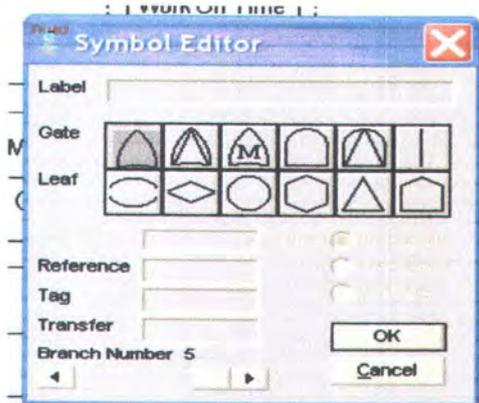
Berikut ini langkah-langkah untuk pengkonstruksian *Fault Tree* dan penghitungan probabilitas kegagalan dari sistem dan setiap komponen sistem dan subsistem yaitu:

1. Membuka software dalam komputer
2. Memulai pengkonstruksian *Fault Tree* dengan menentukan Top even terlebih dahulu dalam hal ini adalah operasi bongkar muat yang gagal. Berikut bentuk Screen-nya:



Gambar 2.7 Screen FaultTREASE.

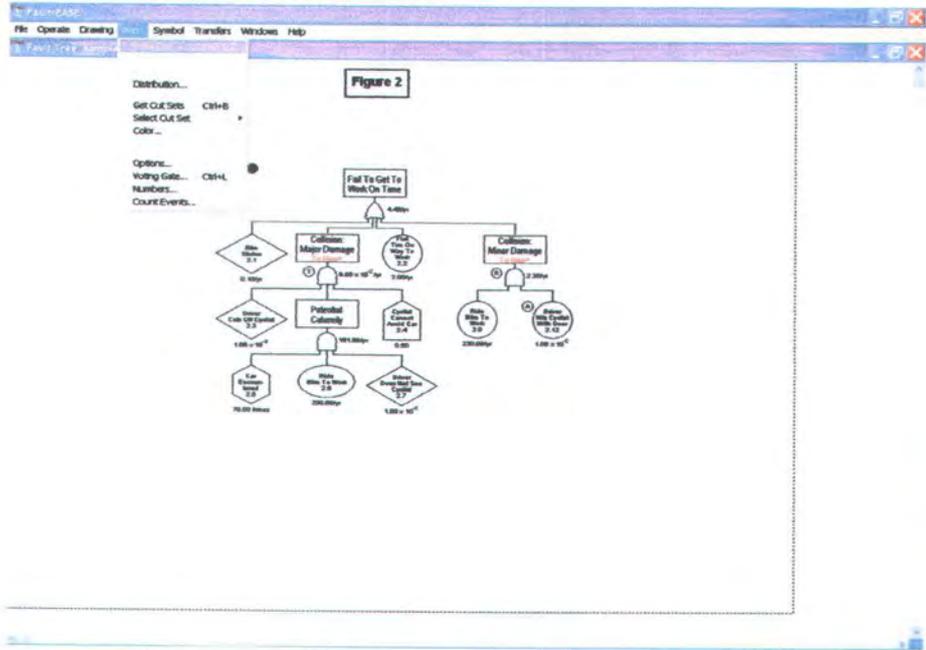
3. Kemudian tekan icon top even pada layar kemudian tekan *icon operate* dan tekan pada menu **“add branch”**
4. Setelah icon **“add branch”** kemudian muncul menu semua bentuk konstruksi *Fault Tree* dan type *gate*. Memilih konstruksi *Fault Tree* sesuai dengan kondisi operating konteks dan mode kegagalan pada sistem.
5. Setelah konstruksi *Fault Tree* selesai maka langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai probabilitas pada masing-masing basic even.
6. Langkah memasukkan nilai probabilitas adalah pertama tekan pada screen icon konstruksi *Fault Tree* kemudian akan muncul menu:



Gambar 2.8 Screen FaultTREASE.

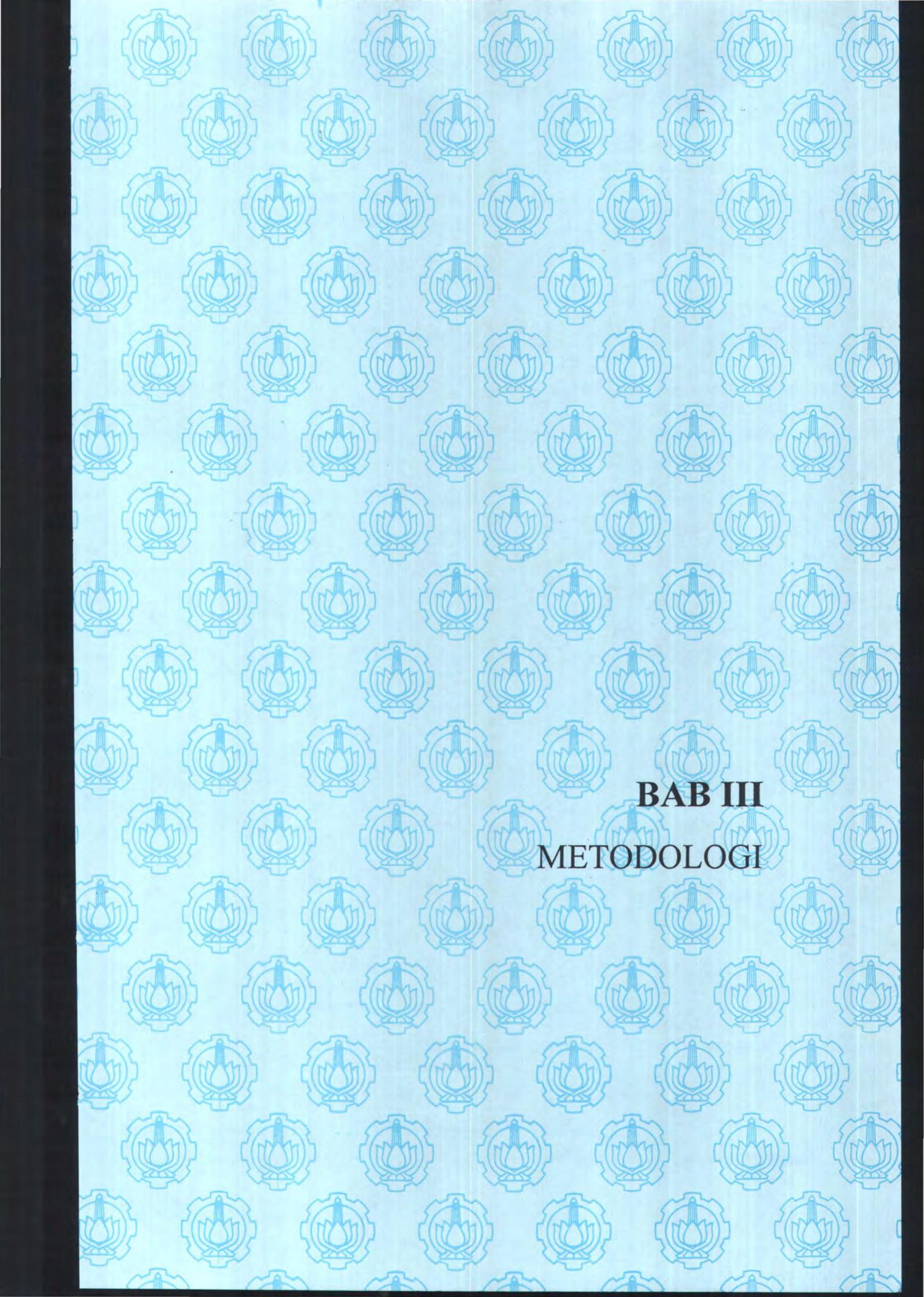
masukkan nilai probabilitas pada *Reference* dan *tag* untuk memasukkan kode jenis *gate*.

7. Untuk menghitung nilai probabilitas pada level di atasnya maka tekan icon konstruksi *Fault Tree* pada screen kemudian tekan pada main menu "*MATH*" kemudian akan muncul menu dan dalam menu tersebut tekan menu *Compute* maka komputer akan secara otomatis menghitung berapa nilai probabilitas pada konstruksi yang telah ditunjuk. Dan dengan cara yang sama begitu seterusnya sampai pada *top even*.



Gambar 2.9 Screen FaultTREASE.





**BAB III**  
**METODOLOGI**

## BAB III METODOLOGI

### III.1 Umum

Metodologi merupakan suatu kerangka dasar yang digunakan sebagai acuan untuk menyelesaikan permasalahan yang akan dipecahkan atau dianalisa. Metodologi penulisan ini mencakup semua tindakan ataupun langkah-langkah yang akan dilakukan untuk penulisan tugas akhir.

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk memprediksi penyebab kegagalan dari kompresor *screw* di Pelabuhan PT. Semen Gresik. Dalam memprediksi penyebab kegagalan ini digunakan analisa keandalan. Dimana analisa keandalan yang digunakan yaitu analisa *kualitatif*. Analisa secara *kualitatif* dalam penganalisaan keandalan sistem menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA) dan sebagai identifikasi terhadap kegagalan yang terjadi. Tahap-tahap yang digunakan untuk memprediksi penyebab kegagalan kompresor dapat dilihat pada gambar 3.1 .

### III.2 Studi Literatur

Studi Literatur ini bertujuan untuk mengetahui teori yang digunakan dalam melakukan analisa dari permasalahan yang telah teridentifikasi. Dalam studi literatur ini ada beberapa hal yang akan dipelajari, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. General Arrangement dari Sistem bongkar muat pelabuhan curah tersebut yang meliputi: definisi, prinsip kerja sistem dan subsistem, prinsip kerja komponen komponen dalam sistem dan bentuk operating konteks pada sistem bongkar muat pelabuhan semen curah tersebut.
2. Teori tentang identifikasi kegagala dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* FTA dan apa saja yang bisa didapatkan dengan penggunaan metode tersebut.
3. Berbagai teori tentang software yang digunakan dalam pengkonstruksian dan proses dalam melaksanakan identifikasi kegagalan dengan fault tree yaitu "FAULTREASE".

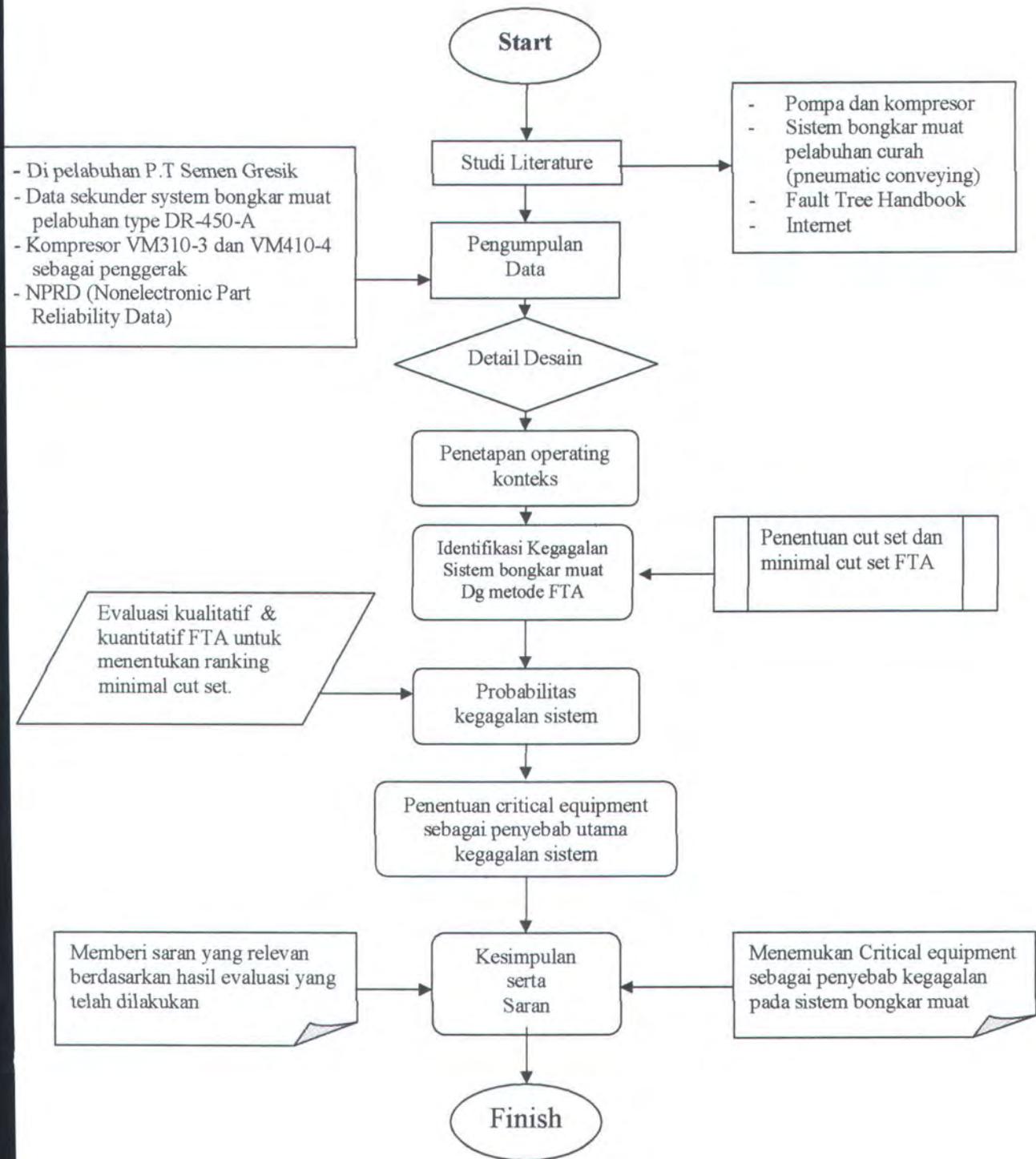
4. Teori tentang bagaimana menentukan critical event dari fault tree dengan berbagai macam pendekatan dan algoritma.

### III.3 Pengumpulan Data

Berbagai data yang diperlukan diambil dari PT. Semen Gresik Tbk, meliputi:

1. General Arrangement sistem bongkar muat pelabuhan semen curah
2. Semua *data sheet* / data skunder equipmen dan komponen dalam sistem bongkar muat tersebut
3. Untuk data frekwensi kegagalan menggunakan data kegagalan komponen unloading unit pertahun dan sebagian komponen yang belum pernah trjadi kerusakan akan menggunakan data NPRD (*Nonelectronic Parts Reliability Data*).

Melaksanakan survey ke pelabuhan P.T Semen Gresik, melihat kondisi kompresor dan marcinery system yang digunakan untuk bongkar muat semen curah. Dalam melakukan analisa kegagalan dengan analisa keandalan tidak terlepas akan tersedianya data yang akan diolah. Tujuan pengumpulan data yaitu agar kita dapat memprediksi kegagalan dari kompresor. Data yang diperlukan yaitu data spesifikasi kompresor, dan marcinery sistem bongkar muat pelabuhan tersebut. Data-data tersebut akan digunakan untuk penganalisaan secara kualitatif dengan metode FTA. Data laporan operasional kompresor yang didapat berasal dari Seksi Packer PT. Semen Gresik, data spesifikasi-spesifikasi diambil dari *manual book compressor VM410-4 dan VM310-3*, dan data laporan operasional sistem bongkar muat curah semen tersebut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

### III.4 Detail desain

Detail desain sistem dan subsistem bongkar muat pelabuhan curah dijabarkan dan dijelaskan dengan menggambarkan alur dan prinsip kerja dari sistem, subsistem, sampai dengan komponen sehingga dapat dengan mudah untuk membuat konstruksi fault tree-nya jika operasional dan prinsip kerjanya telah jelas.

### III.5 Penetapan operating konteks

Penetapan operating konteks ini adalah merinci kondisi operasi sistem dan subsistem untuk langkah awal pengidentifikasian bentuk – bentuk kegagalan dengan menggunakan konstruksi *Fault Tree*.

### III.6 Analisa Data

#### III.1 Fault Tree Analysis

FTA atau *fault tree analysis* adalah teknik yang banyak dipakai untuk studi yang berkaitan dengan resiko dan keandalan dari suatu sistem *engineering*. *Event* potensial yang menyebabkan kegagalan dari suatu sistem *engineering* dan probabilitas terjadinya *event* tersebut dapat ditentukan dengan FTA. Sebuah *TOP event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem (*system failure*), harus ditentukan terlebih dahulu dalam mengkonstruksikan FTA. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan yang didefinisikan pada *TOP event*. FT adalah sebuah model grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) secara paralel dan secara berurutan yang mungkin menyebabkan awal dari *failure event* yang sudah ditetapkan.

#### III.2 Pengkontruksian *Fault Tree*

Pengkontruksian *fault tree* selalu bermula dari *TOP event*. Oleh karena itu, berbagai *fault event* yang secara langsung, penting, dan berbagai penyebab terjadinya *TOP event* harus secara teliti diidentifikasi. Berbagai penyebab ini dikoneksikan ke *TOP event* oleh sebuah gerbang logika. Penting kiranya bahwa penyebab level pertama dibawah *TOP event* harus disusun secara terstruktur. Level pertama ini sering disebut dengan *TOP structure* dari sebuah *fault tree*. *TOP structure* ini sering diambil dari kegagalan modul-modul utama sistem, atau fungsi utama sistem. Analisa dilanjutkan level demi level sampai semua *fault event* telah dikembangkan sampai pada resolusi yang ditentukan. Analisa ini

merupakan analisa deduktif dan dilakukan dengan mengulang pertanyaan “Apa alasan terjadinya *event* ini ?”.

Ada beberapa aturan yang harus dipenuhi dalam mengkontruksi sebuah *fault tree*. Berikut ini beberapa aturan yang dipakai untuk mengkonstruksi sebuah *fault tree*.

1. Diskripsikan *fault event*.

Masing-masing *basic event* harus didefinisikan secara teliti (apa, dimana, kapan) dalam sebuah kotak.

2. Evaluasi *fault event*.

Kegagalan komponen dikelompokkan dalam tiga kelompok yaitu, *primary failures*, *secondary failures*, dan *command faults*.

Sebuah *normal basic event* di dalam sebuah *fault tree* merupakan sebuah *primary failures* yang menunjukkan bahwa komponen merupakan penyebab dari kegagalan. *Secondary failures* dan *command faults* merupakan *intemediate event* yang membutuhkan investigasi lebih mendalam untuk mengidentifikasi alasan utama.

Pada saat mengevaluasi sebuah *fault event*, seorang analis akan bertanya, “Dapatkah *fault* ini dikategorikan dalam *primary failure*?” Jika jawabannya YA, maka analis tersebut dapat mengklasifikasikan *fault event* sebagai *normal basic event*. Jika jawabannya TIDAK, maka analis tersebut mengklasifikasikan *fault event* sebagai *intermediate event*, yang harus di-*develop* lebih jauh, atau sebagai *secondary basic event*. *Secondary basic event* sering disebut dengan *undeveloped event* dan menunjukkan sebuah *fault event* yang tidak dikaji lebih jauh karena informasinya tidak tersedia atau karena dampak yang ditimbulkan tidak signifikan.

3. Lengkapi semua gerbang logika.

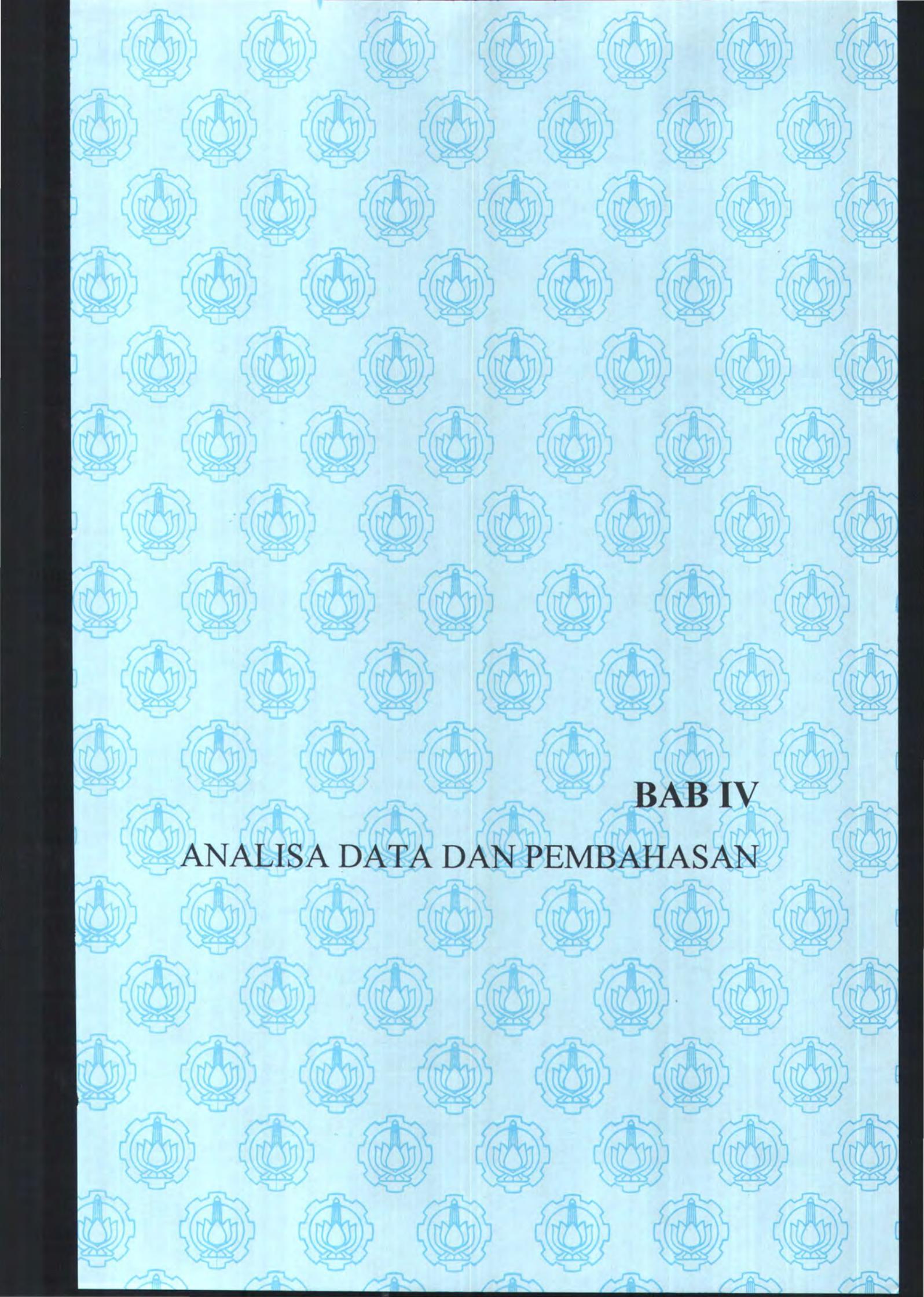
Semua input ke *gate* tertentu harus didefinisikan dengan lengkap dan didiskripsikan sebelum memproses *gate* lainnya. *Fault tree* harus diselesaikan pada masing-masing *level* sebelum memulai *level* berikutnya.

### **III.7 Hasil Prediksi Kegagalan**

Pada tahap ini diambil suatu hasil prediksi kegagalan sistem dari hasil *analisa kualitatif* dan *kuantitatif* dengan menggunakan minimal cut set dan cut set yang telah dihasilkan dari fault tree. Dengan mengetahui tingkatan cut set tersebut kita dapat menentukan *critical equipment* yang menjadi penyebab utama kegagalan pada sistem bongkar muat pelabuhan curah di P.T Semen Gresik tersebut. Adapun hasil prediksi kegagalan tersebut adalah komponen-komponen penyebab kegagalan, yang di-*cross check* dengan keadaan dilapangan dan desain sistem.

### **III.8. Kesimpulan dan Saran**

Pada tahapan ini akan diambil suatu langkah penyimpulan dengan menggunakan acuan rekomendasi dari langkah yang telah dilakukan dalam bab-bab sebelumnya untuk prediksi penyebab kegagalan pada sistem bongkar muat pelabuhan di PT. Semen Gresik.



**BAB IV**  
**ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### VI.1 Umum

Sistem pendingin Kompresor MV410-4 dan MV310-3 dan *penumatis system* pada Sistem Bongkar Muat Pelabuhan Semen Curah merupakan sistem vital yang sangat berpengaruh terhadap efektifitas proses bongkar muat dipelabuhan tersebut, dengan berbagai peralatan dan komponen yang ada dan saling berpengaruh terhadap kinerja sistem pendingin. Kegagalan dan kerusakan komponen tersebut mengandung potensi bahaya di area sistem pendingin Kompresor MV410-4 dan MV310-3 dan *penumatis system* pada Sistem Bongkar Muat Pelabuhan Semen Curah yang dapat memberikan dampak yang signifikan baik terhadap manusia maupun aset perusahaan seperti proses bongkar muat yang sering tertunda karena sistem pendingin yang gagal dan pompa air pendingin yang sering rusak karena korosi air laut.

