

3100001013021

**TUGAS AKHIR**  
**NE 1701**

**APLIKASI FMEA DAN FTA  
DALAM EVALUASI KEANDALAN  
SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP  
PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK**



RSP  
621-165  
Pii  
20-1  
1008

| PERPUSTAKAAN<br>ITS |           |
|---------------------|-----------|
| Tgl. Terima         | 28-6-2000 |
| Terima Dari         | H         |
| No. Agenda Prp.     | 21.448    |

Oleh :

**TRIKA PITANA**  
**NRP. 4294.100.007**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
1998**

**APLIKASI FMEA DAN FTA  
DALAM EVALUASI KEANDALAN  
SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP  
PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

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

**Mengetahui / Menyetujui  
Dosen Pembimbing,**



**Ir. Ketut Buda Artana, MSc**  
**NIP. 132 125 668**

**SURABAYA  
Agustus, 1998**

ABSTRAK



## **ABSTRAK**

*Evaluasi kehandalan pada Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin uap PT. PLN PJB II PLTGU Sektor Gresik sangat penting, hal ini disebabkan sistem ini merupakan salah satu auxiliary system pada turbin uap yang sangat kritis. Jika Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap mengalami failure maka akan dapat menyebabkan kerusakan atau kesalahan pada turbin uap. Evaluasi kehandalan ada dua cara, yaitu penilaian secara quantitative dan qualitative. Evaluasi kehandalan secara qualitative menggunakan FMEA dan FTA , sedangkan evaluasi kehandalan secara quantitative menggunakan FTA. Hasil yang dapat diperoleh dari evaluasi kehandalan sistem ini adalah memberikan input maintenance prediction maupun maintenance alocation, identifikasi komponen yang dapat mengalami kegagalan. Analisa ekonomi yang berbasis keandalan pada sistem ini dapat memberikan optimalisasi waktu preventive replacement pada komponen yang pernah terjadi kerusakan pada sistem ini.*



## DAFTAR ISI

## DAFTAR ISI

|                                           |      |
|-------------------------------------------|------|
| Halaman Judul                             | i    |
| Lembar Pengesahan                         | ii   |
| Abstrak                                   | iii  |
| Daftar Isi                                | iv   |
| Daftar Gambar                             | x    |
| Daftar Tabel                              | xiii |
| Kata Pengantar                            | xiv  |
| <br>                                      |      |
| BAB 1 PENDAHULUAN                         |      |
| 1.1 Latar Belakang                        | I.1  |
| 1.2 Perumusan Masalah dan Batasan Masalah | I.2  |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat                    | I.2  |
| <br>                                      |      |
| BAB II KONSEP RELIABILITY                 |      |
| II.1 Umum                                 | II.1 |
| II.2. Definisi dan Teori Dasar Kehandalan | II.1 |
| II.3 Permodelan Sistem                    | II.3 |
| II.3.1. Seri System                       | II.3 |
| II.3.2. Pararel System                    | II.4 |

|                                               |       |
|-----------------------------------------------|-------|
| II.3.3. Seri-Pararel System                   | II.5  |
| II.3.4. Partially Redundant System            | II.6  |
| II.3.5. Stanby Redundant System               | II.6  |
| II.3.5.1. Perfect Switching                   | II.6  |
| II.3.5.1. Imperfect Switching                 | II.7  |
| II.4 Analisa Statistik                        | II.7  |
| II.4.1. Pendugaan Distribusi                  | II.7  |
| II.4.1.1. Koefien Variansi, skewnes, kurtosis | II.8  |
| II.4.1.2. Histogram                           | II.11 |
| II.4.1.3. Plot Probabilitas                   | II.11 |
| II.4.2. Uji Hipotesa Distribusi               | II.12 |
| II.4.2.1. Uji Kolmogorof Smirnov              |       |
| Sample Tunggal                                | II.12 |
| II.4.3. Distribusi Probabilitas               | II.13 |
| II.4.3.1. Distribusi Weibull                  | II.14 |
| II.4.3.1.1. Fungsi Distribusi Weibull         | II.14 |
| II.4.3.1.2. Reliabilitas Distribusi Weibull   | II.15 |
| II.4.3.1.3. Failure Rate Distribusi Weibull   | II.15 |
| II.4.3.1.3. MTTF Distribusi Weibull           | II.16 |
| II.4.3.2. Distribusi Gamma                    | II.18 |
| II.4.3.2.1. Reliability dan Unreliability     | II.19 |
| II.4.3.2.2. Failure Rate Distribusi Gamma     | II.19 |
| II.4.3.2.3. MTTF Distribusi Gamma             | II.19 |