Studi evaluasi kegagalan ini menggunakan data skunder dari komponen sistem bongkar muat pelabuhan semen curah. Dengan data skunder komponen pada sistem bongkar muat pelabuhan curah yang telah diperoleh maka akan dilakukan identifikasi kegagalan dengan menggunakan metode analisa *fault tree* yang akan menghasilkan bentuk *top-down approach* dari kegagalan yang dapat terjadi pada sistem bongkar muat pelabuhan semen curah tersebut. Selanjutnya dilakukan penentuan minimal *cut set* untuk mendapatkan minimal *basic event* pada komponen system yang mengarah terjadinya *top event*, sedangkan analisa untuk mendapatkan tingkatan *likelihood* dan *Consequence* dilakukan secara kualitatif dengan mengacu pada kriteria dari perusahaan. Tingkatan *Likelihood* merupakan tingkatan keseringan terjadinya kegagalan komponen, sedangkan Tingkatan *consequence* merupakan tingkatan besarnya biaya yang harus ditanggung perusahaan jika terjadi kegagalan komponen tersebut. Hasil penentuan tingkatan *likelihood* dan *consequence* akan digunakan untuk penentuan jenis kegagalan yang terjadi yang dapat menyebabkan sistem bongkar muat pelabuhan curah tersebut gagal beroperasi sehingga menghasilkan tingkatan kegagalan pada masing-masing komponen dalam



Sedangkan pada kondisi operasi abnormal, maka operating konteks system pendingin Kompresor MV410-4 dan MV310-3 adalah:

1. Pada saat tekanan air pendingin kurang dari 2 bar maka pendinginan tidak optimal dan temperatur outlet kompresor dan pelumas terus naik dan beberapa saat kemudian sistem bongkar muat akan shut down.
2. Pada saat kapasitas *Cooling water requirement* kurang dari  $0.15 \sim 0.3 \text{ m}^3/\text{h}$  maka pendinginan juga tidak akan optimal karena proses perpindahan panas yang terjadi tidak seimbang dengan kapasitas media pendingin yang mengalir dalam pipa *Shell and Tube*.
3. Sistem Bongkar muat dapat dioperasikan dengan ketentuan bahwa semua operating konteks diatas terpenuhi jika salah satu saja mengalami kegagalan atau kegagalan dalam *requirement* maka sistem pun tidak bisa dijalankan.

Sesuai dengan pengamatan dilapangan media pendinginan didapatkan dengan mengambil air laut. Didaerah dermaga kedalaman air lautnya sangat dangkal.. dan banyak mengandung pasir dan lumpur juga kotoran dan sampah. Jika air laut pasang kedalaman mencapai sekitar <2.5m dan jika pada saat air laut surut maka kedalaman air laut mencapai <1m.

#### **IV.2.2 Pneumatis System**

Operating konteks *pneumatis system* adalah sebagai berikut :

1. Auxiliary kompresor requirement:
  - *Air inlet temperature*  $\leq 45^{\circ} C$
  - *Outlet pressure*  $7 \text{ Bar}$
  - *AC consumption*  $75KW$

#### **IV.3 Ketentuan Identifikasi Kegagalan Dengan Metode Fault Tree Analysis**

Analisa kualitatif sering digunakan untuk menganalisa keandalan suatu sistem berdasarkan analisa kegagalan komponen atau sistem. Analisa kualitatif merupakan analisa alternatif jika pada situasi tertentu data yang diperlukan untuk analisa

kuantitatif tidak memadai atau mungkin tidak ada. Sebagian kita dapat melakukan penilaian keandalan berdasarkan data kualitatif serta pengalaman yang sudah ada. Dalam analisa kualitatif salah satu metode yang digunakan adalah FTA.

Pengidentifikasian bentuk-bentuk kegagalan dapat dilihat pada pengkonstruksian FTA. Yang akan diuraikan pada halaman berikutnya secara lengkap dan terperinci. Dari sini akan dapat diidentifikasi penyebab kegagalan komponen dengan menggunakan FTA (*fault tree analysis*), efek kegagalan kompresor terhadap system bongkar muat pelabuhan curah tersebut. Juga indikasi yang diperlukan dan faktor-faktor lain yang dapat dijadikan acuan untuk menarik kesimpulan dalam penyebab kegagalan yang terjadi.

Identifikasi Kegagalan terhadap desain dari system pendingin kompresor MV410-4 dan 310-3 dengan daya masing-masing 400KW dan 250KW pada Sistem bongkar muat pelabuhan curah di P.T Semen Gresik dilakukan dengan metode analisa fault tree. Titik awal dari analisa ini adalah pengidentifikasikan mode kegagalan fungsional pada top level dari sistem bongkar muat pelabuhan curah di P.T Semen Gresik. Sebuah *top event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem (*system failure*), akan ditentukan terlebih dahulu dalam mengkonstruksikan fault tree. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan kegagalan yang mengarah terjadinya top event.

Dalam konstruksi fault tree pada sistem bongkar muat pelabuhan curah di P.T Semen Gresik langkah pertama adalah mendeskripsikan fault event, kemudian mengelompokannya dalam beberapa tingkatan kerugian seperti *primary failure*, *secondary failure* dan *command failure*. Untuk mengetahui bentuk kegagalan dari system terlebih dahulu akan diuraikan prinsip kerja dari system untuk mempermudah proses identifikasi fault event.

#### **IV.3.1 Sistem Bongkar Muat Pelabuhan Curah Semen Di P.T Semen Gresik**

Sistem bongkar muat pelabuhan curah di P.T Semen Gresik memiliki 2 subsistem yaitu sistem pendingin dan sistem penumatis. Adapun proses kerja dari kedua sub system tersebut adalah sebagai berikut :

#### IV.3.1 Sub System Pendingin kompresor VM410-4 dan VM310-3

Yang dimaksud dengan pendinginan pada kompresor adalah usaha untuk menghindari kenaikan temperatur yang tinggi pada udara yang dihasilkan maupun sirkulasi oli pada sistem kompresor tersebut. Selama operasi berlangsung panas yang ditimbulkan oleh kompresor dapat mencapai  $100^{\circ}$ – $150^{\circ}$  C, oleh sebab itu agar udara yang dihasilkan bisa dipergunakan dan tidak merusak peralatan, maka dipasanglah pendingin yang disebut *after cooler* demikian juga dengan sistem sirkulasi oli yang digunakan dalam pengoperasian kompresor dipasang pendingin yang disebut *oil cooler*, kedua sistem pendingin tersebut harus mampu mendinginkan atau menurunkan temperatur pada batas–batas temperatur yang diijinkan yaitu sesuai spesifikasi dari kompresor maupun kemampuan material pada kondisi pengoperasian yang baik.

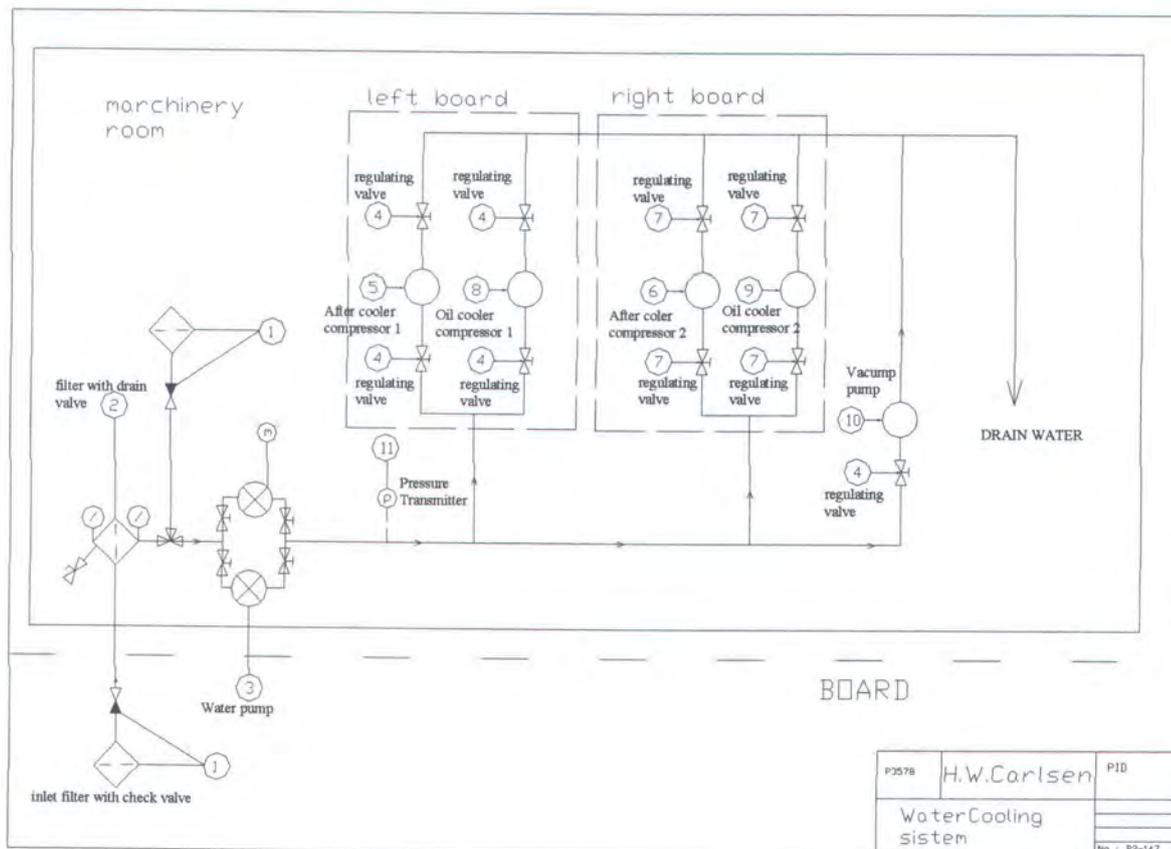
Apabila sistem tersebut kurang mampu, maka akan mengakibatkan kerusakan–kerusakan pada peralatan sehingga dapat memperpendek usia dari mesin tersebut. Dengan adanya pendinginan akan menjadikan pelumasan pada *bearing–bearing*, saringan udara (elemen separator) dan *gear–gear* dapat berfungsi dengan baik, karena tanpa pendinginan minyak menjadi panas sehingga *seal–seal* dan *hose–hose* atau saluran minyak menjadi rusak atau bocor, sehingga menyebabkan *gear* cepat rusak aus ataupun *bearing* cepat rusak.

Udara yang dihisap kedalam kompresor sebagian besar terdiri dari oksigen dan nitrogen, serta sedikit mengandung uap air. Nitrogen dan oksigen selalu berbentuk gas pada semua suhu dan tekanan yang terjadi dikompresor, tetapi uap air dapat mengembun bila tekanannya bertambah atau suhu diturunkan.

Air embun ini bila masuk saluran pipa udara tekan dapat menyebabkan kesulitan–kesulitan, antara lain berkaratnya pipa, terjadinya es pada perkakas *pneumatis* dan bila bercampur dengan pelumas pada kompresor *screw* akan menyebabkan pelumas kehilangan fungsinya untuk melumasi karena perubahan fisik pelumas.

Sehubungan dengan itu, uap air harus dipisahkan dari udara tekan yang akan dipergunakan, sehingga udara tersebut menjadi kering. Pemisahan uap air dari udara tekan dilakukan dengan pendinginan akhir (*aftercooler*) yaitu dengan cara mendinginkan udara tekan didalamnya. Pendinginan akhir dipasang setelah *separator* sebelum udara masuk ke *receiver*. Sebagian besar uap air yang terkandung diudara mengembun didalam pendingin ini. Air pengembun dikumpulkan didalam perangkap air dan kemudian dibuang.

Proses kerja dari sub system pendingin kompresor VM410-4 dan VM310-3 dapat dilihat pada Gb 3.1, diawali dari masuknya air laut sebagai media pendingin ke dalam sistem perpipaan *Shell and Tube* dengan menggunakan jenis pompa sentrifugal dengan tekanan kerja sampai 2 bar.



Gb 4.1 System Pendingin kompresor VM410-4 dan VM310-3

Air sebagai zat pendingin dipompakan ke dalam pendingin. Biasanya air ini setelah keluar dari *Cooler element* akan didinginkan lagi untuk dialirkan kembali ke pendingin. Adakalanya, bila tersedia air bersih yang berlimpah, air yang keluar dari alat pendingin langsung dibuang.

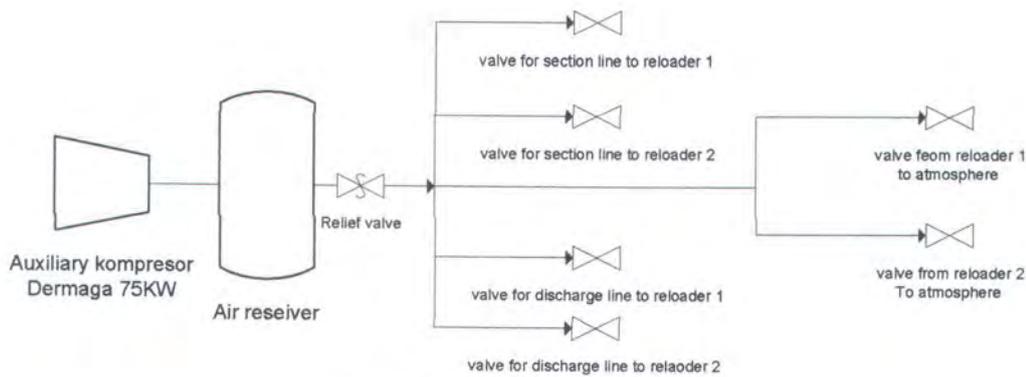
Alat pendingin dengan air umumnya berbentuk suatu tabung silindris dengan jajaran pipa-pipa yang terpasang didalamnya. Dengan bentuk demikian, proses perpindahan kalor terjadi melalui jajaran pipa-pipa.

Tepat pada saluran ke luar udara tekan dari alat pendingin harus dipasang pemisah air. Disini udara tekan yang bercampur dengan titik-titik air ditampung sedemikian hingga titik-titik air tersebut jatuh kebawah, sedang udara tetap berada diatas. Air yang ditampung dipemisah air akan dibuang, baik secara otomatis maupun dengan dibuka katup buangnya secara manual.

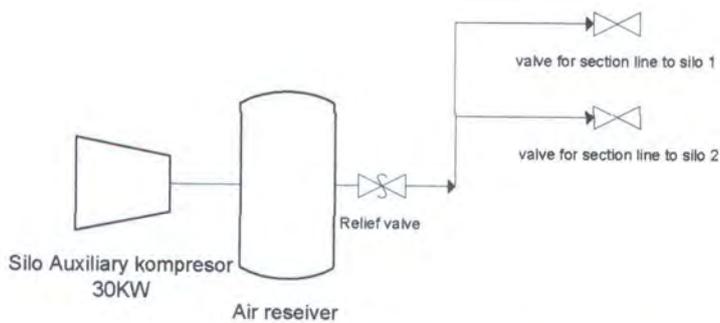
Alat pendingin dengan air juga digunakan untuk mendinginkan pelumas yang digunakan untuk operasi kompresor atau disebut *oil cooler*. Pelumas setelah dipisahkan dengan udara di *separator* melalui *oil filter* dipompa ke *oil cooler* untuk didinginkan. Setelah itu bersirkulasi kembali ke elemen kompresor. Bila pendinginan tidak berfungsi baik akan menimbulkan permasalahan.

#### **IV.3.2 Sub System Penumatis**

Sistem penumatis disini adalah untuk pengoperasian *Automatic Valve* seperti *section valve* , *discharge valve* pada reloader dan pada *storage* (silo). Operasi penumatis ini menggunakan auxiliary kompresor sehingga apabila subsistem ini gagal maka operasi bongkar muat akan gagal pula. Lihat gambar 3.2 dan 3.3 :



Gambar 4.2 sub sistem penumatis



Gambar 4.3 sub sistem penumatis

Dari gambar diatas dapat dijelaskan bahwa auxiliary kompresor merupakan penggerak utama dalam subsistem ini dan jika auxiliary kompresor mengalami kegagalan maka proses bongkar muat akan gagal pula karena semua aliran semen curah dalam sistem penumatis conveying akan terhalang oleh semua katub yang tertutup atau tidak bisa terbuka baik secara keseluruhan atau sebagian. Prosesnya adalah setelah udara dimampatkan oleh *auxiliary kimpresor* kedalam *air reseiver* sampai memenuhi tekanan kerja maka akan langsung didistribusikan ke semua katub untuk opsai buka – tutup katub dan sebelum didistribusikan ke semua katub terlebih dahulu dilewatkan melalui *relief valve* guna mencegah semua *valve* mengalami tekanan yang berlebih sehingga dapat mengakibatkan semua *solenoid valve* tersebut rusak.

#### IV.4 Component Importance

Tingkat kepentingan dari suatu komponen bergantung pada dua factor berikut ini :

- Lokasi komponen dalam sistem
- Keandalan komponen

Sejumlah cara pengukuran indeks kepentingan komponen yang berbeda telah didefinisikan, diantaranya adalah metode Birnbaum, *criticality importance*, *vesely-fussel*, dan *improvement potential*.

##### IV.4.1 Birnbaum Measure

Pengukuran Birnbaum mengatakan bahwa dalam sebuah susunan seri maka komponen yang memiliki indeks keandalan terendah adalah komponen yang penting.

Pengukuran Birnbaum dirumuskan sebagai berikut :

$$I^B(i/t) = \frac{\partial h(p(t))}{\partial p_i(t)} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.24)$$

Dengan menggunakan notasi Fault Tree menjadi :

$$q_i(t) = 1 - p_i(t) \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.25)$$

$$Q_o(t) = 1 - h(p(t)) \quad (2.26)$$

Sehingga persamaan diatas dapat ditulis :

$$I^B(i/t) = \frac{\partial Q_o(t)}{\partial q_i(t)} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.27)$$

##### IV.4.2 Criticality Importance

Dirumuskan sebagai berikut :

$$I^{CR}(i/t) = P(C(i, X(t)) \cap (X_i(t) = 0 / \phi(X(t)) = 0) \quad (2.28)$$

$$\text{Ketika } C(i, X(t)) \cap (X(t) = 0 \text{ dan } \phi(X(t)) = 0 \text{ maka :} \quad (2.29)$$

$$I^{CR}(i/t) = \frac{P(C(i, X(t)) \cap (X_i(t) = 0))}{P(\phi(X(t)) = 0)} \text{ dan} \quad (2.30)$$

$$I^{CR}(i/t) = \frac{IB(i/t) \cdot (1 - p_i(t))}{1 - h(p(t))} \quad (2.31)$$

Dengan menggunakan notasi Fault Tree akan didapat :

$$I^{CR}(i/t) = \frac{IB(i/t) \cdot (q_i(t))}{Q_0(t)} \quad (2.32)$$

Sehingga untuk susunan seri pada waktu t didapat :

$$I^{CR}(1/t) = \frac{IB(1/t) \cdot (1 - p_1)}{1 - p_1 p_2} = 0,3243 \quad (2.33)$$

$$I^{CR}(2/t) = \frac{IB(2/t) \cdot (1 - p_2)}{1 - p_1 p_2} = 0,6622 \text{ dimana} \quad (2.34)$$

$$I^{CR}(1/t) < I^{CR}(2/t)$$

#### IV.4.3 Pengukuran VESELY-FUSSELL'S

Pengukuran Vesely-Fussell adalah kemungkinan bahwa paling tidak satu minimal cut yang mengandung komponen i gagal pada waktu t maka sistem gagal pada waktu t. Atau suatu minimal cut dinyatakan gagal apabila semua komponen dalam minimal cut tersebut gagal. Pengukuran ini memperhitungkan komponen dapat berperan dalam kegagalan sistem tanpa menjadi kritis. Suatu sistem dengan k minimal cut set  $k_1, k_2, \dots, k_t$  pada waktu t sistem tersebut dapat diwakili secara logis dengan satu seri struktur dari k maka sistem tersebut akan gagal jika dan hanya jika paling tidak satu dari minimal cut k gagal. Komponen yang sama dapat menjadi bagian dari beberapa minimal cut yang berbeda. Notasi dalam pengukuran ini adalah :

$D_i(t)$  adalah paling tidak satu minimal cut yang mengandung komponen i gagal waktu t.

$C(t)$  adalah sistem yang gagal waktu t.  $m_i$  adalah jumlah minimal cut yang mengandung komponen i.

$E(t)$  adalah minimal cut j yang mengandung komponen I gagal waktu t untuk  $i=1,2,\dots,n$  dan  $j=1,2,\dots,m_i$ .

$m_i$  adalah jumlah minimal cut yang mengandung komponen i.

Perumusannya adalah sebagai berikut :

$$I^{VF}(i/t) = P(Di(t)/C(t)) = \frac{P(Di(t) \cap C(t))}{P(t)} \quad (2.35)$$

Ketika Di diaplikasikan kedalam C(t) menjadi :

$$I^{VF}(i/t) = \frac{P(Di(t))}{P(C(t))} \quad (2.36)$$

#### IV.4.4 Improvement Potential

Suatu sistem dengan indeks keandalan  $h(p(t))$  pada waktu  $t$  dalam beberapa kasus bisa jadi menarik untuk mengetahui berapa banyak peningkatan keandalan sistem jika komponen  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) diganti dengan komponen yang sesuai  $P_i(t) = 1$ . Perbedaan antara  $h(i, p(t))$  dan  $h(p(t))$  sering disebut peningkatan potensial terhadap komponen  $i$  dan dilambangkan dengan  $I^{IP}(i/t)$ .

Peningkatan potensial komponen  $i$  pada waktu  $t$  adalah :

$$I^{IP}(i/t) = h(i, p(t)) - h(p(t)) \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.37)$$

Sehingga Birnbaum's measure of importance menjadi :

$$I^B(i/t) = \frac{h(i, p(t)) - h(p(t))}{1 - p_i(t)} \quad (2.31)$$

Dengan menggunakan notasi fault Tree menjadi :

$$I^{IP}(i/t) = I^{CR}(i/t) \cdot Q_o(t) \quad (2.32)$$

Untuk mengetahui komponen yang harus ditingkatkan untuk menaikkan keandalan dari sistem paling cocok menggunakan Metode Birnbaum dan Peningkatan potensial sedangkan untuk mengetahui komponen yang paling banyak menyebabkan kegagalan sistem paling cocok menggunakan Critical Importance Measure atau Vessely-Fussel, kedua pengukuran ini biasanya menghasilkan hasil yang hampir sama. Dengan segala kekurangan dan kelebihanannya maka dalam penyusunan Tugas Akhir ini menggunakan metode Birnbaum.

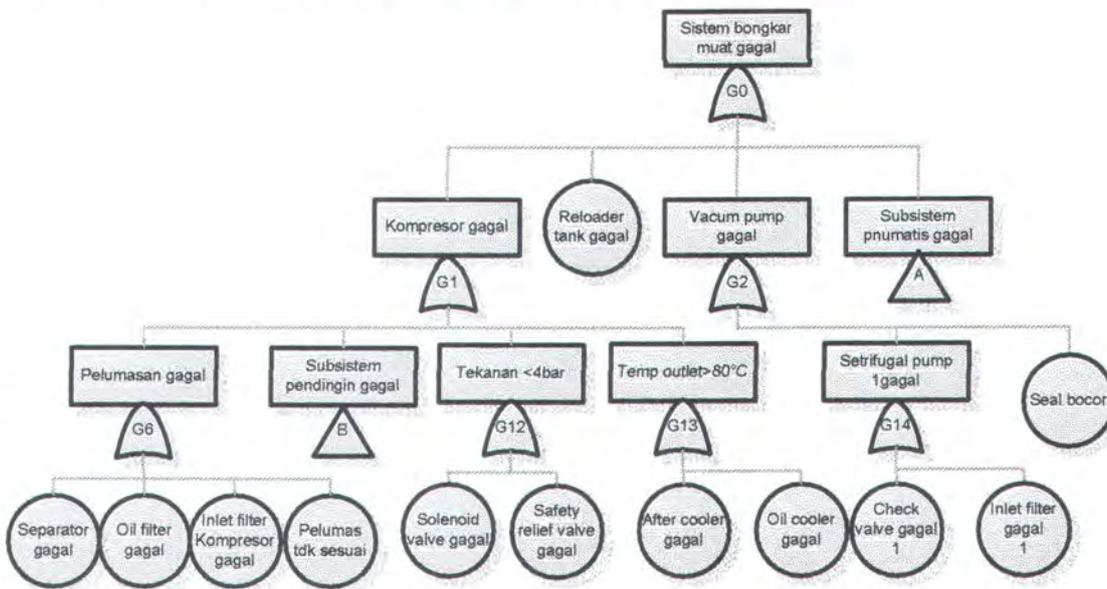
#### IV.5 Konstruksi Fault Tree

Pada tahapan konstruksi fault tree, langkah pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi Top Event dari kegagalan system. Pada analisa fault event pada system pendingin kompresor MV410-4 dan MV310-3 dipilih bentuk Top Eventnya adalah kegagalan system bongkar muat pelabuhan semen curah pada kondisi operasi normal. Kemudian dilanjutkan dengan identifikasi bentuk-bentuk kegagalan atau fault event. Pada analisa fault tree untuk system pendingin kompresor MV410-4 dan MV310-3 analisa fault event dilakukan pada kondisi system beroperasi normal. Bentuk-bentuk kegagalan dapat diperoleh dari bentuk operasi system yang tidak sesuai dengan kondisi operasinya. Kemudian dijabarkan dengan penambahan waktu dan komponen yang mengalami kegagalan. Adapun bentuk-bentuk kegagalan dari masing-masing subsystem bongkar muat pelabuhan pada kondisi operasi normal adalah sebagai berikut :

1. Bentuk kegagalan pada subsystem pendingin kompresor MV410-4 dan MV310-3:
  - ▶ Tekanan air pendingin kurang dari 2 bar
  - ▶ Kapasitas air pendingin yang mengalir di pipa pendingin Shell and Tube kurang dari  $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ .
  - ▶ Temperatur air pendingin sebelum masuk ke *oilcooler* dan *aftercooler* diluar range  $29^\circ\text{C} - 39^\circ\text{C}$ .
  - ▶ Temperatur air pendingin yang keluar dari *oilcooler* dan *aftercooler* lebih dari  $70^\circ\text{C}$ .
  - ▶ Tekanan air pendingin lebih dari 2 bar.
  
2. Bentuk kegagalan pada subsystem penumatis:
  - ▶ Tekanan yang dihasilkan auxliary kompresor dermaga kurang dari 7 bar.
  - ▶ Tekanan yang dihasilkan auxliary kompresor silo kurang dari 3.5 bar.
  - ▶ Air receiver pada auxiliary kompresor bocor.
  - ▶ Pipa – pipa distribusi udara tekan dari auxiliary kompresor bocor.
  
3. bentuk kegagalan kompresor
  - ⊖ Temperatur udara masuk kompresor melebihi range  $\leq 45^\circ\text{C}$ .

- ☞ Temperatur udara keluaran kompresor melebihi range  $\leq 80^{\circ} C$ .

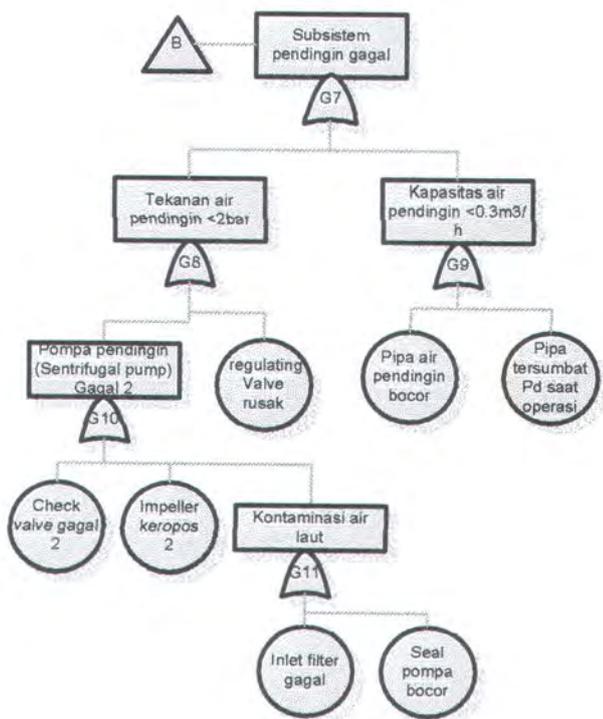
Setelah bentuk-bentuk kegagalan telah didefinisikan maka langkah selanjutnya adalah mengelompokkan dalam tingkatan primer, sekunder atau command fault. Pada construction fault tree ini, tingkatan tersebut langsung digambarkan dalam bentuk fault tree. Adapun bentuk fault tree dari sistem bongkar muat pelabuhan semen curah P.T Semen Gresik dengan *pnumatic konveying* adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4 Top event sistem bongkar muat semen curah gagal

Pada kejadian top even G0 terjadi jika keempat input G0 tersebut yaitu (*reloader tank gagal, vacum pump gagal, subsistem penumatis gagal dan kompresor gagal*) jika terjadi salah satu saja sudah mengakibatkan top even terjadi karena input dihubungkan dengan OR gate. pada gerbang G1 yaitu kompresor gagal adalah disebabkan oleh 4 inputan yaitu G6 G7. G12 dan G13. untuk G6 (pelumasan gagal) yang diakibatkan oleh 4 basic even antara lain adalah separator gagal, oil filter gagal inlet filter gagal dan pelumas tidak sesuai. Jika separator gagal maka akan mengakibatkan kontaminasi pada pelumas sehingga karakteristik pelumas akan menjadi buruk selain itu juga akan mengakibatkan korosi pada komponen yang dilaluinya untuk oil filter jika gagal maka jika ada zat-zat atau kandungan logam yang dapat merusak kompresor akan masuk ke dalam kompresor

dan akan merusak komponen dalam kompresor kemudian untuk *air inlet* jika gagal maka udara yang dikompresikan tidak bersih atau bercampur dengan partikel debu dan zat-zat lain yang ikut masuk hal tersebut akan mempengaruhi kualitas pelumasan sehingga karakteristik pelumas akan menjadi buruk. tetapi dalam kasus ini tidak ditemukan adanya indikasi bahwa pelumasan kompresor tersebut gagal. Untuk G12 (safety relief valve gagal dan solenoid valve gagal, jika solenoid valve maka akan berakibat pada kompresor sehingga tekanan yang dihasilkan tidak stabil dan hal tersebut dapat mengakibatkan komponen-komponen pada sistem bongkar muat cepat rusak kemudian safety relief valve gagal akan mengakibatkan tekanan kompresor kurang dari  $< 4$  bar karena fungsi untuk membuang tekanan yang berlebih tidak bisa berjalan lagi. Untuk temperatur kompresor yang melebihi batas yaitu  $> 80^{\circ}\text{C}$  disebabkan oilcooler dan aftercoolernya gagal, boleh jadi tersumbat atau terjadi penyempitan pada pipa *shellnya* terbukti pada penginspeksian pada tanggal 14 Nopember 2005 air pendingin yang keluar dari kompresor kurang dari  $0.3\text{m}^3/\text{h}$  sehingga proses pendinginan tidak optimal karena media pendingin kurang kemudian bukti lain adalah air pendingin yang keluar dari kompresor mengandung lumpur sehingga hal ini dapat berbahaya bagi komponen kompresor dan sistem pendingin. Hal tersebut diindikasikan bahwa inlet filter popa pendingin gagal atau rusak. Untuk vacum pump gagal adalah disebabkan gerbang G14 dan seal bocor kemudian untuk gerbang G14 adalah pompa sentrifugal gagal yang mana pompa tersebut gagal disebabkan oleh dua basic even yaitu check valve gagal dan inletfilter gagal tetapi untuk pompa sentrifugal khusus air tawar ini tidak mengindikasikan kegagalan pada sistem pendingin karena sistem pendingin mempunyai 2 pompa sentrifugal yang mana salah satunya adalah untuk air laut dan satunya lagi untuk air tawar sebagai pendukung vacum pump. , Transfer simbol A,B menunjukkan bahwa fault event masih akan dikembangkan analisisnya. Pada pengembangan fault event akan diturunkan pada transfer simbol A, yaitu system pendingin kompresor gagal. Dimana fault tree yang terbentuk adalah sebagai berikut :



Gb 4.5 Intermediate event sistem pendingin gagal

1. Kemudian untuk gerbang G7 *subsistem pendingin* akan gagal jika salah satu input dari G7 yaitu (G8 dan G9) mengalami kegagalan. Untuk G8 tekanan air pendingin < 2 bar disebabkan oleh G10 dan satu basic even regulating valve rusak sehingga tidak bisa mengatur aliran air pada line pendinginan sehingga mengakibatkan tekanan air pendingin kurang dari 2 bar. Untuk G10 pompa sentrifugal khusus untuk air laut gagal disebabkan oleh Check valve gagal, impeller keropos, dan kontaminasi air yang disebabkan gerbang G11 yaitu oleh inlet filter gagal dan seal pompa yang bocor. Berdasarkan penyelidikan dilapangan pada tanggal 2 Desember 2005 letak section line pompa sentrifugal untuk air laut letaknya terlalu kedalam kearah dasar laut sehingga hal ini mengakibatkan inlet filter gagal menjalankan fungsinya karena konsentrasi lumpur yang sangat tinggi yang disebabkan oleh peletakan section pompa kemudian setelah itu akan mengakibatkan pompa dan komponen yang ada didalamnya seperti impeller, seal, mekseal akan rusak, terkikis atau bocor. Kemudian untuk gerbang G9 (kapasitas air pendingin <0.3m<sup>3</sup>/h) yang

disebabkan oleh dua basic even yaitu pipa air pendingin bocor dan pipa tersumbat pada saat operasi bongkar muat berlangsung hal ini disebabkan oleh indikasi yang telah disebutkan diatas tadi peletakan section line pompa air laut yang terlalu menjorok kedalam yang mana kedalaman air laut disekitar dermaga sekitar 6m diukur pada saat air laut pasang sedangkan jika diukur pada saat air laut surut adalah 4.5 m dan panjang pipa section pompa sentrifugal khusus air laut diukur dari permukaan air laut adalah 5.70m atau 4.20 pada saat air laut surut sehingga jarak inlet filter dengan dasar laut hanya 30cm. Oleh karena itu inlet filter pompa sering gagal dan sering diadakan penggantian dan setelah itu efek kegagalan pada pompa akan terjadi dengan jarak waktu yang relatif singkat.

Untuk Pencegahan kavitasi pada pompa hal-hal yang perlu dilakukan adalah :

1. Ketinggian letak pompa terhadap zat cair yang dihisap harus dihisap harus dibuat serendah mungkin agar head statis menjadi rendah pula.
2. Pipa isap harus dibuat sependek mungkin, jika terpaksa dipakai pipa isap yang panjang, sebaiknya diambil pipa yang berdiameter satu nomer lebih besar untuk mengurangi kerugian gesek.
3. Sama sekali tidak dibenarkan untuk memperkecil laju aliran dengan menghambat aliran di sisi isap.
4. Jika pompa mempunyai head yang berlebihan maka pompa akan bekerja dengan kapasitas aliran yang berlebihan pula sehingga kemungkinan akan terjadi kavitasi menjadi lebih besar, sehingga head pompa harus ditentukan sedemikian rupa hingga sesuai dengan yang diperlukan pada kondisi operasi yang sesungguhnya.

Perhitungan head total pompa sebelum rekomendasi perubahan section line untuk pompa sentrifugal.

Diketahui : selisih sisi isap dan keluar = 11 m

Q (kapasitas pompa) = 0.3 m<sup>3</sup>/menit

Diameter dalam pipa baja = 140 mm

Panjang pipa seluruhnya = 33 m

Terdapat 9 belokan 90° (R/D = 1)

Pada ujung pipa isap dipasang katub dengan saringan

(1) Head kerugian gesek pompa

$$H_f = \frac{10.666Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.85}}$$

Dengan  $Q = 0.3 \text{ m}^3/\text{menit} = 0.005 \text{ m}^3/\text{s}$

$C =$  Diambil 100 (untuk pipa tua)

$D = 140 \text{ mm} = 0.14 \text{ m}$

$L = 33 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } H_f &= \frac{10.666 \times 0.005^{1.85}}{100^{1.85} \cdot 0.14^{4.85}} \times 33 \\ &= 1.5 \text{ m} \end{aligned}$$

(2) Kerugian pada satu belokan  $90^\circ$

$$f = 0.131 + 1.847 \left( \frac{D}{2R} \right)^{3.5} \left( \frac{\theta}{90} \right)^{0.5}$$

dengan  $D/R = 1$

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{0.005}{\frac{\pi}{4} (0.14)^2} = 0.32 \text{ m/s}$$

$\theta = 90^\circ$

$$\begin{aligned} \text{maka } f &= 0.131 + 1.847 \left( \frac{1}{2} \right)^{3.5} \left( \frac{90}{90} \right)^{0.5} \\ &= 0.294 \end{aligned}$$

dan

$$hf = f \frac{v^2}{2g} = 0.294 \times \frac{0.32^2}{2(9.8)} = 0.015 \text{ m}$$

(3) Kerugian pada katub isap dengan saringan

untuk diameter 140 mm diperoleh  $f = 1.97$  maka,

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} = 1.97 \times \frac{0.32^2}{2(9.8)} = 0.15 \text{ m}$$

(4) head kecepatan keluar

$$\frac{v_d^2}{2g} = \frac{0.32^2}{2(9.8)} = 0.05 \text{ m}$$

(5) Head total pompa

$$\begin{aligned} H &= h_a + \Delta h_p + h_1 + \frac{v_d^2}{2g} \\ &= 11 + 0 + 1.5 + 9(0.015) + 0.15 + 0.05 \\ &= 12.7 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan head total pompa untuk rekomendasi perubahan section line pompa sentrifugal.

Diketahui : selisih sisi isap dan keluar = 8 m  
 Q (kapasitas pompa) = 0.3 m<sup>3</sup>/menit  
 Diameter dalam pipa baja = 140 mm  
 Panjang pipa seluruhnya = 24 m  
 Terdapat 9 belokan 90° (R/D = 1)  
 Pada ujung pipa isap dipasang katub dengan saringan

(1) Head kerugian gesek pompa

$$H_f = \frac{10.666Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.85}}$$

Dengan Q = 0.3 m<sup>3</sup>/menit = 0.005 m<sup>3</sup>/s

C = Diambil 100 (untuk pipa tua)

D = 140 mm = 0.14 m

L = 24 m

$$\begin{aligned} \text{Maka : } H_f &= \frac{10.666 \times 0.005^{1.85}}{100^{1.85} \cdot 0.14^{4.85}} \times 24 \\ &= 1.01 \text{ m} \end{aligned}$$

(2) Kerugian pada satu belokan 90°



$$f = 0.131 + 1.847 \left( \frac{D}{2R} \right)^{3.5} \left( \frac{\theta}{90} \right)^{0.5}$$

dengan  $D/R = 1$

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{0.005}{\frac{\pi}{4} (0.14)^2} = 0.32 \text{ m/s}$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{maka } f &= 0.131 + 1.847 \left( \frac{1}{2} \right)^{3.5} \left( \frac{90}{90} \right)^{0.5} \\ &= 0.294 \end{aligned}$$

dan

$$hf = f \frac{v^2}{2g} = 0.294 \times \frac{0.32^2}{2(9.8)} = 0.015 \text{ m}$$

(3) Kerugian pada katub isap dengan saringan  
untuk diameter 140 mm diperoleh  $f = 1.97$  maka,

$$hf = f \frac{v^2}{2g} = 1.97 \times \frac{0.32^2}{2(9.8)} = 0.15 \text{ m}$$

(4) head kecepatan keluar

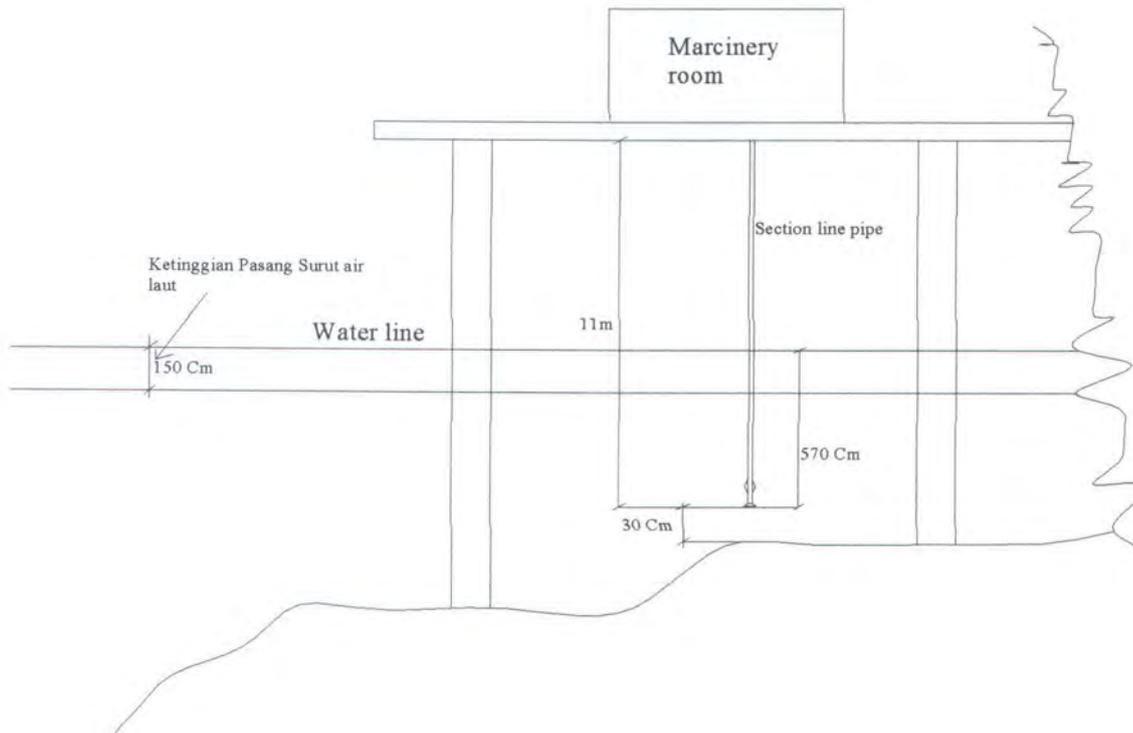
$$\frac{v_d^2}{2g} = \frac{0.32^2}{2(9.8)} = 0.05 \text{ m}$$

(5) Head total pompa

$$\begin{aligned} H &= h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v_d^2}{2g} \\ &= 8 + 0 + 1.01 + 9(0.015) + 0.15 + 0.05 \\ &= 9.2 \text{ m} \end{aligned}$$

sehingga section line pompa bisa ditarik keatas sampai 3,3 meter diukur dari dasar laut dan 1.2 meter diukur dari permukaan air laut pada saat air laut surut dan 2.7 m pada saat air laut pasang dimana panjang keseluruhan pipa section line adalah 8 m dg 2.7 m dibawah garis air.

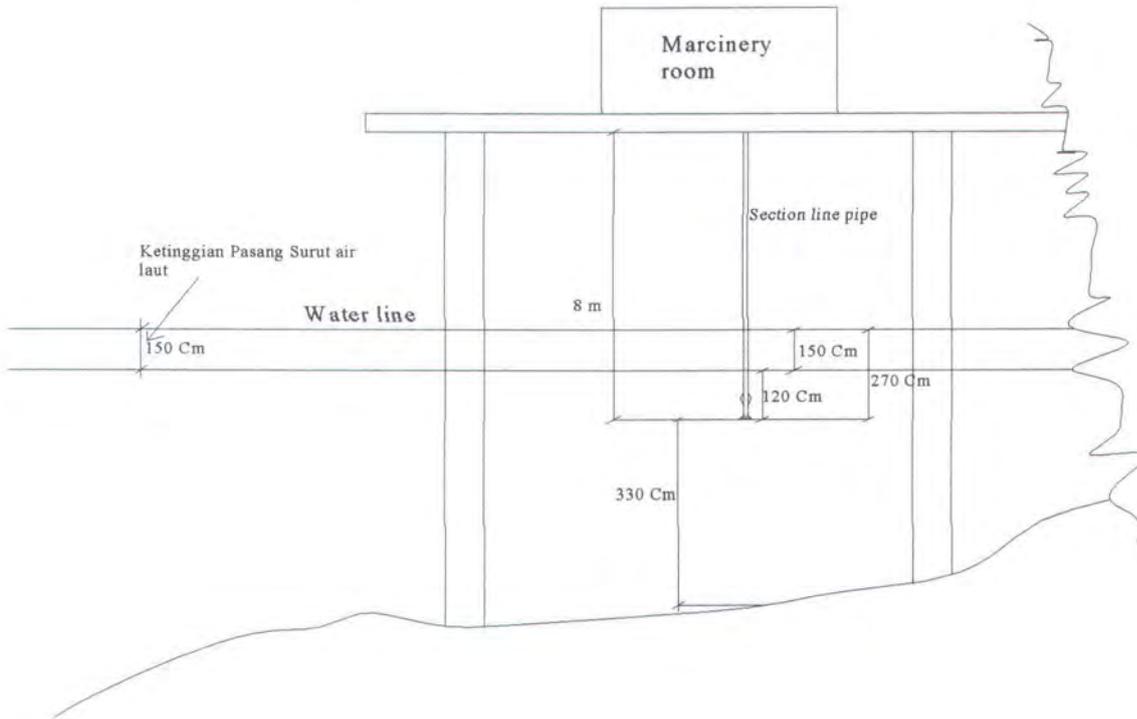
Berikut dibawah ini disajikan ilustrasi berupa gambar keadaan section line pompa sebelum rekomendasi / (exist) adalah sebagai berikut:



Gb 4.6 ilustrasi section line sentrifugal pump exist

Gambar diatas menjelaskan bahwa section line pompa pendingin jenis *sentrifugal pump* jarak dengan dasar laut terlalu dekat yaitu 30 cm sehingga dapat mengakibatkan turbulensi pada lumpur yang ada dibawahnya dampaknya adalah sebagian lumpur masuk kedalam pompa dan karena intensitas lumpur begitu tinggi maka inlet filter pada section line tidak mampu menyaringnya dan akhirnya sering mengalami kerusakan bahkan jebol. Kemudian faktor lain adalah pipa section line yang terlalu panjang akan mengakibatkan kavitasi pada pompa seperti terlihat pada gambar yaitu 11 m atau 110 cm. Oleh sebab itulah sistem pendingin mengalami kegagalan dalam menjalankan fungsinya.

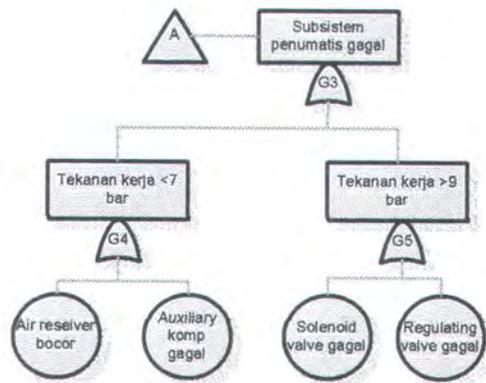
Kemudian ilustrasi keadaan section line sentrifugal pump setelah rekomendasi adalah sebagai berikut :



Gb 4.7 ilustrasi rekomendasi peletakan section line sentrifugal pump

Kemudian gambar diatas menjelaskan bahwa jarak section line pompa pendingin jenis *sentrifugal pump* dengan dasar laut direkomendasikan berdasarkan perhitungan dari 30 cm menjadi 330 cm sehingga dapat menghindari atau mencegah terjadinya turbulensi pada lumpur yang ada dibawahnya dampaknya adalah sebagian lumpur tidak dapat masuk kedalam pompa karena jangkauannya diperjauh dan karena menurut perhitungan jarak yang direkomendasikan tersebut aman dari kontaminasi lumpur maka inlet filter pada section line bisa memiliki lifetime yang lebih lama. Kemudian faktor lain adalah pipa section line yang terlalu panjang diperpendek seperti terlihat pada gambar yaitu dari 11 m atau 110 cm menjadi 8 m atau 800 cm hal tersebut untuk mencegah kavitsi pada pompa. Diharapkan dengan pelaksanaan rekomendasi tersebut maka bisa mereduksi kegagalan pada sistem pendingin.

Kemudian pada pengembangan fault event selanjutnya akan diturunkan pada transfer simbol B, yaitu system penumatis gagal. Dimana fault tree yang terbentuk adalah sebagai berikut :



Gb 4.8 Intermediate event sistem penumatis gagal

1. Untuk gerbang G3 konstruksi fault tree diatas *subsistem penumatis* akan gagal jika salah satu dari kedua inputan G3 yaitu (G4,G5) yaitu tekanan kerja kurang dari 7 bar yang menghasilkan gerbang G4 yang terdiri dari dua basic even yaitu air reseiver bocor dan aux komp gagal. untuk air reseiver yang bocor bisa disebabkan oleh bahan material yang jelek atau sambungan lasnyayang jelek tetapi dalam ksus ini tidak mengarah kepada sistem penumatis kemudian untuk aux komp gagal bisa di sebabkan oleh putaran motor fluktuasi sehingga tekanan yang dihasilkan tidak stabil kemudian untuk gerbang G5 adalah tekanankerja lebih dari 7 bar yang disebabkan oleh safety relief valve dan regulating valve yang gagal menjalankan fungsinya sebagai penurun tekanan dan pengatur aliran udara, bila kedua katub tersebut tidak bisa terbuka secara sempurna maka akibatnya adalah kompresor bantu akan overload dan tekanan akan berlebih dan sistem keamanan akan secara otomatis mematikan sistem tersebut.

#### IV.6 Evaluasi Kualitatif Fault Tree

Evaluasi kualitatif pada fault tree akan menghasilkan :

1. Minimal cut set dari fault tree, kombinasi kegagalan komponen sebagai penyebab kegagalan system.
2. Arti penting dari kualitatif komponen, tingkatan kualitatif yang berkontribusi terhadap kegagalan system.
3. Kepekaan potensi minimal cut set yang secara umum menjadi penyebab kegagalan, kepekaan potensi minimal cut set untuk sebuah penyebab kegagalan tunggal.

Seperti yang telah kita diskusikan sebelumnya, minimal cut set memberikan semua kombinasi-kombinasi yang unik dari kegagalan komponen yang menyebabkan kegagalan system. Evaluasi kualitatif akan memberikan sebuah 'tingkatan kualitatif' pada masing-masing komponen yang akan berkontribusi sebagai penyebab kegagalan. Evaluasi penyebab secara umum atau mode secara umum mengidentifikasi isi minimal cut set dari berbagai komponen, karena dari sebuah kepekaan secara umum, maka akan didapatkan semua potensi terjadinya kegagalan untuk penyebab tunggal kegagalan.

Dari konstruksi FTA yang telah dibuat dapat disusun cut set dan minimal cut set. Cut set yaitu serangkaian komponen sistem (basic event) yang apabila terjadi kegagalan dapat berakibat kegagalan pada sistem sedangkan minimal cut set yaitu kombinasi dari beberapa basic event yang dapat menyebabkan kegagalan pada sistem apabila terjadi secara bersamaan. Untuk mencari minimal cut set ini digunakan Algoritma boolean yang dalam penerapannya bercirikan pada tipe gate, yaitu jumlah OR gate akan menambah jumlah dari cut set, sedangkan jumlah AND gate akan memperbesar minimal cut set.

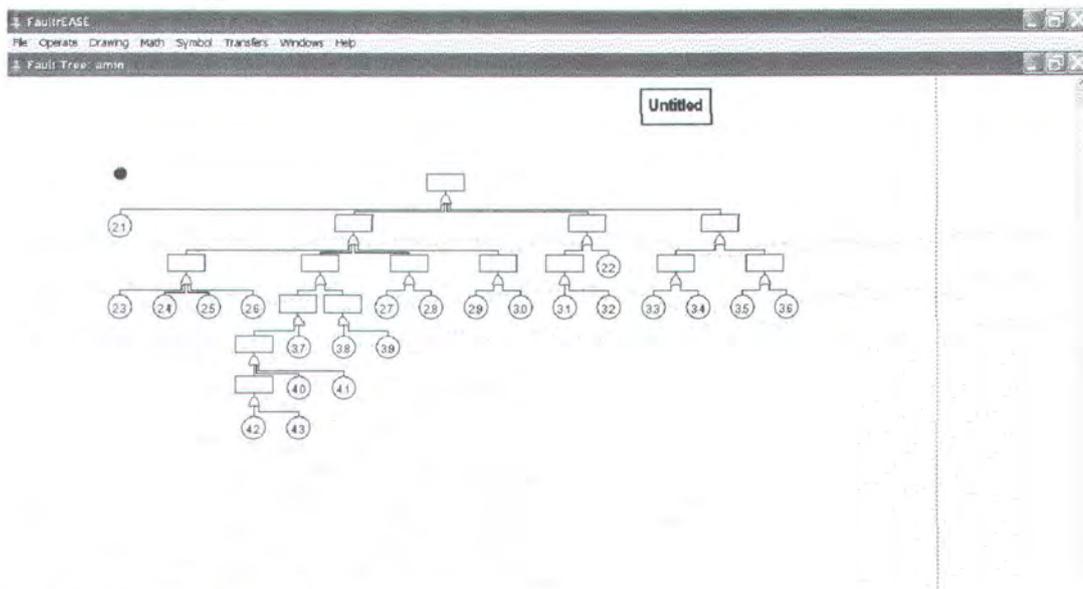
Basic event dan kombinasi basic event merupakan komponen-komponen yang apabila mengalami kegagalan akan menyebabkan kegagalan pada keseluruhan sistem bongkar muat pelabuhan komponen-komponen ini terjadi menjadi dua bagian yaitu *First order* dan *Second order*.

Jika salah satu dari komponen-komponen yang termasuk dalam *First order* mengalami kegagalan maka akan menyebabkan kegagalan pada sistem bongkar muat pelabuhan sedangkan pada komponen - komponen yang termasuk dalam *Second order*

sistem bongkar muat akan gagal jika komponen-komponen tersebut mengalami kegagalan secara bersamaan.

#### IV.6.1 Identifikasi cut set dan minimal cut set dengan bantuan software faultREASE.

Dengan bantuan software ini maka minimal cutset dan cutset dapat dengan mudah diketahui sehingga hasil minimal cut set dari FTA diatas adalah sebagai berikut:



*gambar 4.9 Minimal Cutset*

Berdasarkan konstruksi Fault Tree dan identifikasi minimal cut set yang telah ditampilkan diatas maka dapat dianalisa Sistem Bongkar Muat Pelabuhan Semen Curah secara kualitatif dengan Mendefinisikan ketiga struktur atas dan menjabarkan masing-masing cabang ke dalam level-level berurutan secara detail.

Minnimal cutset	Tingkat kegagalan
Reloader tank gagal	Primer
vacum pump gagal	Primer
Air receiver bocor	Primer
seal vacum pump bocor	Primer
Auxiliary kompresor gagal	Primer

Oil filter gagal	Primer
Check valve gagal 2	Primer
Pelumas tidak sesuai	Primer
Air filter gagal	Primer
After cooler gagal	Primer
Oil cooler gagal	Primer
Check valve 1 gagal	Primer
Inlet filter 1 gagal	Primer
Air reseiver bocor	Primer
Aux komp gagal	Primer
Pipa air pendingin bocor	Primer
Pipa air pendingin tersumbat endapan lumpur	Primer
Check valve 1 gagal	Primer
Impeller pump 2 gagal	Primer
Inlet filter 2 gagal	Primer
Seal pump 2 gagal	Primer
Regulating valve gagal	Skunder
Safety relief valve gagal 1	Skunder
Solenoid valve 1 gagal	Skunder
Solenoid valve 2 gagal	Skunder

*Tabel 4.2 tingkatan minimal cut set*

Dari tabel tingkatan minimal cut set tersebut diatas maka dapat ditentukan kepekaan minimal cut set berdasarkan banyaknya jumlah orde pada cut set. Kekritisan dari sebuah cut set tergantung dari pada jumlah basic even didalam cut set (orde cut set). Sebuah cut set dengan orde satu umumnya lebih kritis dari sebuah minimal cut set dengan orde dua atau lebih. Jika sebuah *Fault tree* memiliki cut set dengan orde satu, maka top even akan terjadi sesaat setelah basic even yang bersangkutan terjadi. Jika cut set memiliki dua basic even, kedua even ini harus terjadi secara bersamaan agar top even dapat terjadi.

#### IV.7 Evaluasi Kuantitatif Fault Tree.

Dalam evaluasi kuantitatif Fault Tree ini akan menggunakan bantuan software faultREASE dan untuk mencari nilai probabilitas kegagalan sistem bongkar muat pelabuhan semen curah di P.T Semen Gresik tersebut dengan menggunakan data kerusakan komponen per tahun pada sistem bongkar muat tersebut.

##### **Penentuan minimal cutset dengan pendekatan Boolean Algebra**

Penentuan minimal cut set ini untuk memudahkan dalam perhitungan analisa kegagalan dari sistem. Model fault tree yang telah dibuat akan dijabarkan ke dalam aljabar *Boolean* untuk kemudian dicari minimal cut set-nya. dengan data kerusakan equipment per tahun maka evaluasi kuantitatif bisa dilakukan.

Seluruh komponen dalam model fault tree dimisalkan sebagai berikut :

G0 = Sistem bongkar muat gagal operasi

A = Reloader tank gagal

B = Seal vacum pump bocor

C = Separator gagal

D = Oil filter gagal

E = Air filter gagal

F = pelumas tidak sesuai

G = solenoid valve 1 gagal

H = Safety relief valve gagal

I = After cooler gagal

J = Oil cooler gagal

K = Check valve 1 gagal

L = Inlet filter 1 gagal

M = Air reseiver bocor

N = Aux komp gagal

O = Solenoid valve gagal

P = Regulating valve 1 gagal

Q = Regulating valve 2 gagal

R = Pipa pendingin bocor

S = Pipa pendingin tersumbat endapan lumpur

T = Check valve 2 gagal

U = Impeller 2 keropos

V = Inlet filter 2 gagal

W = Seal 2 bocor

Pemodelannya adalah dengan menggunakan pendekatan Boolean Aljebra sebagai berikut :

$$G0 = G1+G2+G3+A$$

$$G1 = G4+G5+G6+G7$$

$$G2 = G8+B$$

$$G8 = K+L$$

$$G3 = G9+G10$$

$$G9 = M+N$$

$$G10 = O+P$$

$$G4 = C+D+E+F$$

$$G5 = G11+G12$$

$$G11 = G13+Q$$

$$G12 = R+S$$

$$G13 = G14+T+U$$

$$G14 = V+W$$

$$G6 = G+H$$

$$G7 = I+J$$

Persamaan diatas disubstitusikan menjadi :

$$G0 = [(G4+G5+G6+G7)+(G8+B)+(G9+G10)+A]$$

$$G0 = [(C+D+E+F)+(G11+G12)+(G+H)+(I+J)]+[(K+L)+B]+[(M+N)+(O+P)+A]$$

$$G0 = [(C+D+E+F)+(G13+Q)+(R+S)+(G+H)+(I+J)]+[(K+L)+B]+[(M+N)+(O+P)+A]$$

G0

$$= [((C+D+E+F)+((G+H+I+J)+K+L+B)+((M+N)+O+P)+A)]$$

$$G0 = C+D+E+F+V+W+T+U+Q+R+S+G+H+I+J+K+L+B+M+N+O+P+A$$

Berdasarkan rumusan diatas maka sistem bongkar muat pelabuhan semen curah tersebut mempunyai 23 buah komponen sebagai minimal cut set tunggal karena gerbang *logic gate* semua menggunakan OR gate sehingga semua merupakan cut set tunggal, jika *logic gate* AND maka akan membentuk cut set ganda atau dengan dua order atau lebih. jadi minimal cut set yang dihasilkan yaitu : C,D,E,F,V,W,T,U,Q,R,S,G,H,I,J,K,L,B,M,N,O,P, dan A

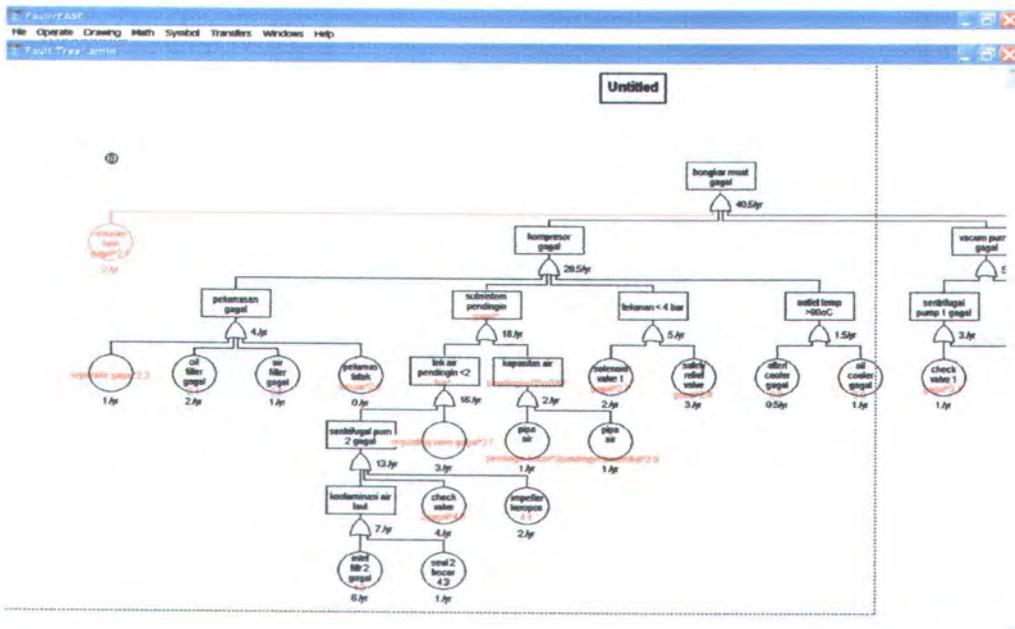
jadi probabilitas ketidakhandalan subsistem pendingin dan subsistem pneumatis dapat dihitung berdasarkan data kerusakan komponen sistem bongkar muat pelabuhan semen curah semen tersebut.

#### IV.7.1 Penentuan nilai frekuensi dari minimal cut set dengan faultREASE

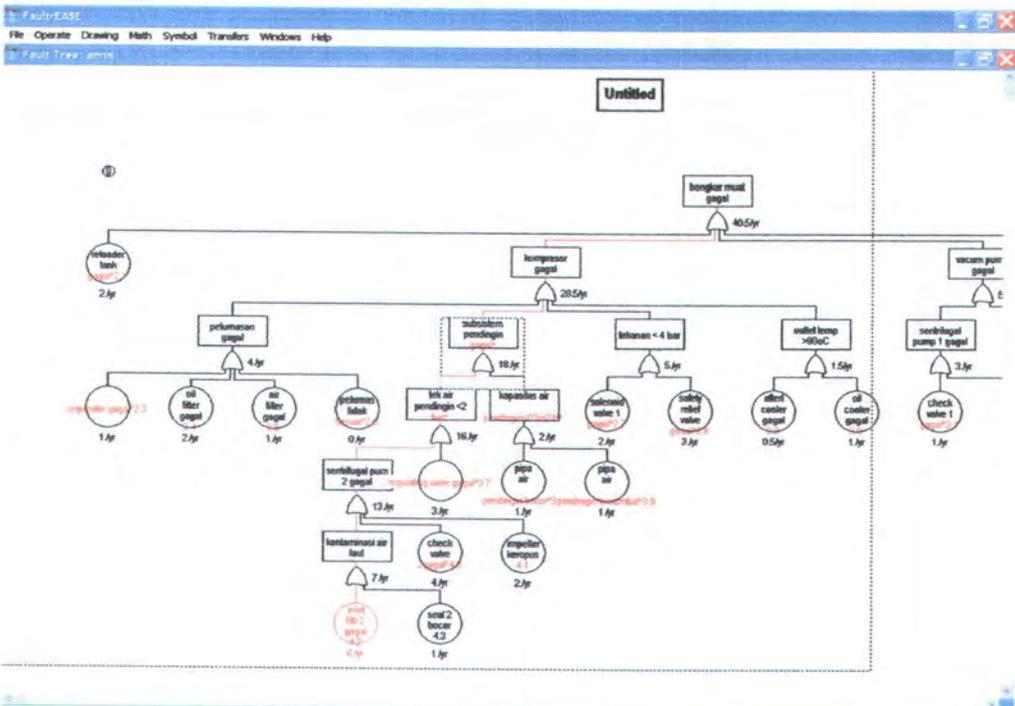
Dengan bantuan software faultREASE maka hasil evaluasi kualitatif dan kuantitatif bisa dievaluasi dengan mudah.

Dibawah ini akan ditampilkan hasil cut set dan minimal cut set dari faultREASE sebanyak 25 cut set tunggal karena semua gerbang *logic* menggunakan OR *gate* sehingga tidak menyajikan cut set ganda. adalah sebagai berikut:

Jalur yang berwarna merah adalah sebagai cut set dan semua basic event yang konstruksinya paling bawah adalah sebagai minimal cut setnya.

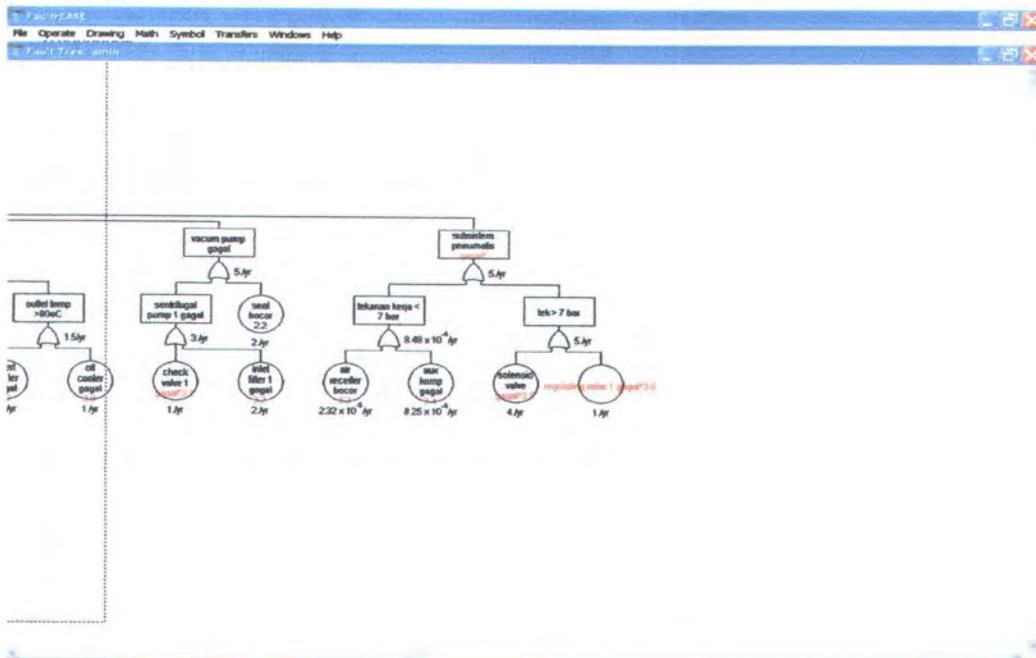


Gambar 4.10 gambar cut set 1 dari faultEASE

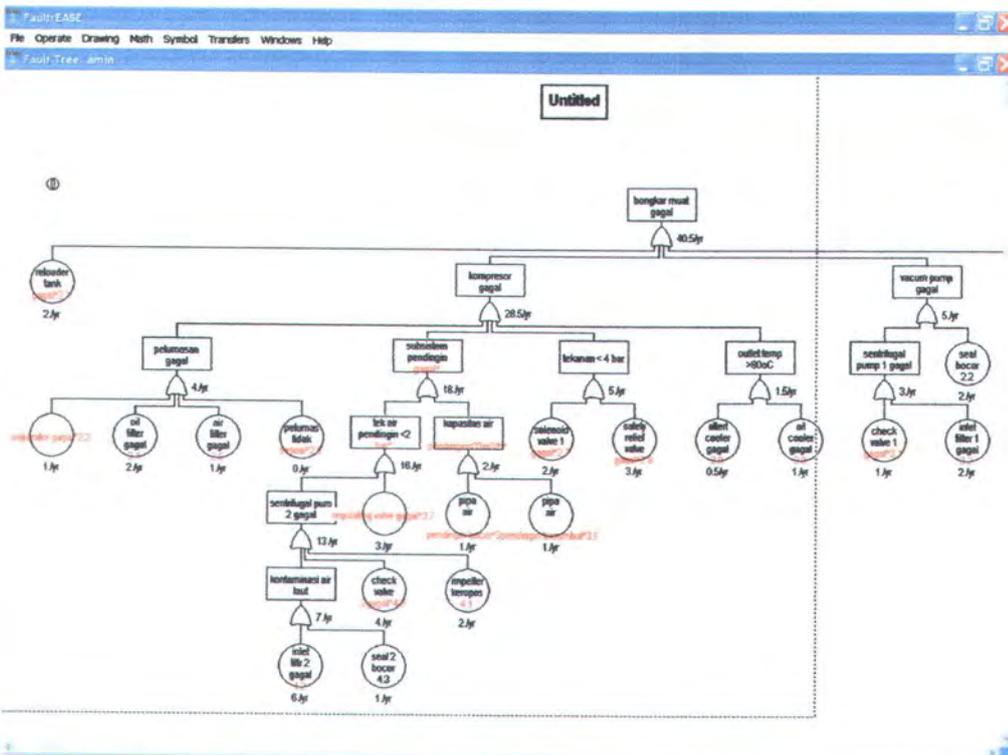


Gambar 4.11 gambar cut set 6 dari faultEASE





Gambar 4.13 gambar probabilitas ketidakhandalan subsistem pneumatis



Gambar 4.14 gambar probabilitas ketidakhandalan subsistem pendingin.

1. Dengan membuat gambar Fault Tree maka dengan mudah kita dapat menentukan bahwa pada kompresor kegagalan fungsi komponen sistem dapat disebabkan oleh tiga komponen utama yang ada dalam subsistem pendingin yaitu, check valve, inlet filter, pompa pendingin jenis sentrifugal, yang menyebabkan ketiga komponen tersebut memiliki frekwensi kegaalan yang tinggi adalah kondisi laut yang kotor dan sisi section line pompa letaknya terlalu menjorok kedalam laut sesuai dengan analisa yang telah diuraikan pada konsruksi fault tree diatas.
2. Dari ketiga komponen tersebut kita dapat menentukan lagi penyebab utama yang mengakibatkan kompresor overheating dan operasi bongkar muat gagal sehingga kita dapat menentukan penyebab yang utama dalam kegagalan sistem tersebut, yaitu inlet filter pada sisi section pompa sentrifugal 2 yang mempunyai frekuensi paling tinggi diantara semua komponen bongkar muat yang ada.
3. Dari evaluasi kualitatif dan kuantitatif Fault Tree yang telah dibuat maka kita dapat menentukan critical equipment yang perlu mendapatkan perhatian lebih untuk diprioritaskan, yaitu inlet filter pada sentrifugal pump 2 karena mempunyai nilai ketidakhandalan yang paling tinggi dari ketiga komponen sehingga perlu untuk diprioritaskan setelah check valve dan seal pump yang mempunyai nilai ketidakhandalan masing-masing sebagai berikut : inlet filter = 6/yr, check valve = 4/yr, dan regulating valve 2 = 3/yr.
4. Untuk pompa pendingin yang mengalami kerusakan jika masih memungkinkan untuk diadakan perbaikan atau penggantian subkomponen pada pompa maka diperbaiki atau penggantian subkomponen tetapi jika kerusakannya parah maka harus mengganti pompa tersebut dengan yang baru.
5. kemudian untuk inlet filter dan check valve jika rusak atau gagal maka tidak bisa diadakan perbaikan maka harus diadakan penggantian dengan komponen yang baru.

#### IV.7.2 Critical analysis.

Untuk mengetahui nilai indeks keandalan perkomponen kemudian membandingkan satu dengan yang lain.

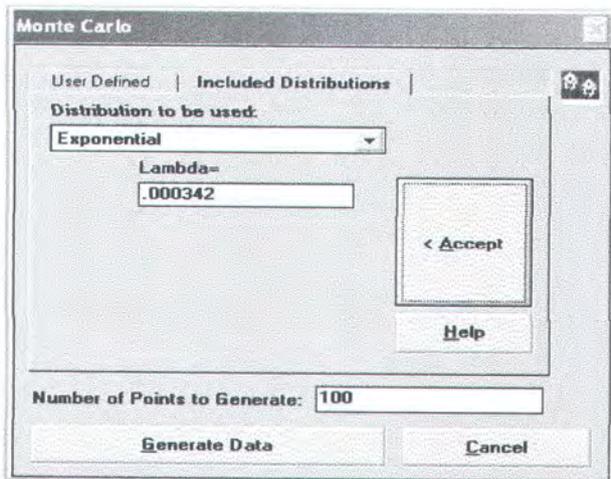
Komponen dengan nilai indeks keandalan terkecil maka iya memiliki kekritisan komponen yang tertinggi. Maka critical analisis untuk sistem pendingin adalah sebagai berikut :

##### IV.7.2.1 Komponen 1( regulating valve)

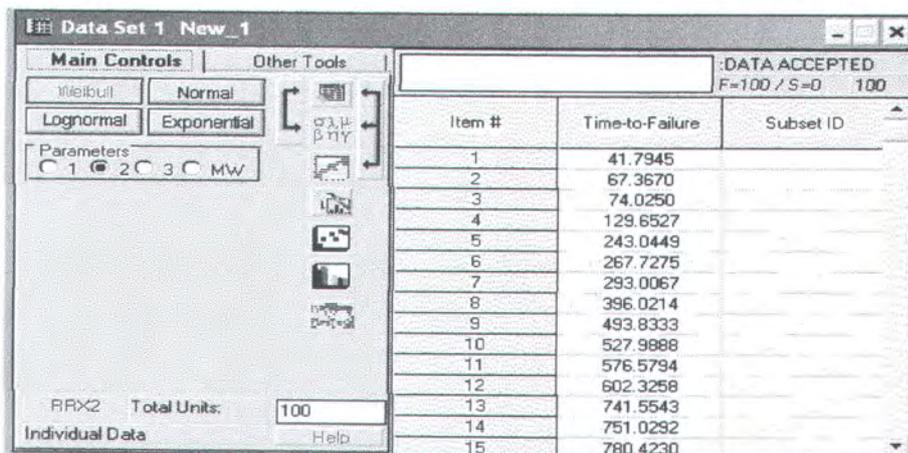
Langkah langkah penentuan indeks kehandalan

##### 1. Penentuan time To Failure komponen

Dengan menggunakan software reliasoft maka diperoleh TTF sebagai berikut :



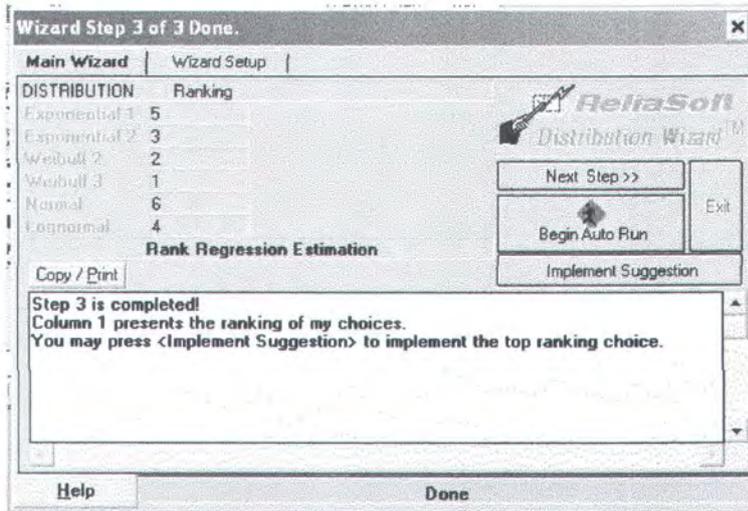
Gambar 4.13 Penentuan distribusi dari dataReal untuk mencari TTF



Item #	Time-to-Failure	Subset ID
1	41.7945	
2	67.3670	
3	74.0250	
4	129.6527	
5	243.0449	
6	267.7275	
7	293.0067	
8	396.0214	
9	493.8333	
10	527.9888	
11	576.5794	
12	602.3258	
13	741.5543	
14	751.0292	
15	780.4230	

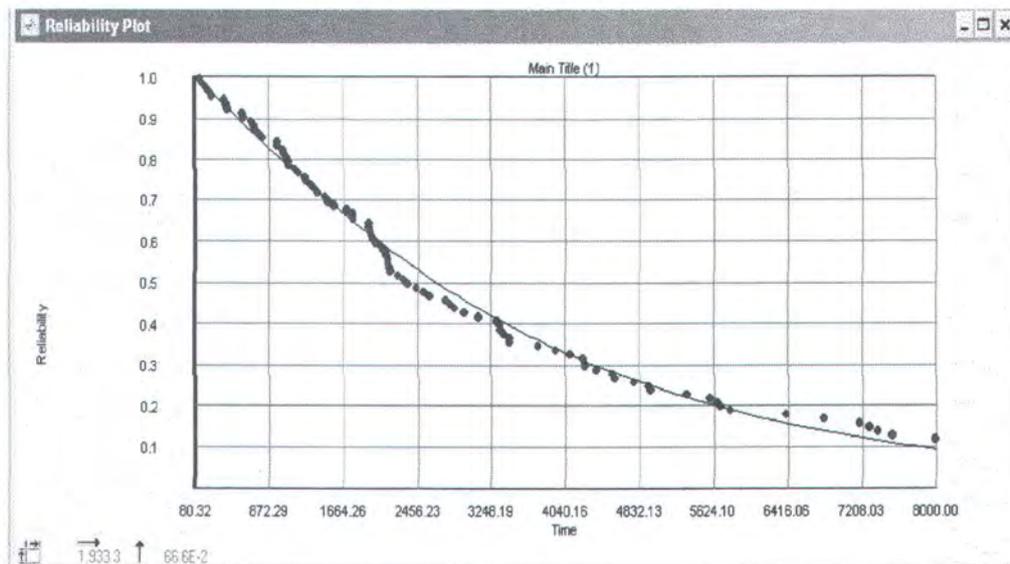
Gambar 4.14 data TTF yang dihasilkan

2. Penentuan jenis distribusi dari data TTF adalah sebagai berikut:



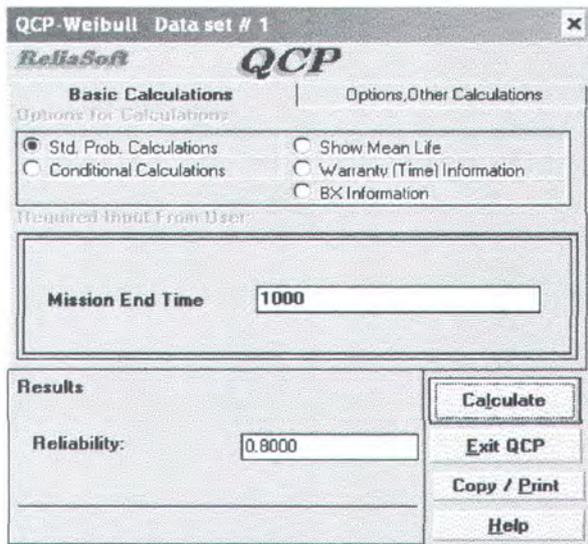
Gambar 4.15 Penentuan jenis distribusi dari data TTF

3. Penentuan Reliability indeks dengan grafik sebagai berikut:



Grafik 4.1 reliability untuk regulating valve

Reliability indeks dalam hal ini ditentukan dalam waktu 1000 jam, maka reliability indeks untuk komponen regulating valve adalah sebagai berikut:



Gambar 4.16 Reliability indeks 1

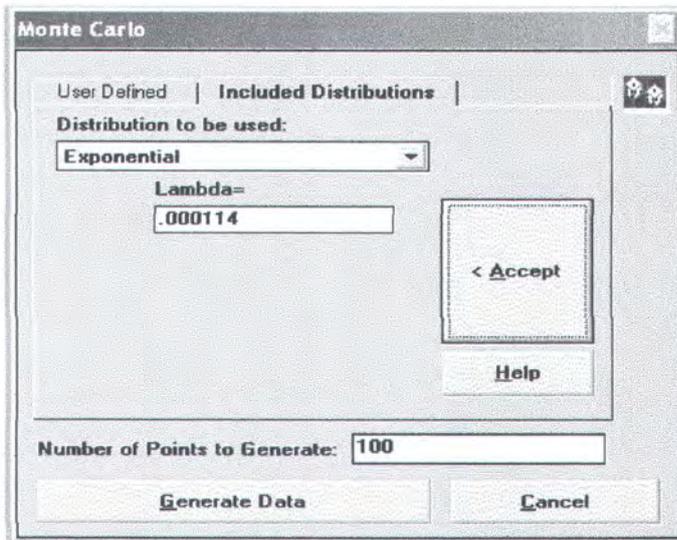
Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa nilai keandalan untuk regulating valve dalam 1000 jam operasi adalah sebesar 0.8.

### 7.2.1 Komponen 2( pipa baja bocor)

Langkah langkah penentuan indeks kehandalan

#### 1. Penentuan time To Failure komponen

Dengan menggunakan software reliasoft maka diperoleh TTF sebagai berikut :



Gambar 4.17 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF

Item #	Time-to-Failure	Subset ID
1	25.0655	
2	96.4061	
3	139.9049	
4	193.6750	
5	193.8177	
6	295.0828	
7	313.9184	
8	346.5563	
9	436.7485	
10	474.6059	
11	568.6564	
12	662.9451	
13	727.7464	
14	749.2926	
15	973.1273	

Gambar 4.18 data TTF yang dihasilkan

- Untuk menentukan distribusi yang paling baik maka perlu diranking dan untuk distribusi yang paling baik adalah pada ranking pertama seperti terlihat pada gambar dibawah ini

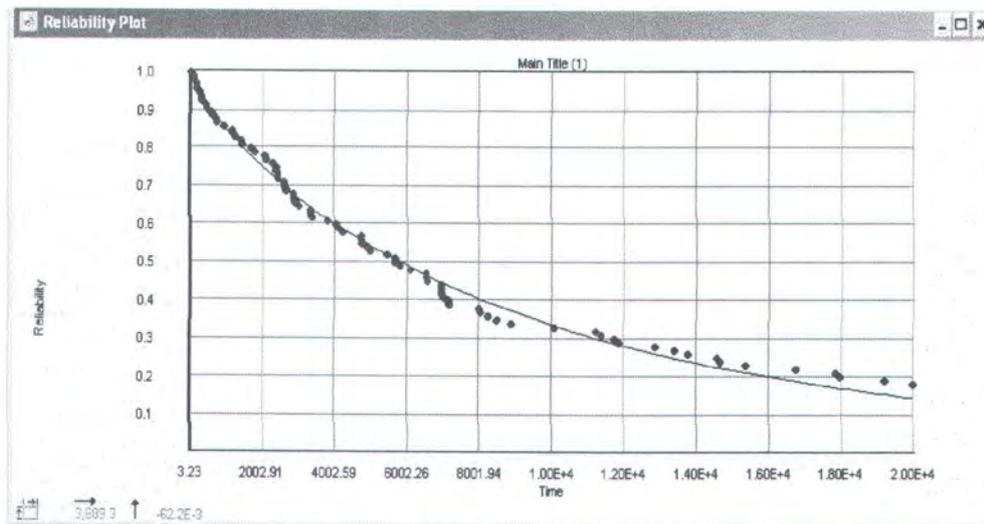
Penentuan jenis distribusi dari data TTF sebagai berikut:

DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	4
Exponential 2	5
Weibull 2	2
Weibull 3	1
Normal	6
Lognormal	3

Step 3 is completed!  
Column 1 presents the ranking of my choices.  
You may press <Implement Suggestion> to implement the top ranking choice.

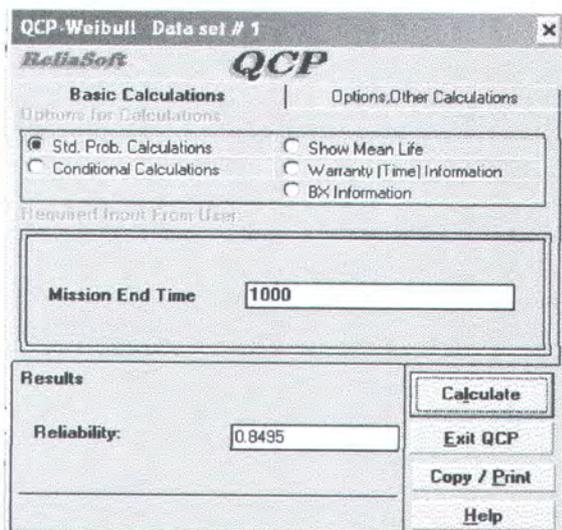
Gambar 4.19 Penentuan jenis distribusi dari data TTF

- Penentuan Reliability indeks dengan grafik sebagai berikut:



Grafik 4.2 reliability untuk pipa baja bocor

Reliability indeks dalam hal ini ditentukan dalam waktu 1000 jam, maka reliability indeks untuk komponen pipa baja bocor adalah sebagai berikut:



Gambar 4.20 Reliability indeks 2

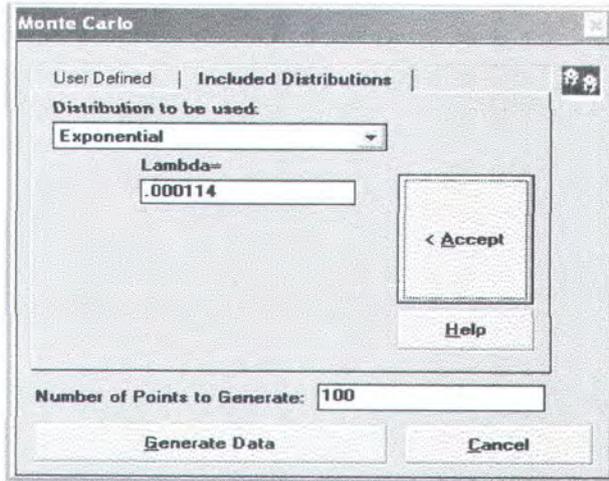
Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa nilai keandalan untuk pipa baja bocor dalam 1000 jam operasi adalah sebesar 0.849.

### 7.2.2 Komponen 3( pipa baja tersumbat)

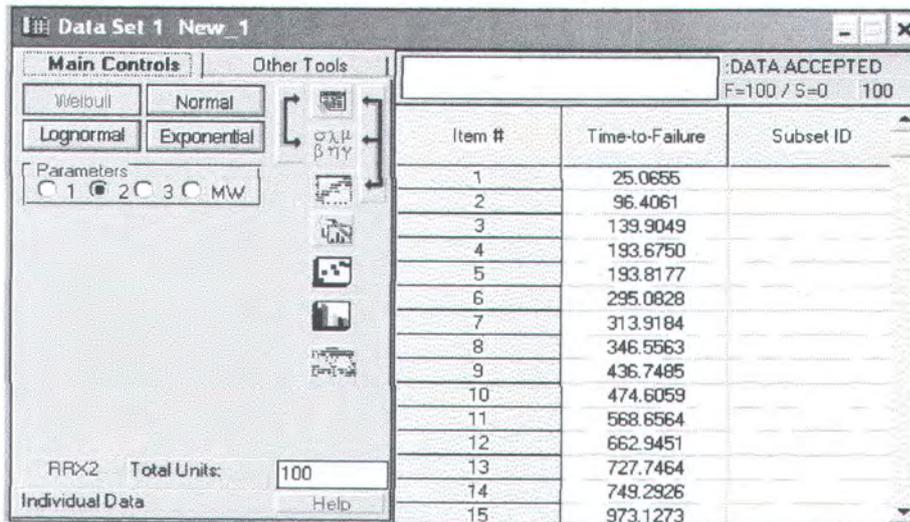
Langkah langkah penentuan indeks kehandalan

1. Penentuan time To Failure komponen

Dengan menggunakan software reliasoft maka diperoleh TTF sebagai berikut :



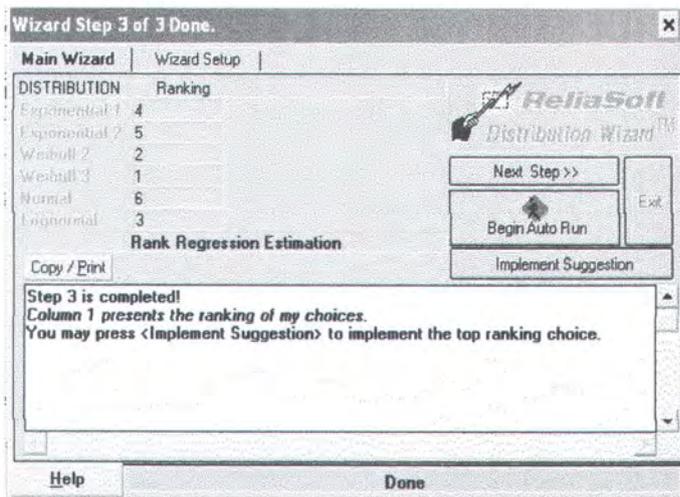
Gambar 4.21 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF



Gambar 4.22 data TTF yang dihasilkan

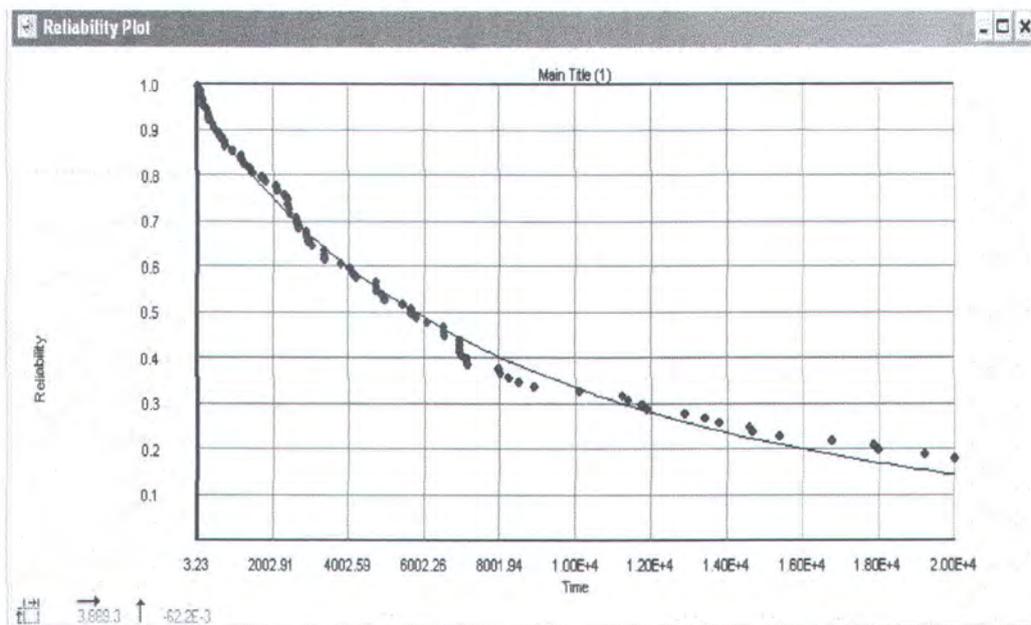
- Untuk menentukan distribusi yang paling baik maka perlu diranking dan untuk distribusi yang paling baik adalah pada ranking pertama seperti terlihat pada gambar dibawah ini

Penentuan jenis distribusi dari data TTF sebagai berikut:

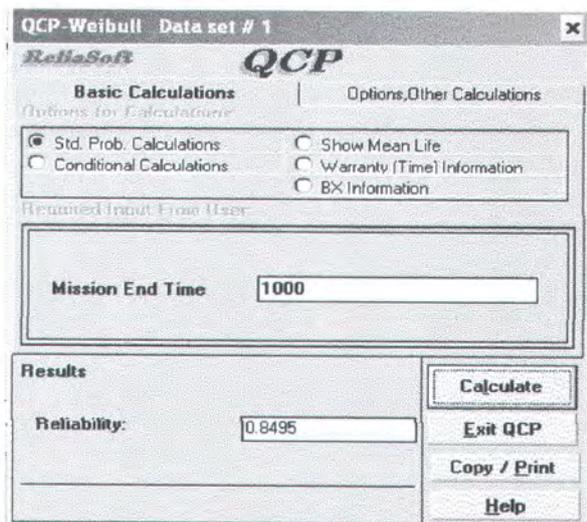


Gambar 4.23 Penentuan jenis distribusi dari data TTF

3. Penentuan Reliability indeks dengan grafik sebagai berikut:



Reliability indeks dalam hal ini ditentukan dalam waktu 1000 jam, maka reliability indeks untuk komponen pipa baja tersumbat adalah sebagai berikut:



Gambar 4.24 Reliability indeks 3

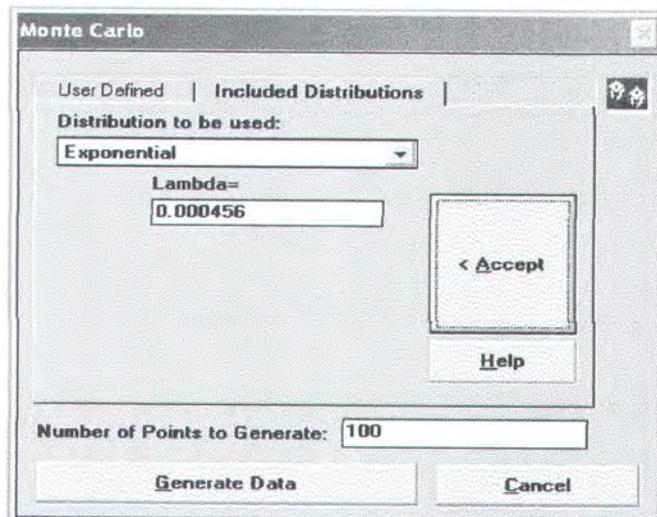
Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa nilai keandalan untuk pipa baja tersumbat dalam 1000 jam operasi adalah sebesar 0.849.

### 7.2.3 Komponen 4( check valve)

Langkah langkah penentuan indeks kehandalan

#### 1. Penentuan time To Failure komponen

Dengan menggunakan software reliasoft maka diperoleh TTF sebagai berikut :



Gambar 4.25 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF

Item #	Time-to-Failure	Subset ID
1	46.0689	
2	73.4021	
3	86.5829	
4	101.1972	
5	160.6799	
6	185.1144	
7	189.6836	
8	243.7907	
9	269.8914	
10	296.7391	
11	343.8341	
12	368.2530	
13	378.3459	
14	390.6762	
15	417.4459	

Gambar 4.26 data TTF yang dihasilkan

2. Untuk menentukan distribusi yang paling baik maka perlu diranking dan untuk distribusi yang paling baik adalah pada ranking pertama seperti terlihat pada gambar dibawah ini

Penentuan jenis distribusi dari data TTF sebagai berikut:

DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	3
Exponential 2	2
Weibull 2	1
Weibull 3	1
Normal	5
Lognormal	4

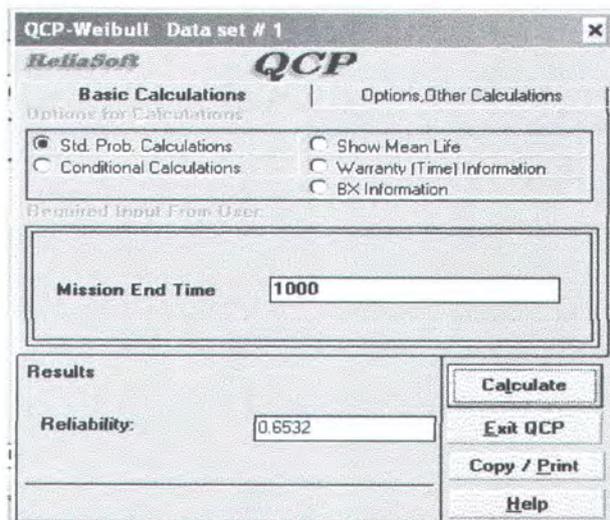
Gambar 4.27 Penentuan jenis distribusi dari data TTF

3. Grafik Reliability indeks adalah sebagai berikut:



Grafik 4.4 reliability untuk Check valve

Reliability indeks dalam hal ini ditentukan dalam waktu 1000 jam, maka reliability indeks untuk komponen check valve adalah sebagai berikut:



Gambar 4.28 Reliability indeks 4

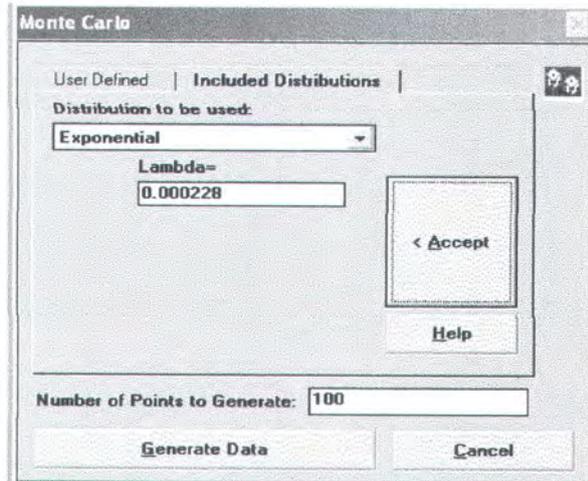
Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa nilai keandalan untuk check valve dalam 1000 jam operasi adalah sebesar 0.6532.

#### 7.2.4 Komponen 5( impeller)

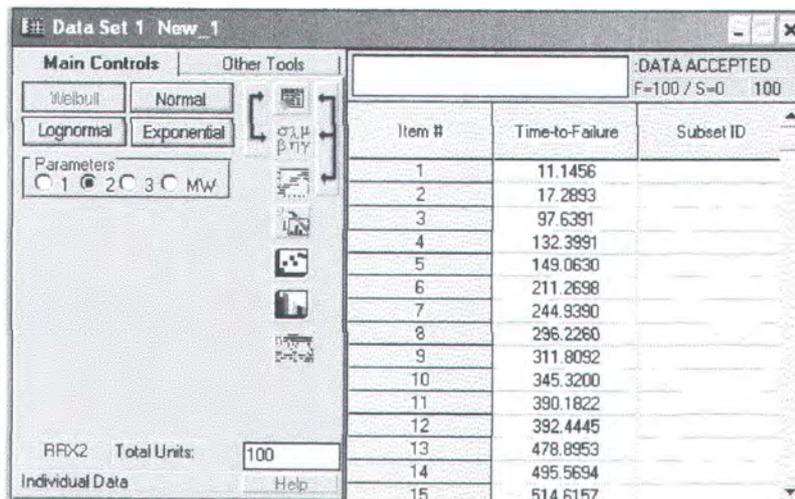
Langkah langkah penentuan indeks kehandalan

### 1. Penentuan time To Failure komponen

Dengan menggunakan software reliasoft maka diperoleh TTF sebagai berikut :



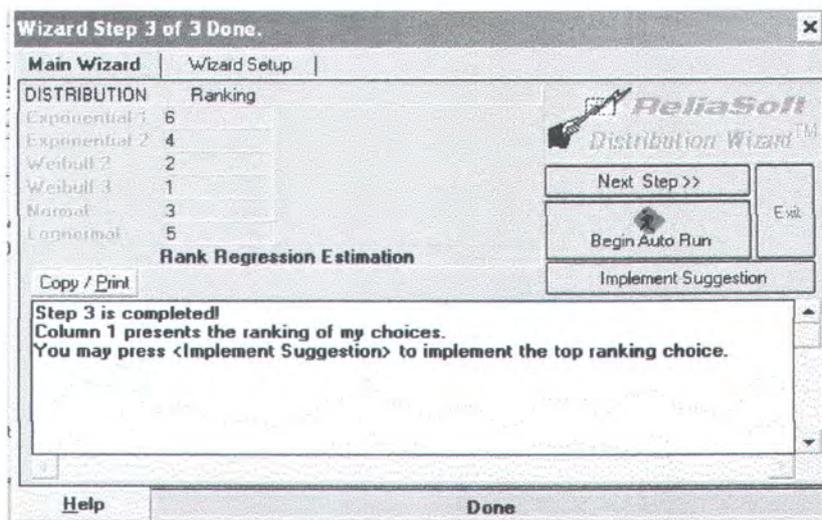
Gambar 4.29 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF



Gambar 4.30 data TTF yang dihasilkan

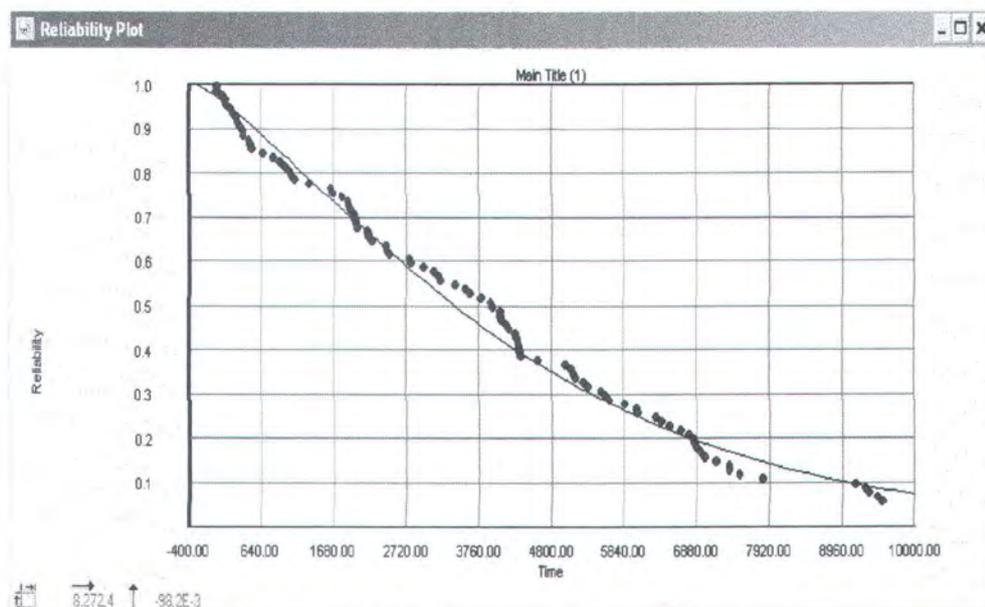
2. Untuk menentukan distribusi yang paling baik maka perlu diranking dan untuk distribusi yang paling baik adalah pada ranking pertama seperti terlihat pada gambar dibawah ini

Penentuan jenis distribusi dari data TTF sebagai berikut:



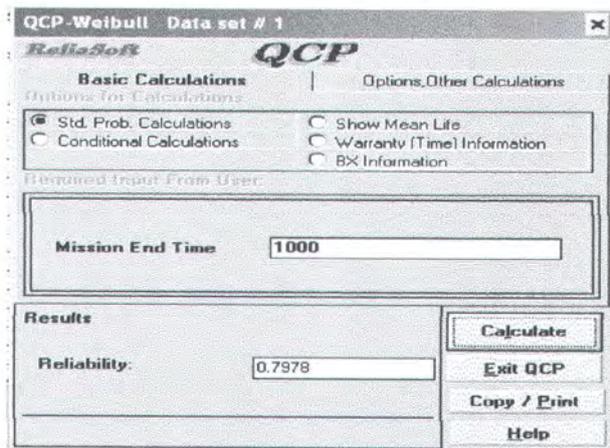
Gambar 4.31 Penentuan jenis distribusi dari data TTF

3. Grafik Reliability indeks adalah sebagai berikut:



Grafik 4.5 reliability untuk Impeller

Reliability indeks dalam hal ini ditentukan dalam waktu 1000 jam, maka reliability indeks untuk komponen impeller adalah sebagai berikut:



Gambar 4.32 Reliability indeks 5

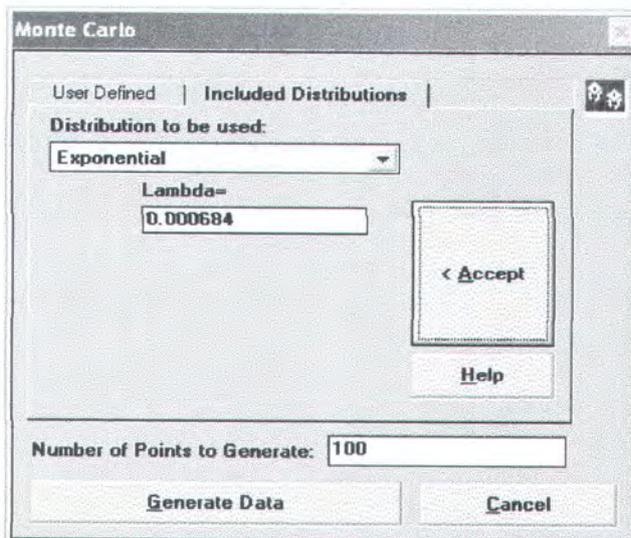
Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa nilai keandalan untuk Impeller dalam 1000 jam operasi adalah sebesar 0.797

### 7.2.5 Komponen 6(inlet filter)

Langkah langkah penentuan indeks kehandalan

#### 1. Penentuan time To Failure komponen

Dengan menggunakan software reliasoft maka diperoleh TTF sebagai berikut :



Gambar 4.33 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF

Item #	Time-to-Failure	Subset ID
1	0.0524	
2	10.5411	
3	37.3266	
4	70.0487	
5	93.0107	
6	96.0989	
7	105.7019	
8	121.1652	
9	146.6386	
10	157.1434	
11	187.2693	
12	187.5072	
13	193.0853	
14	195.1390	
15	195.7839	

Gambar 4.34 data TTF yang dihasilkan

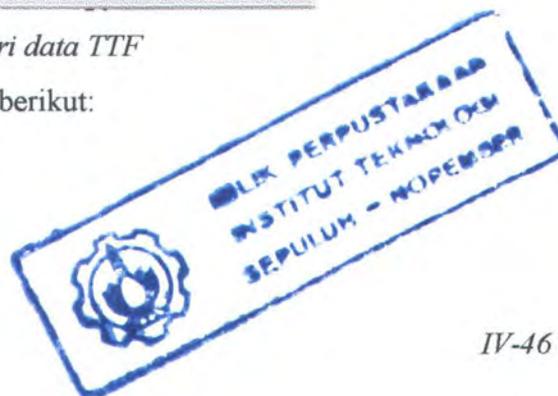
2. Untuk menentukan distribusi yang paling baik maka perlu diranking dan untuk distribusi yang paling baik adalah pada ranking pertama seperti terlihat pada gambar dibawah ini

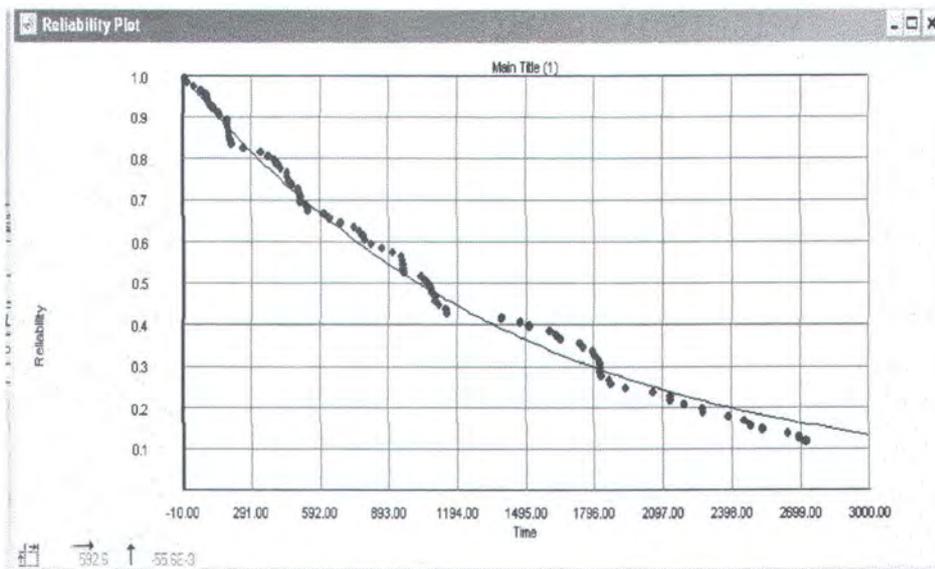
Penentuan jenis distribusi dari data TTF sebagai berikut:

DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	3
Exponential 2	2
Weibull 2	4
Weibull 3	1
Normal	6
Lognormal	5

Gambar 4.35 Penentuan jenis distribusi dari data TTF

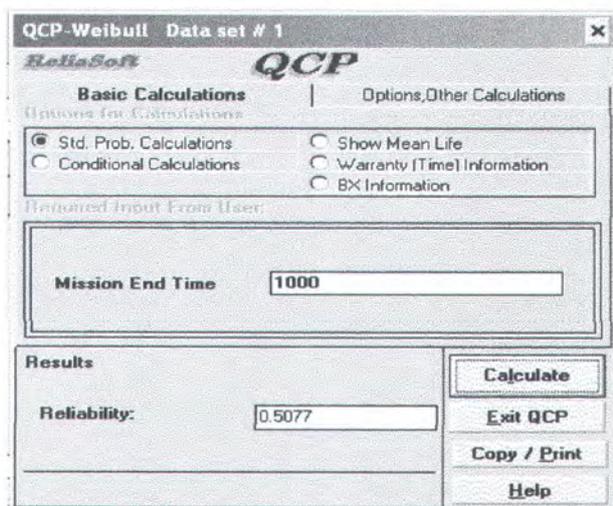
3. grafik Reliability indeks adalah sebagai berikut:





Grafik 4.6 reliability untuk inlet filter

Reliability indeks dalam hal ini ditentukan dalam waktu 1000 jam, maka reliability indeks untuk komponen inlet filter adalah sebagai berikut:



Gambar 4.36 Reliability indeks 6

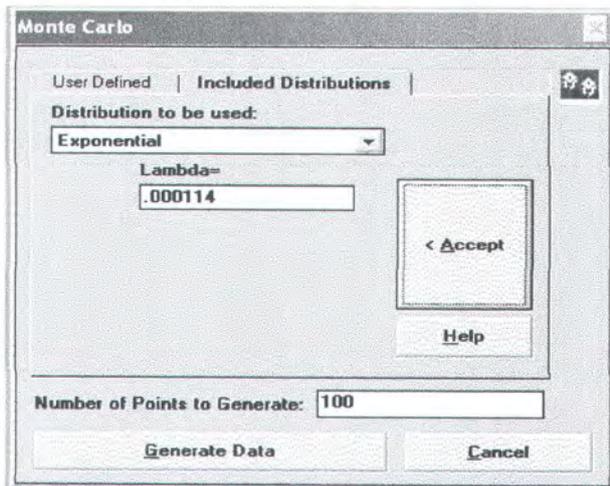
Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa nilai keandalan untuk Inlet filter dalam 1000 jam operasi adalah sebesar 0.507.

## 7.2.6 Komponen 7(seal)

Langkah langkah penentuan indeks kehandalan

1. Penentuan time To Failure komponen

Dengan menggunakan software reliasoft maka diperoleh TTF sebagai berikut :



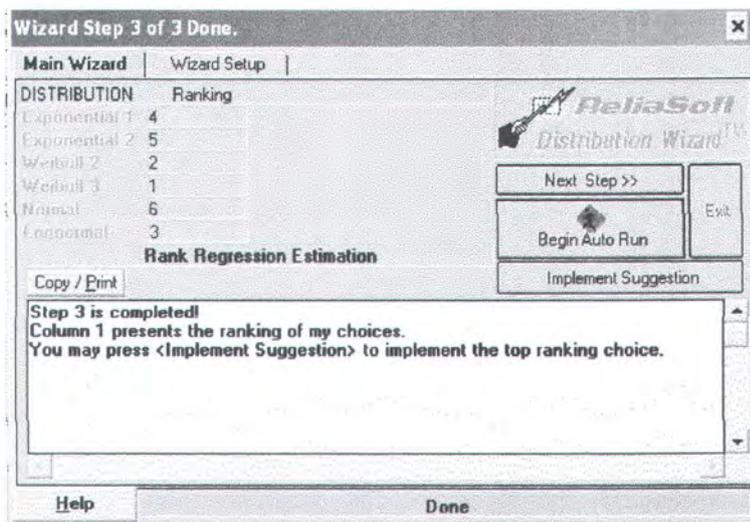
Gambar 4.37 Penentuan distribusi dari data Real untuk mencari TTF

Item #	Time-to-Failure	Subset ID
1	25.0655	
2	96.4061	
3	139.9049	
4	193.6750	
5	193.8177	
6	295.0828	
7	313.9184	
8	346.5563	
9	436.7485	
10	474.6059	
11	568.6564	
12	662.9451	
13	727.7464	
14	749.2926	
15	973.1273	

Gambar 4.38 Data TTF yang dihasilkan

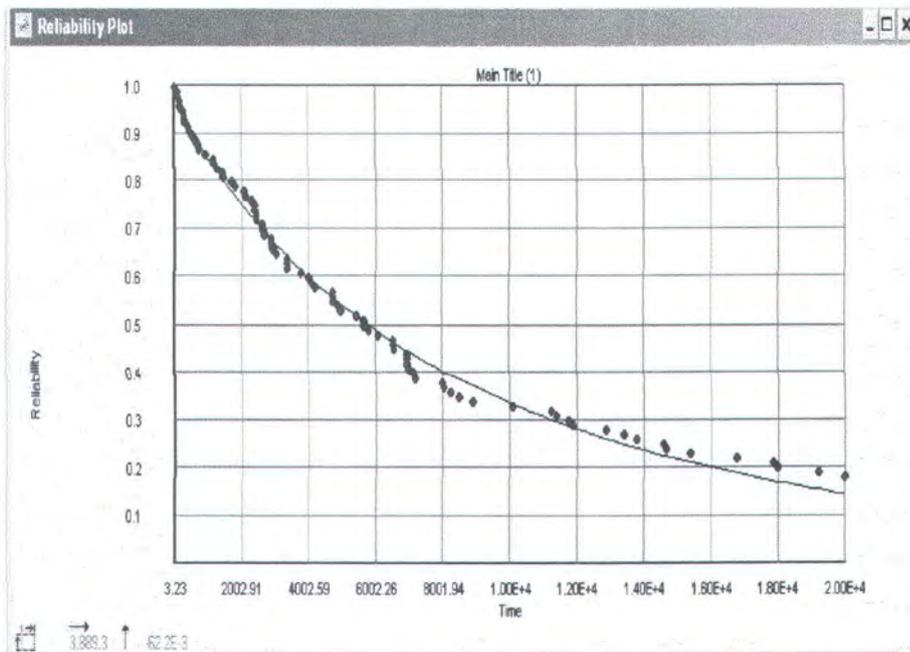
2. Untuk menentukan distribusi yang paling baik maka perlu diranking dan untuk distribusi yang paling baik adalah pada ranking pertama seperti terlihat pada gambar dibawah ini.

Penentuan jenis distribusi dari data TTF sebagai berikut:



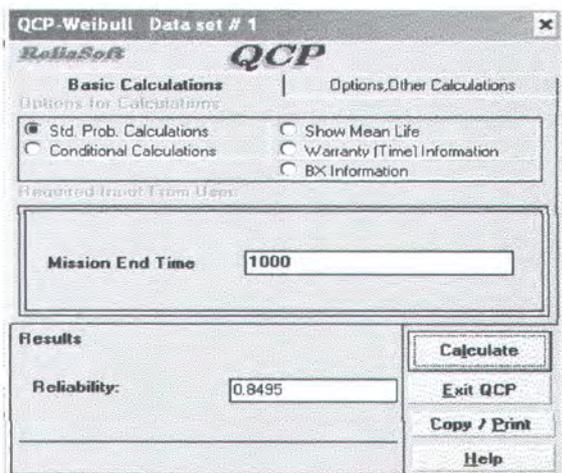
Gambar 4.39 Penentuan jenis distribusi dari data TTF

3 Grafik Reliability indeks yang dihasilkan adalah sebagai berikut:



Grafik 4.7 reliability untuk seal

Reliability indeks dalam hal ini ditentukan dalam waktu 1000 jam, maka reliability indeks untuk komponen seal tersumbat adalah sebagai berikut:



Gambar 4.40 Reliability indeks 7

Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa nilai keandalan untuk pipa baja tersumbat dalam 1000 jam operasi adalah sebesar 0.849.

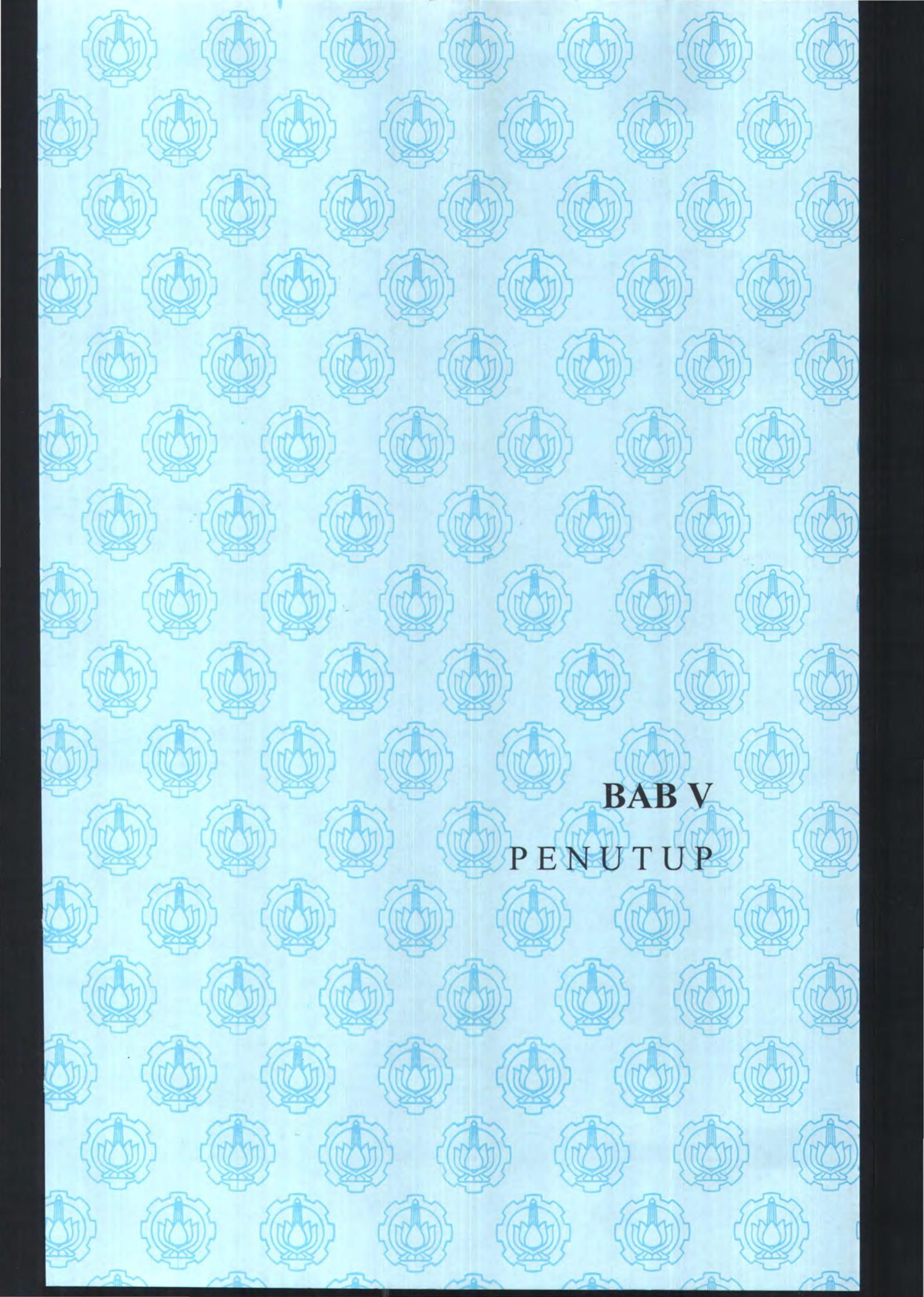
### 7.3 Analisa perhitungan

Dari hasil perhitungan maka didapatkan nilai reliability indeks perkomponen pada  $t=1000$  jam adalah sebagai berikut :

no	komponen	Reliability indeks
1	Regulating valve	0.8
2	Pipa baja bocor	0.849
3	Pipa baja tersumbat	0.849
4	Check valve	0.653
5	impeller	0.797
6	Inlet filter	0.507
7	seal	0.849

Tabel 4.2 indeks keandalan

Dari hasil perhitungan diatas maka dibuat tabel untuk membandingkan kompoen mana yang paling kritis. Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai reliability indeks terkecil adalah pada komponen inlet filter dengan demikian maka komponen kritis pada sistem pendingin adalah inlet filter dapat dibuktikan dengan perhitungan tersebut diatas.



**BAB V**  
**PENUTUP**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1 Kesimpulan.

Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan (*Fault tree analisis*) FTA didapatkan faktor utama yang menyebabkan kegagalan pada sistem bongkar muat pelabuhan semen curah di P.T Semen Gresik yaitu adalah kegagalan pada bagian komponen yang ada pada subsistem pendingin.

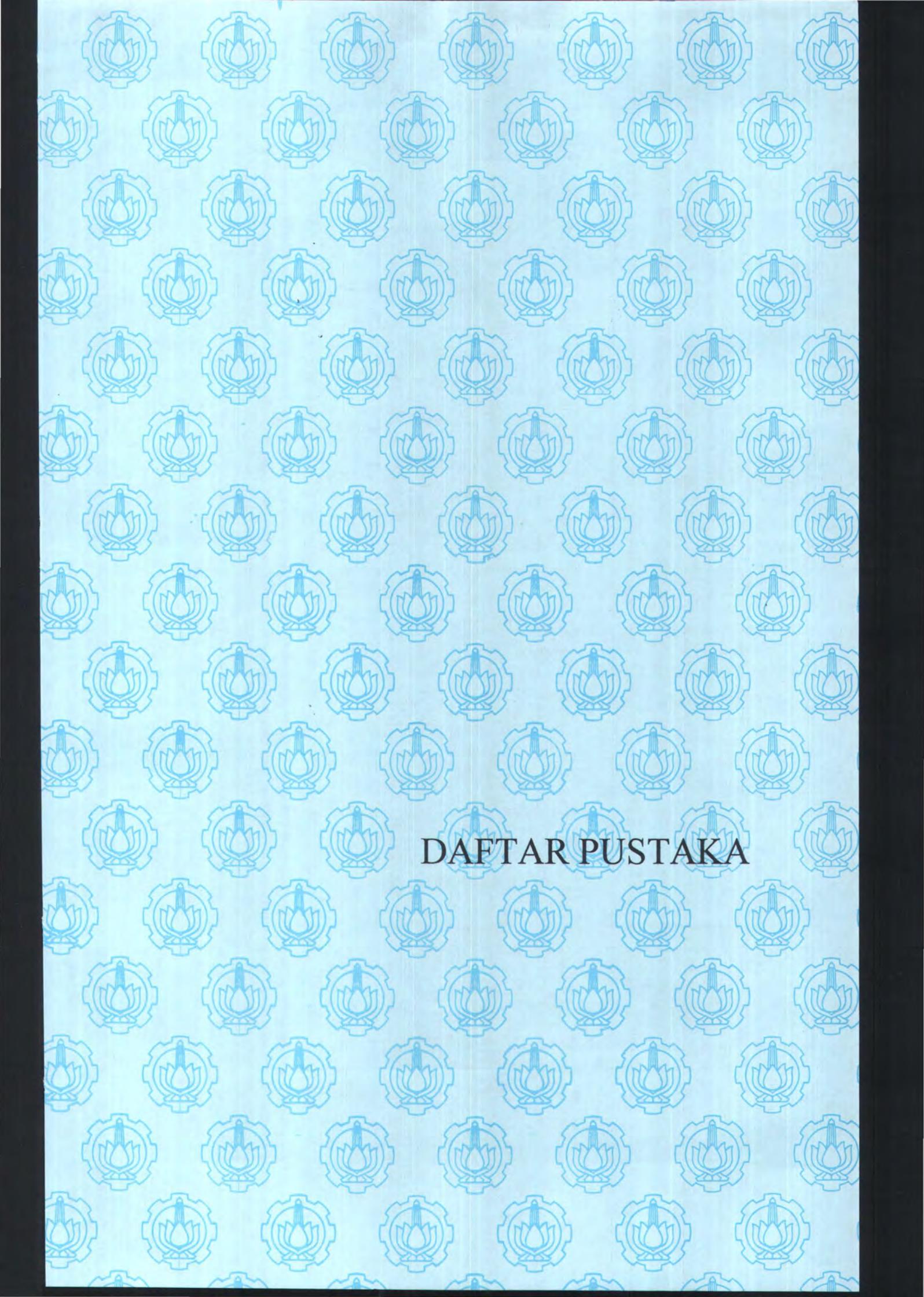
1. Berdasarkan data kerusakan sistem bongkar muat pelabuhan dan komponen didalamnya maka dengan menggunakan software „**FaultREASE**“ penyebab kegagalan subsistem pendingin dapat dengan mudah diketahui.
2. Berdasarkan hasil *criticaly analisis* dengan metode *birnbaum* dan bantuan software „**Reliasoft**“ dan data data kegagalan dari sistem bongkar muat pelabuhan tersebut maka komponen dari subsistem pendingin kompresor yang menyebabkan kompresor tersebut mengalami kegagalan adalah inlet filter pada *setrifugal pump2* yang gagal menjalankan fungsinya kemudian menyebabkan kompresor sebagai motor penggerak utama pada sistem bongkar muat overheating dan autoshtutdown sehingga operasi bongkar muat terhenti atau terganggu. Berdasarkan analisa fault tree adalah Karena nilai probabilitas pada inlet filter adalah paling tinggi dari semua minimal cut set yang ada yaitu 6/yr asumsinya adalah satu tahun ganti baru sebanyak 6 kali. Berdasarkan inspeksi ke lapangan maka penyebab dari urutan kegagalan pada subsistem pendingin tersebut adalah peletakan section line sentrifugal pump terlalu menyorok ke dasar laut sehingga hal tersebut yang mengakibatkan inlet filter sering rusak tidak lama kemudian check valve rusak dan kemudian dengan waktu yang relatif singkat pompa pun rusak

3. Khusus untuk komponen inlet filter yang mempunyai nilai ketidakhandalan yang paling tinggi maka perlu mendapatkan perhatian yang khusus dibandingkan dengan komponen yang lain.
4. Mengingat keadaan pantai yang dangkal dan kotor maka perlu diperhatikan mengenai kontaminasi yang dapat disebabkan oleh air laut.

## V.2 Saran.

Berdasarkan hipotesa yang telah dilakukan maka hal-hal yang perlu dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Setiap komponen dari sistem bongkar muat pelabuhan atau subsistem pendingin dan penumatis sebaiknya mempunyai jurnal kerusakan yang jelas sehingga kondisi semua komponen dapat terpantau atau termonitor dengan baik.
2. Berdasarkan ketentuan pencegahan kavitasi dan hasil perhitungan pada bab IV juga pengukuran pasang surut air laut di pelabuhan tersebut maka Untuk mereduksi kegagalan yang sering terjadi *section line* pompa dimana terdapat inlet filter dan check valve sebaiknya jarak ujung *section line* yang terbaik dengan dasar laut ditambah yaitu sekitar 330cm dari dasar laut agar lifetime inlet filter lebih lama dan terhindar dari kontaminasi lumpur yang banyak mengandung pasir sehingga komponen khususnya pompa sentrifugal 2 dan subsistem pendingin secara umum bisa terjaga dan proses pendinginan tidak terganggu.
3. Sebaiknya bentuk maintenance diganti dengan bentuk pencegahan yaitu (*Preventive Maintenance*) dengan mengacu pada manual book permesinan yang disediakan oleh pihak fabrikasi sehingga kehandalan sistem dapat terjaga.
4. Mengingat kondisi pantai yang dangkal dan perairan yang kotor maka untuk memperpanjang lifetime inlet filter maka sebaiknya filter dilapisi sebanyak dua lapis sehingga air laut yang masuk kedalam sistem pendingin kebersihannya lebih terjamin dan pompa terjaga dari kegagalan.



DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR PUSTAKA

W.E. Vesely, U.S and F.F. Goldberg, U.S Nuclear Regulatory Commission,  
"Fault Tree Handbook ", January 1981.

Nonelectronic Parts Reliability Data ( NPRD ), Reliability Analysis Center, tahun  
1991.

Software FaultrEASE Version 2.1a, User's Manual, 1996.

Ir.Dwi Priyanta M.SE," Keandalan dan perawatan", Modul kuliah di jurusan  
Teknik Sistem Perkapalan FTK,ITS , Surabaya 2005.

Istruction manual, "Unloading unit type DR, H.W.CARLSEN" data Skunder  
sistem bongkar muat pelabuhan semen curah P.T Semen Gresik, 1978

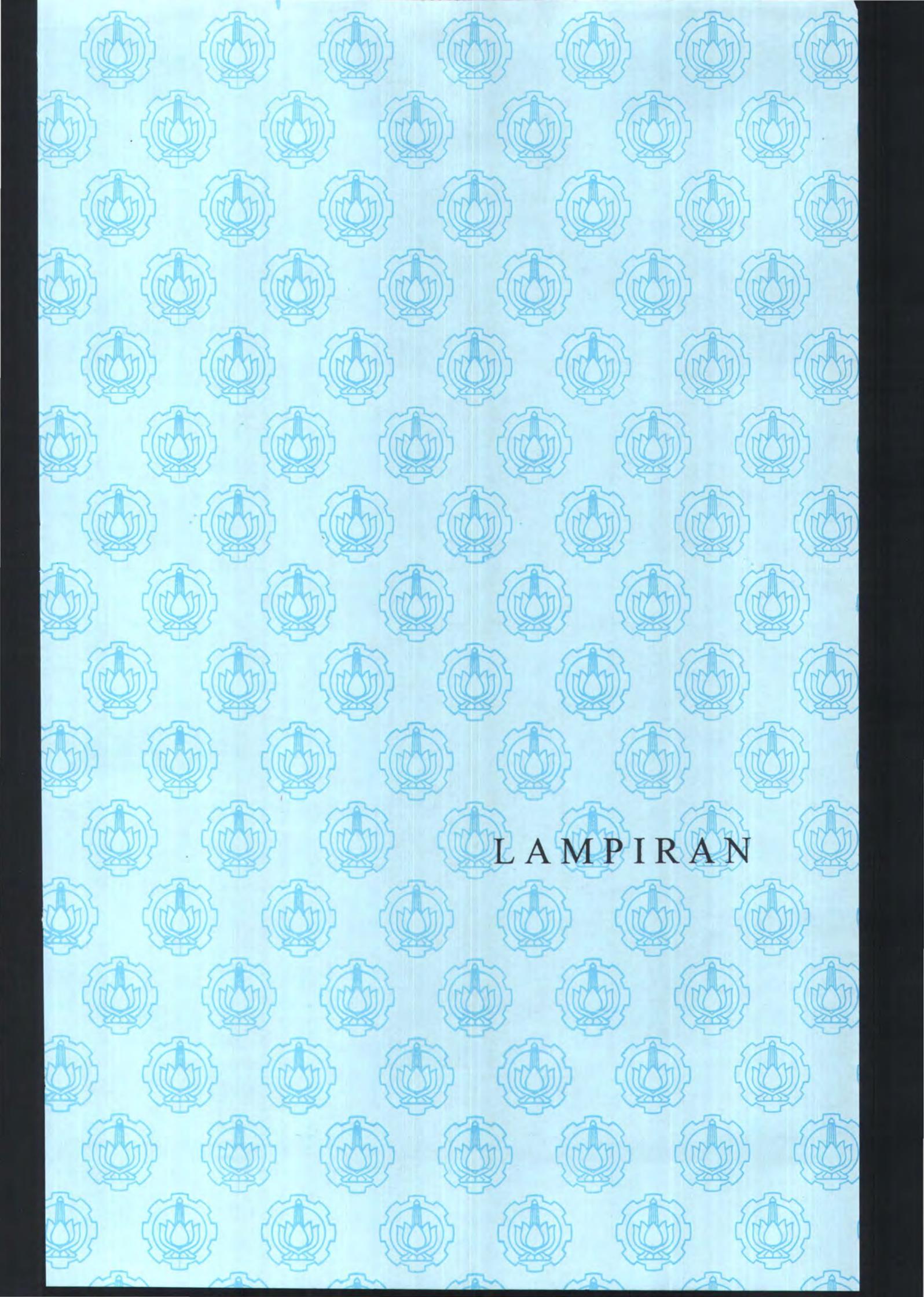
Tugas Akhir Heri, a-1, 621-436," Analisa kegagalan Kompresor di seksi Utilitas  
kompartemen Tuban 3 P.T Semen Gresik"2004

Sularso, "Pompa dan Kompresor"2000

Manual book Kompresor MV410-4 dan MV310-3," Unloading unit type DR,  
H.W.CARLSEN" data Skunder sistem bongkar muat pelabuhan semen curah P.T  
Semen Gresik, 1978

[www.suerdrup.com](http://www.suerdrup.com) "Fault Tree Analysis Process" dikunjungi pada tanggal 14  
Nopember 2005

[www.suerdrup.com](http://www.suerdrup.com) "ANSI (Draft American National Standard)" dikunjungi pada  
tanggal 20 Desember 2005



LAMPIRAN





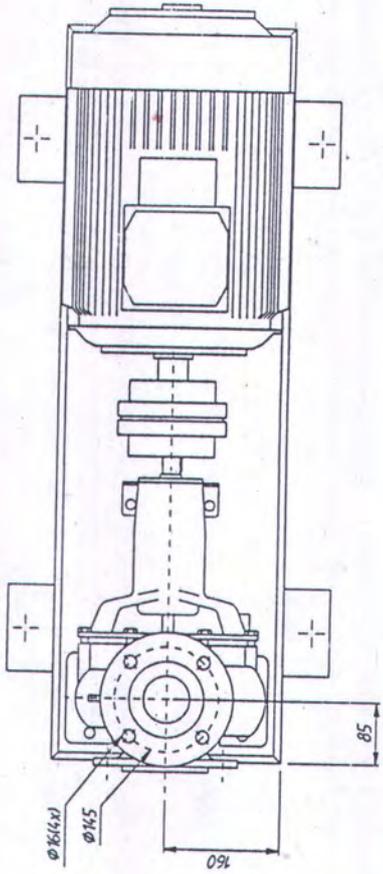
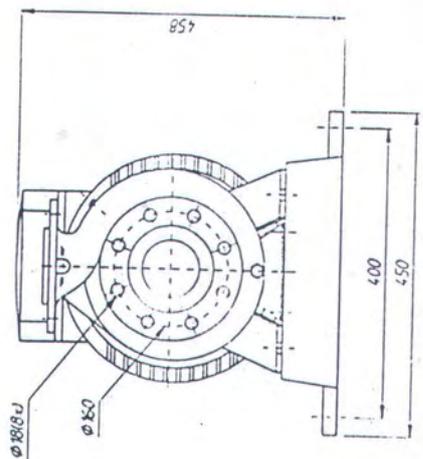
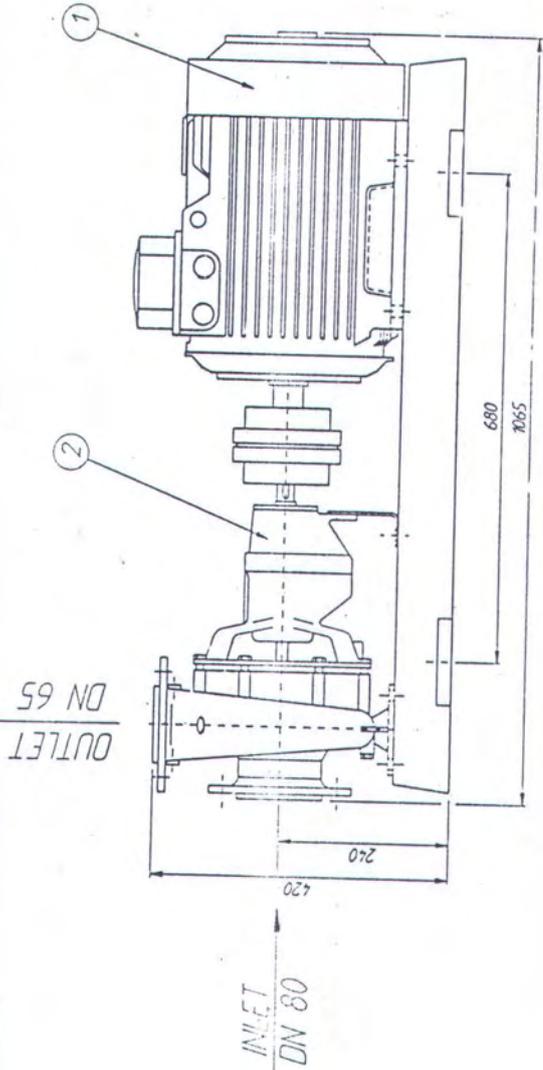
## COMPRESSOR VM410:3/VM310:3 COOLING SYSTEM

Cooling water system for compressor VM410/VM310 consists of:

1. Watercooled oilcooler, which is supplied through a 1" line. The valves in this line can be fully opened and if adjusting, the outlet side valve should be closed. By checking oil temperature on compressor control panel and gradually/in steps, close the valve until correct temperature has been reached. *berny sur 2*  
*reca pa*
2. Each watercooled aircooler has one 2" valve on each side, inlet and outlet. Also here the valves are open, when starting. During operation or at constant pressure of approx 2,0 bar the temperature at outlet cooler (airtemp) can be adjusted to correct level. The air temperature on working condition should be around 70°C and is achieved by closing the water outlet valve on the cooler gradually. *berny sur 2*

### Note:

- a) Change of temperature in any system, when adjusting, needs time to become permanent and to rush the process will only result in inaccurate adjustment. *berny* *ajustation*

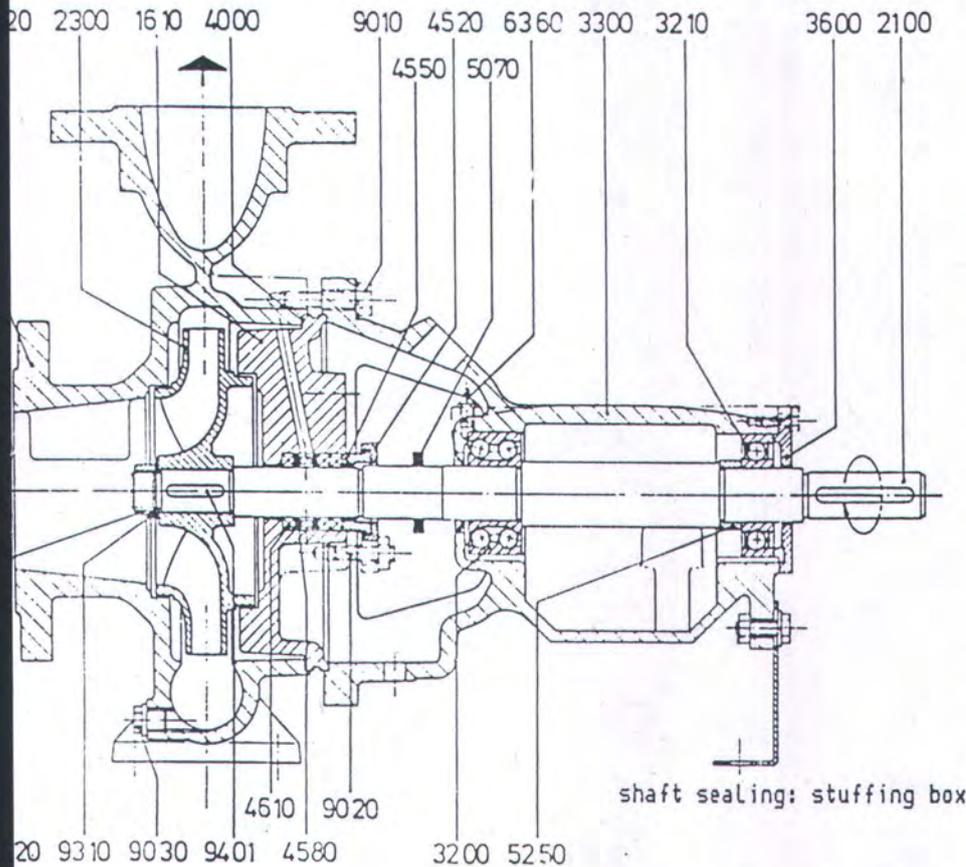


NOTE  
FOUNDATION DRILLING B3-N5  
WEIGHT: 200KG

2	1 WATERPUMP ZINC 65-125	11 KW	NOTE FOR THE MOTOR, THE WEIGHT IS APPROXIMATELY 100 KG. THE WEIGHT OF THE PUMP IS APPROXIMATELY 100 KG. THE TOTAL WEIGHT IS APPROXIMATELY 200 KG. THE WEIGHT OF THE FOUNDATION DRILLING IS APPROXIMATELY 200 KG. THE TOTAL WEIGHT IS APPROXIMATELY 400 KG.
1	1 ELECTRIC MOTOR ABB, MBT160 MA		
Pos	Quan	Description	
Riad på Mekano Verst.			
MALMÖ			SVERIGEN
GENERAL ARRANGEMENT			
WATERPUMP ZINC 65-125			
Rev	FER/PA		
Date	9/0720		
Scale	1:5		
No	B2-142		



X	X	X	X	X
to	for	Activity	Material	Task



- 1020 volute casing
- 1610 cover
- 2100 shaft
- 2300 impeller
- 3200, 3210 antifriction bearing
- 3300 bearing carrier
- 3600 bearing cover
- 4000 seal
- 4520 gland
- 4550 stuffing box sleeve
- 4580 lantern ring
- 4610 gland packing
- 5070 splash ring (thrower)
- 5250 spacer
- 9010 hexagon screw
- 9020 stud
- 9030 screwed plug
- 9220 shaft nut
- 9310 safety tab washer
- 9401 key

shaft sealing: stuffing box

**Dismantling:**

Before dismantling the pump, unscrew plug 9030 and stop the liquid flow out.

There is no need to remove volute casing 1020 from the pipework.

Unscrew hexagon screws 9010.

Take precautions for supporting the compl. sub-assembly.

Pull the compl. subassembly out of the volute casing, loosen shaft nut 9220, safety tab washer 9310.

Dismantle impeller 2300 and key 9401.

Take off cover 1610 with compl. shaft seal and disassembly, pull off thrower 5070.

**NOTE:** At item 1610 watch the position of the stud.

Loosen bearing cover 3600.

Pull out compl. shaft with antifriction bearing 3200, 3210 and spacer 5250.

On parts, check the sealing and running faces for wear, if necessary fit spare parts.

**Assembly:**

The assembly procedure is directly reverse from the dismantling.

**NOTE:** At the antifriction bearing 3200 the insertion groove of the balls must point towards the pump

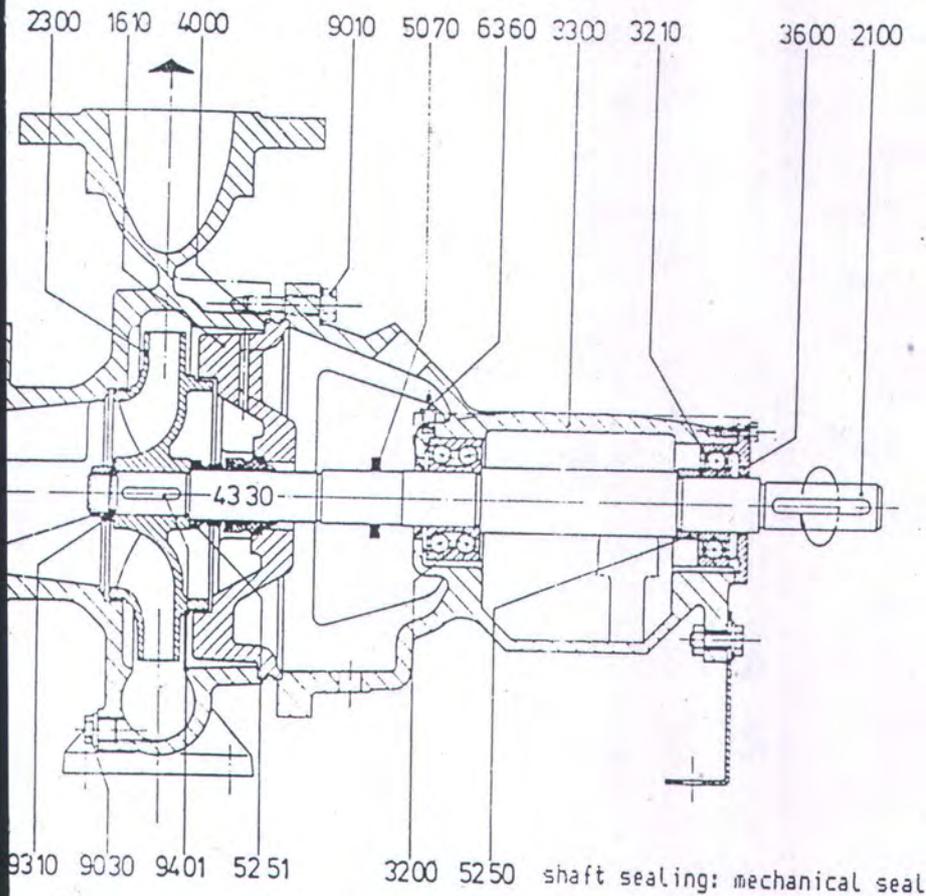
**NOTE:** Do not damage the sealing faces.

The casing is sealed by a paper seal. For pushing on the cover incl. packing, use assembly sleeve.

Tighten the hexagon screws by means of torque wrench.

Bolt size	M 8	M 10	M 12
Tightening torque Nm	12	25	40
(kpm)	1.2	2.5	4.0

**Tests:** Subject the pumps up to size 80-... to a pressure test with 21 bar, from size 100-... on with 13 bar and re-install in the plant. Follow close the Operation Instructions No. 143.65501.6..01 E.



- 1020 volute casing
- 1610 cover
- 2100 shaft
- 2300 impeller
- 3200, 3210 antifriction bearing
- 3300 bearing carrier
- 3600 bearing cover
- 4300 seal
- 4330 mechanical seal
- 5070 thrower
- 5250, 5251 spacer
- 9010 hexagon screw
- 9030 screwed plug
- 9220 shaft nut
- 9310 safety tab washer
- 9401 key

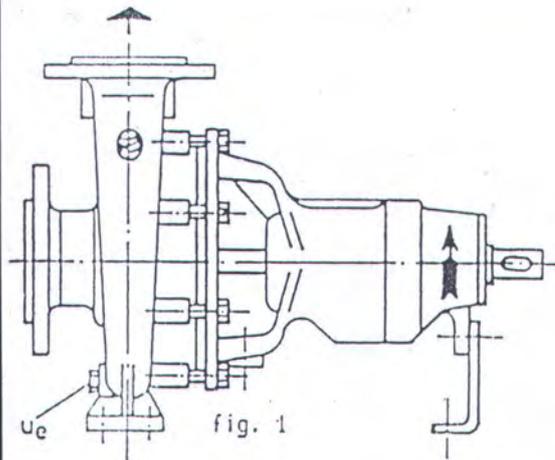
9310 9030 9401 5251 3200 5250 shaft sealing: mechanical seal

**Dismantling:**  
 In dismantling the pump, unscrew the screwed plug 9030 and let the liquid flow out. The volute casing 1020 does not need to be removed from the pipework.  
 Remove hexagon screw 9010.  
 Take precautions for supporting the complete assembly.  
 Remove the complete subassembly out of the volute casing 1020. Loosen shaft nut 9220, safety tab washer 9310.  
 Remove carefully impeller 2300, key 9401, spacer 5251 and cover 1610 with mechanical seal.  
 Do not damage mechanical seal and shaft.  
 Remove bearing cover 3600.  
 Remove shaft compl. with antifriction bearing 3200, 3210 and spacer 5250.  
 After disassembly, check the sealing and running faces and if necessary fit spare parts.

**Assembly:**  
 The assembly procedure is directly reverse from the dismantling.  
**NOTE:** At the antifriction bearing 3200 the insertion groove of the balls must point towards the pump.  
 When fitting the mechanical seal, pay special attention to cleanliness. Watch that you do not damage the sealing faces or the seal rings. Use assembly sleeve.  
 The casing is sealed by a paper seal.  
**NOTE:** For pushing on the mechanical seal use an assembly sleeve.  
 Tighten hexagon screws with torque wrench

bolt thread size	M 8	M 10	M 12
tightening torque Nm	12	25	40
(kpm)	1.2	2.5	4.0

**Tests:** Subject the pumps to a pressure test and re-install them in the plant. Follow close the Operation Instructions No. 143.65501.6..01 E.

**1. Generalities:**

Guarantee can only be assumed by SIHI, if these instructions are carefully observed during installation and operation of the pump. When asking for further information please indicate the data of the maker's name plate and the pump serial number. These Operation Instructions do not replace the local safety regulations. The user is responsible for the strict observance of same.

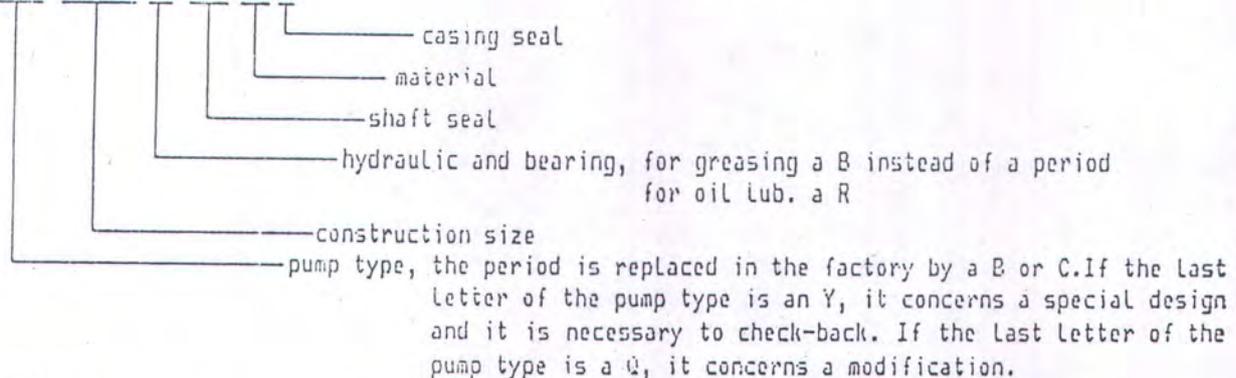
**2. Description:**

The ZLN pumps (fig. 1) are single-stage volutetype centrifugal pumps to DIN 24255. They are suitable for handling pure and turbid liquids. Although impurities up to a grain size of approx. 3 mm can be handled, the impurities cause wear and tear and shorten the service life.

**Type designation:**

The maker's name plate indicates the construction size as well as the design.

Example: ZLN. 40-160 A. 041 0B 2

**Technical data:**

Drive: electric motor  
combustion motor upon request

Material: cast iron: 0B  
cast iron with bronze impeller: 0C  
bronze: 3B  
stainless steel: 4B

Temperature: max. 140 °C uncooled  
max. 170 °C cooled

Casing pressure:  
material design  
4B max. 16 bar from -40 °C to 120 °C  
14 bar up to 170 °C  
0B, 0C, 3B max. 16/10 bar from -40 °C to 120 °C  
14/9 bar up to 170 °C

**Shaft sealing:**

The shaft can be sealed either through stuffing box or standard mechanical seal.

code 041: internally flushed, uncooled stuffing box.  
temperature range: -40 °C to +110 °C

code 051: (flushed from external source) and

code 501: (cooling) possible as variant (modification)

code AAE: internally flushed, uncooled, unbalanced single standard mechanical seal.  
O-rings Perbunan  
temperature range: -40 °C to +120 °C

code AA1: same as AAE, but O-rings Viton  
temperature range: -40 °C to +140 °C

code AAW: internally flushed, uncooled, unbalanced single standard mechanical seal of hard-metal, O-rings Perbunan  
temperature range: -20 °C to +100 °C

code A0S: same as AAW, but O-rings Viton, hard-metal solid  
temperature range: -40 °C to +140 °C

**Please observe:**

Technical rules and safety regulations.  
Casing pressure = inlet pressure + zero delivery head.

Flange connection sizes:  
material design 4B DIN 2501 PN 16  
material design 0B, 0C, 3B DIN 2501 PN 16/10 1)

**Direction of rotation:**

clockwise when seen on the pump from the drive

Permissible viscosity: 300 mm<sup>2</sup>/s

Permissible switching frequency: 15 times per hour

In case of material design 0B, 0C, 3B up to construction size 80-315 PN 16,  
from construction size 80-400 PN 10.

The following speeds must be observed:

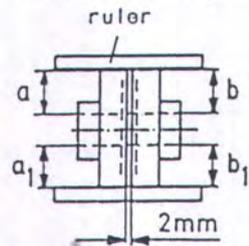
construction size	max. speed rpm	construction size	max. speed rpm	construction size	max. speed rpm	constr. size	max. speed rpm
25 32-160 32-200	3600	32-250 40-250 50-250 65-200 80-160 <sup>3</sup> 125-200	3000	40-315 50-315 65-315 80-315 80-400 100-315 125-250 150-200 150-250	1800	150-250	1450
25 40-160 40-200							
25 50-160 50-200							
25 65-160 65-200							
80-160 80-200							
100-160 100-200							

in material 42

**Installation of the unit:**

During installation and operation the technical rules and safety regulations must be observed. Before assembly check the direction of rotation (marked by arrow on the pump casing). Install pump and prime mover free of tension and carefully align the base plate. Remove the plugs which have been put in the branches as protection during transport just immediately before connecting the pipelines. The shafts of the pump and motor must be in line with each other. The distance between the SIHI coupling halves should be approx. 2-3 mm (fig. 2). In case of other couplings see documentation of the manufacturer. The coupling must be pulled on carefully without beating on it (if necessary heat it up for pulling it on). After mounting on the foundation, and after connecting the pipelines check the alignment of the coupling and re-align if necessary. The coupling must be protected by a contact safety device to DIN 31001 for preventing accidents. A motor protection switch must be provided as well.

**CAUTION:** For working on components under tension, pull out the power supply plug and switch off the main switch and turn out the fuse.



a must be a<sub>1</sub>  
b must be b<sub>1</sub>  
adjustment of the coupling clearance  
fig. 2

**Laying of the pipelines:**

The nominal widths of the suction and discharge lines shall not be smaller than the nominal widths of the pump branches. The pipelines must be supported and must easily screw onto the pump, in order to avoid distortions. The flow resistances, especially in the suction line must be kept as low as possible. Clean all pipelines before assembly. They must be free from welding beads, ridge, rust, etc. The flange gaskets must not protrude to the inside.

The flow direction is marked on the pump by an arrow.

Suction and feed line

The feed line (fig. 3) must be layed slightly inclined to the pump, whereas, (fig. 4) the suction line must be ascending, so that no air pockets can develop.

Avoid abrupt changes of cross section and direction. Bridge unequal nominal width of suction branches and suction line by fitting eccentric transition pieces (fig. 5). The flow velocity in the suction and feed lines should not exceed 2 m/sec. to max. 3 m/sec. In case of difficult pumping conditions, a flow normalizer of 10-20 x pipe diameter must be fitted before the pump inlet.

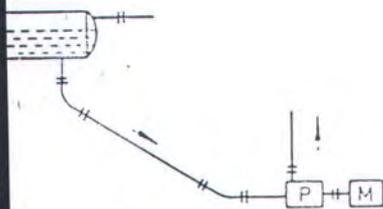


fig. 3  
pump operation with positive suction head

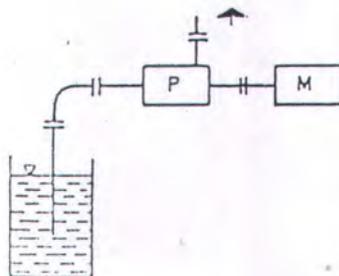


fig. 4  
pump operation with suction lift

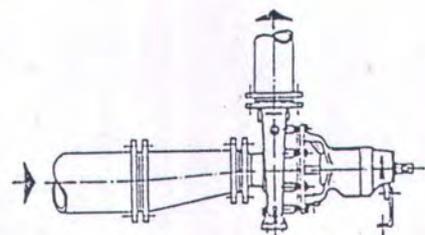


fig. 5  
how to connect eccentric transition pieces

Discharge Line

The discharge line of the pump be layed steep. For regulating the flow a slide valve should be installed close to the pump. For longer pipelines a non-return flap valve should be provided in addition, to avoid detrimental water hammer in the pump and foot valve.

## Operation:

Before starting up the plant subject the piping of the system to a pressure test.

**CAUTION:** The pump is preserved. When residuals of the preserving agent shall not enter the pumping medium, the pump must be flushed. The preservation agent is water-soluble.

Before the first start-up of the pump fill pump and suction line with pumping liquid. Before filling the pump, the lines (if any) for flushing from external source and cooling water must be opened; check the through-flow.

**CAUTION:** In case of hot liquids the pump must be filled slowly, in order to avoid distortions and damages through heat shocks.

Check the alignment of the coupling. Coupling halves not in line cause more wear.

The direction of rotation must be in accordance with the direction indicated by arrow on the pump casing.

Avoid checking the direction of rotation with not-filled pump.

If the direction of rotation is checked, however, in case of design with mechanical seal, before filling the pump, the motor should be switched on just very shortly (jerked on), to avoid in any case that the mechanical seal runs dry.

In case of pumps equipped with stuffing box, make sure that the nuts (screws) of the gland are tightened easily and evenly. Too much and uneven tightening cause hot-running and damage.

In case of oil-lubricated bearings the oil level in the bearing carrier must be checked (oil level indicator). The pumps are delivered from the factory **without** oil filling.

In case of greased bearings, the bearings are provided in the factory with grease filling.

On starting up the pump compare the direction of rotation of the pump with the direction of rotation marked on the pump casing. The pump shall be started with the discharge side closed. Just when the full speed is reached, open the slide valve real slowly until the required performance values are indicated. The slide valve fitted on the suction side must be kept entirely open as long as the plant is operating.

During operation the following instructions must be observed:

Keep checking the speed and manometric total head of the pump.

See to it that the pump runs free from vibration.

Check the liquid level in the feed resp. suction container.

Keep bearing temperature under control (max. 50 °C above room temperature, max. temperature 100 °C).

For the packing to get 'broke-in' tighten the gland just slightly (even with heavier leakage at the beginning). After approximately 30 min. retighten the gland to the extent that the stuffing box keeps dripping just a little. Check repeatedly till the leakage gets evenly (approx. 20 to 40 drops per minute; at extreme application conditions and high temperatures also more).

When the leakage becomes excessively high, which is not permissible, and when the leakage cannot be reduced by retightening the gland, the gland packing is worn out, and must be replaced by a new one.

External sealing of stuffing box (code 051)

External sealing of the stuffing box is recommendable when easily flammable, toxic, bad smelling, abrasive liquids, or liquids which tend to crystallize are handled.

The sealing liquid pressure required for external sealing depends on the pump type and the operating conditions. Since no generally valid rules can be given here, the required sealing liquid pressure must be enquired in the factory. Please indicate, when enquiring, the operating conditions, like output, delivery head and kind of pumping liquid.

Location of the sealing liquid connections see fig. 6.

Cooling of the stuffing box (code 501)

When pumping a liquid which evaporates at atmospheric pressure, the stuffing box must be cooled, in order to prevent dry running of the gland packing, for example when hot water from 110 °C on is being pumped.

The shaft cooling section which is formed through a thin-wall cooling jacket serves for an intensive cooling of the shaft seal, without unduly taking out heat from the medium being pumped.

cooling water requirement:

0.15 to 0.3 m<sup>3</sup>/h

inlet temperature of the cooling liquid:

15 to 25 °C

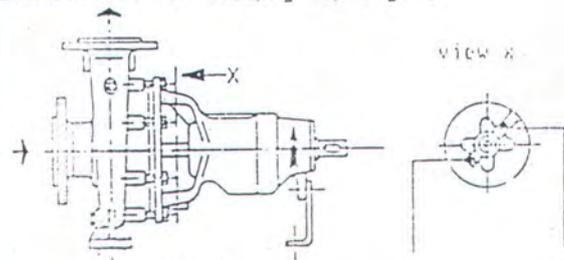
permissible temperature increase of the cooling water: approx. 35 °C

permissible temperature of the pumping liquid: approx. 170 °C

permissible cooling water pressure:

6 bar

connections for cooling see fig. 6



- $u_k$  connection for intensive cooling - inlet;  
at shaft sealing 501
- $u_k'$  connection for intensive cooling - outlet;  
at shaft sealing 501
- $u_s$  sealing liquid connection - inlet;  
at shaft sealing 051
- $u_c$  sealing liquid connection - outlet;

The regulating valve shall be located in the outlet.

When switching off the pump, the cooling water is to be shut off only after the pump has cooled fully off (at least 15 minutes).

Before shutting off the plant, close regulating member of the discharge line. After shutting off the pump, the liquid must be drained out of the plant (screwed plug  $u_2$  fig. 1) if there is the danger of freezing-in. In case of longer standstill fill in preservation agent.

#### Putting back into operation

Before putting back into operation, watch that the pump shaft does not turn backwards. That could lead to shaft damage.

#### **Maintenance:**

After the run-in period the pump requires just little maintenance.

#### Bearing

##### Greasing (code B)

The first grease filling the antifriction bearing receive in the factory. Re-greasing can be done with a grease gun through the grease nipple provided (DIN 71412 form A).

greasing times: at 2900 rpm about every 2500 service hours  
at 1450 rpm about every 5000 service hours

grease quantity: bearing carrier 25 (shaft  $\phi$  at drive journal 24 mm) 9 grams  
bearing carrier 35 (shaft  $\phi$  at drive journal 32 mm) 15 grams  
bearing carrier 45 (shaft  $\phi$  at drive journal 42 mm) 22 grams

After approximately 10 000 service hours, latest however after 2 years, the antifriction bearings must be taken out, washed and filled with new grease. If an antifriction bearing with grease filling for service life is fitted at the drive side (additional code 2RS), the bearing must be exchanged.

In case of very unfavourable operating conditions (wet or dusty environment or high ambient temperatures) the greasing intervals must be very shorter.

For new grease fillings, resp. for re-greasing only high-quality Lithiumsaponified antifriction bearing grease should be used, for example: Mobilux 2, Shell Aero Grease 16, Esso Unirex N3.

##### Oil-lubrication (code R)

The pumps are delivered ex factory without oil filling. The bearing carrier must be filled with oil before the first start up of the pump. The following must be observed:

Checking the oil level through an oil level eye.

The bearing carrier must be filled with oil, through the oil filling hole, until the mark (middle of eye) on the oil level eye. The oil level shall not get higher than the mark on the oil level eye.

##### Oil-lubrication with oil level regulator

Oil level checks via an oil level regulator.

The bearing carrier must be filled with oil, through the oil filling hole, until the oil shows up in the adaptor, with the oil container opened. Now the oil container is filled up and closed (fig. 7). From the oil container so much oil runs now into the bearing carrier, till the required oil level is reached. As long as oil is in the oil container, the oil level in the bearing carrier is high enough.

Quantity of oil required:

bearing carrier 25 (shaft  $\phi$  at the drive journal 24 mm) approx. 0.4 litres

bearing carrier 35 (shaft  $\phi$  at the drive journal 32 mm) approx. 0.5 litres

bearing carrier 45 (shaft  $\phi$  at the drive journal 42 mm) approx. 0.7 litres

oil lubrication times:

New bearings with oil filling - the oil must be renewed after approx. 200 hours. Afterwards after approx. 1 year, when the bearing temperature is always less than 50 °C and if there is not much danger of contamination. \*At a bearing temperature till 80 °C, and if there is the danger of contamination, the oil filling must be renewed approximately every six months.

Only high-quality oils to DIN 51517 should be used, for example Shell Vitrea 46, Esso Esstic 46.

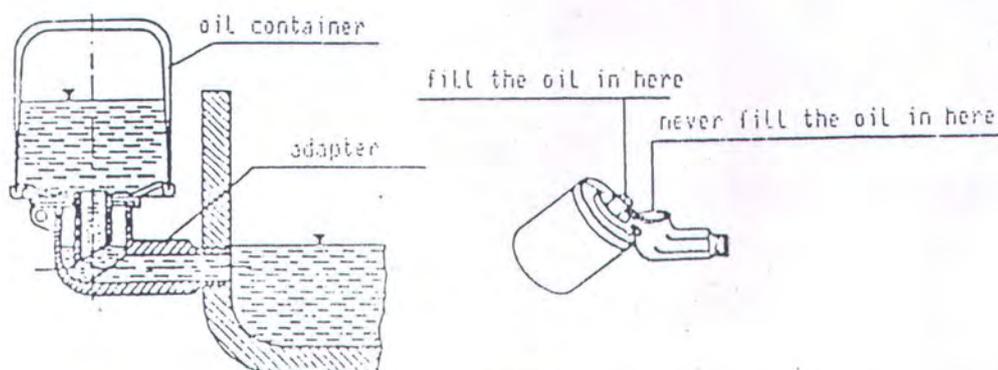


fig. 7

## 2.2 Mechanical seals

The mechanical seal has no or just little leakage losses. In case of strong leakage the mechanical seal must be checked over.

## 3. Stuffing box

When due to leakage it becomes necessary, the stuffing box must be retightened (see item 7.1). After longer operation time and after often retightening, the packing rings have lost their elasticity. Therefore we recommend to exchange the packing material in regular intervals. The guide value is a service time of approximately 2500 hours or retightening the gland by half of a packing ring.

## 4. Repacking

For repacking, the used up stuffing box rings as well as the seal ring must be carefully removed from the shaft seal chamber. The shaft resp. the shaft sleeve must not be damaged, otherwise there is no proper sealing anymore. Cut the new soft packing rings diagonally and open them at the joint to form a helix and put them on the pump shaft and bend them back to form a ring.

Pre-pressed graphite packing rings must be cut in half by two helical cuts, if the pump is not disassembled.

Push the packing rings as well as the seal ring in the right place (fig. 8) into the sealing chamber, by the aid of the gland, with the cutting joints staggered by 180 °C.

Tighten the nut on the gland evenly until you feel when turning the pump shaft by hand a resistance. If the pump is disassembled for repacking, push the packing rings in their original form, i.e. in closed condition over the shaft.

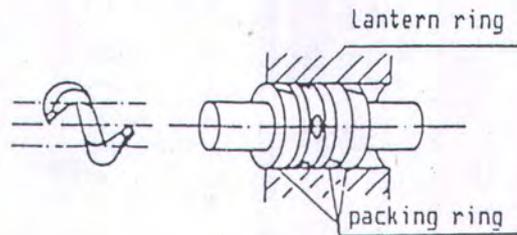
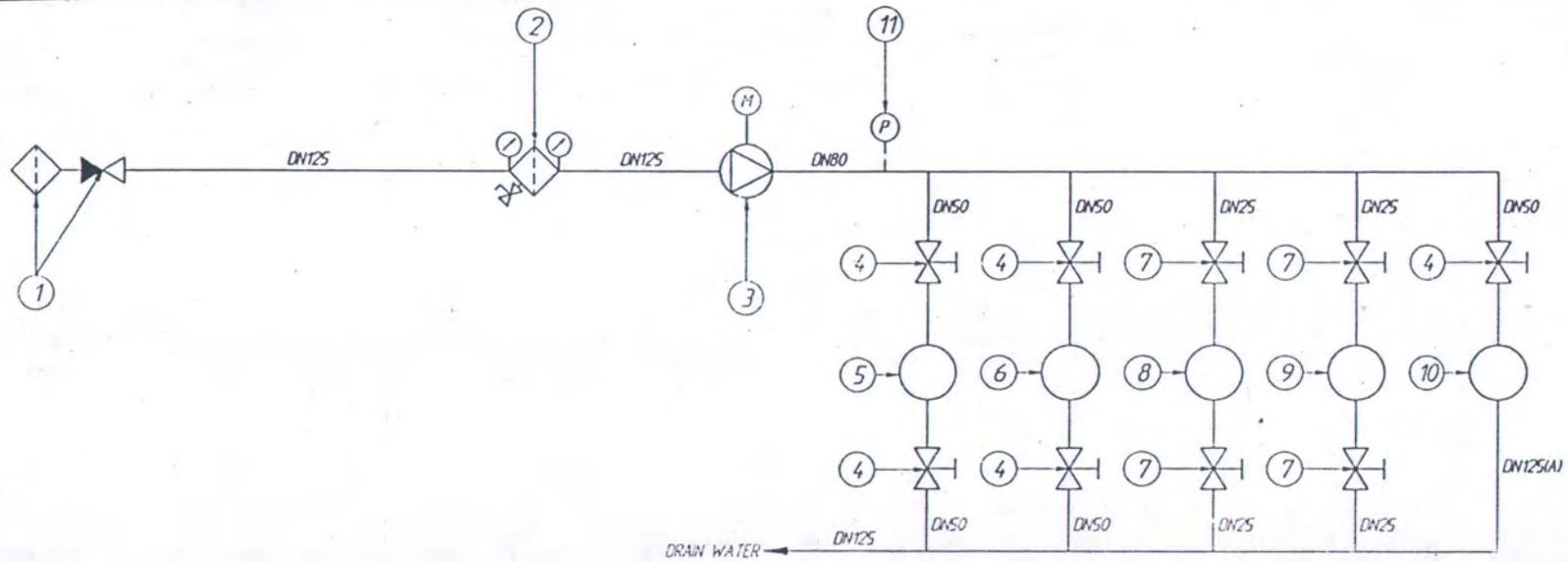


fig. 8 Exchanging the packing rings

## Troubles - causes:

1. Output too Low: speed too low - casing, shaft seal or suction line leaky - suction lift too high resp. positive suction head too low - sealing clearance too big due to wear - wrong direction of rotation - jammed parts in the impeller.
2. Pump does not suck at all or just improperly: casing, shaft sealing, foot valve or suction line leaky - suction lift too high resp. positive suction head too low - loose or jammed parts in the pump.
3. Noisy pump operation: suction lift too high resp. positive suction lift too low - pump is unevenly mounted or distorted during installation - loose or jammed parts in the pump.
4. Pump is leaky: casing untight - pump is unevenly mounted or distorted during installation - untight mechanical seal, deposits on the sliding faces, O-rings defect, no spring bracing, ripped rotary seal ring.
5. Power absorption of the pump too high: pump does not operate within its performance range - viscosity of the pumping medium too high - too high speed - pump is unevenly mounted or distorted during installation - loose or jammed parts in the pump, impeller resp. shaft defect.



NOTE:  
-ALL PIPING AND COUPLINGS ARE CUSTOMER SUPPLY

11	1	PRESSURE TRANSMITTER	HWC
10	1	VACUUM PUMP	HWC
9	1	OIL COOLER COMPRESSOR 2	HWC
8	1	OIL COOLER COMPRESSOR 1	HWC
7	4	REGULATING VALVE DN25	HWC
6	1	AFTER COOLER COMPRESSOR 2	HWC
5	1	AFTER COOLER COMPRESSOR 1	HWC
4	5	REGULATING VALVE DN50	HWC
3	1	WATER PUMP SEE DWG. B2-142	HWC
2	1	FILTER WITH DRAINVALVE	HWC
1	1	INLET FILTER WITH CHECK VALVE	HWC
Pos.	Quan.	Description	Note

Ritad på MekCAD vers.11  
P3578

**H.W. Carlsen**  
A MEMBER OF THE FAL. INDUSTRIAL GROUP  
MALMÖ SWEDEN

SCHMATIC DRAWING WATER SUPPLY  
BALI

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF H.W. CARLSEN. IT IS TO BE USED ONLY FOR THE PROJECT AND SITE SPECIFIC TO WHICH IT IS ISSUED. ALL RIGHTS IN THIS DRAWING, INCLUDING THE RIGHT TO REPRODUCE OR TRANSMIT IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ARE RESERVED BY H.W. CARLSEN. THE USER OF THIS DRAWING IS TO BE RESPONSIBLE FOR THE PROTECTION OF THE DRAWING AND TO RETURN IT TO H.W. CARLSEN UPON REQUEST. ALL RIGHTS RESERVED.

Ritad av: CSI  
Datum: 950512  
Skala: ---  
Nr: B2-417