|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| II.4.3.3. Distribusi Exponential             | II.20 |
| II.4.3.4. Distribusi Normal                  | II.20 |
| II.4.3.4. Distribusi Lognormal               | II.21 |
| II.5 Maintainability                         | II.22 |
| II.6 Availability                            | II.22 |
| II.7 Penilaian Qualitative dan Quantitaive   | II.23 |
| II.5.1. FMEA ( Failure Mode Effeck Analysis) | II.24 |
| II.5.1.1. Prosedur Pengerjaan                | II.24 |
| II.5.2. FTA ( Fault Tree Analysis)           | II.29 |
| II.5.2.1. Prosedur Pengerjaan                | II.30 |

### BAB III. SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| III.1 Umum                          | III.1 |
| III.2. Fungsi Komponen pada sistem  |       |
| Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap    | III.1 |
| III.2.1. Main Oil Tank              | III.1 |
| III.2.2. Main Oil Pump              | III.2 |
| III.2.3. Oil Level Gauge dan Switch | III.2 |
| III.2.4. Emergency Oil Pump         | III.2 |
| III.2.5. Flushing Oil Pump          | III.2 |
| III.2.6. Auciliary Oil Pump         | III.3 |
| III.2.7. Oil Ejector                | III.3 |

|                                                         |       |
|---------------------------------------------------------|-------|
| III.2.8. Vapour Extractor                               | III.3 |
| III.2.9. Oil Cooler                                     | III.3 |
| III.2.10. Oil Filter                                    | III.3 |
| III.2.11. Jacking Oil Pump Unit                         | III.4 |
| III.2.12. Oil Purifier System                           | III.4 |
| III.2.13. Clean Oil Storage Tank                        | III.5 |
| III.2.14. Dirty Oil Storage Tank                        | III.5 |
| III.2.15. Oil Transfer Pump                             | III.5 |
| III.2.16. Oil Supply Pump                               | III.5 |
| III.2.17. Instrument Panel between Turbin and Generator | III.6 |
| III.2.18. Electrical Protective Device Panel            | III.7 |
| III.3. Analisa Hubungan Antar Komponen                  | III.7 |

#### BAB IV. ANALISA STATISTIK SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

|                                                                                        |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| IV.1 Umum                                                                              | IV.1 |
| IV.2. Distribusi Data Sampel Komponen<br>pada Sistem Pelumasan Dan Kontrol Turbin Uap. | IV.2 |
| IV.2.1. Koefien Variansi, skewnes, kurtosis                                            | IV.3 |
| IV 2.2. Histogram Komponen<br>pada Sistem Pelumasan Dan Kontrol Turbin Uap.            | IV.4 |
| IV.2.3. Uji Hipotesa Distribusi Komponen                                               | IV.5 |
| IV.3 Penaksiran Parameter dan Reliabilitas                                             | IV.5 |

#### IV.4 Reliabilitas Komponen

pada Sistem Pelumasan Dan Kontrol Turbin Uap.

IV.5

### BAB V. ANALISA QUALITATIVE DAN QUANTITATIVE DENGAN MENGGUNAKAN FMEA DAN FTA SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

V.1 Umum V.1

V.2. Pembuatan RBD ( Reliability Blok Diagram) V.1

V.3 Evaluasi Keandalan Sistem Pelumasan  
Dan Kontrol Turbin Uap. secara Qualitative dengan FMEA V.7

V.4 Evaluasi Keandalan Sistem Pelumasan  
Dan Kontrol Turbin Uap. secara Qualitative dengan FTA V.27

V.4.1. Method Obtain Cut Set (MOCUS) V.27

V.5 Evaluasi Keandalan Sistem Pelumasan  
Dan Kontrol Turbin Uap. secara Quantitative dengan FTA V.59

### BAB VI. SISTEM PERAWATAN BERBASIS KEHANDALAN

VI.1 Umum VI.1

VI.2 Pengambilan Langkah Sistem Perawatan Berdasarkan  
MTTF, MTTR , Availability dan Unavailability VI.2

VI.2.1. Penghitungan MTTF Komponen

Sistem Pelumasan Dan Kontrol Turbin Uap. VI.2



VI.2.2. Penghitungan Availability dan Unavailability Komponen

Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap. VI.4

BAB VII . ANALISA EKONOMI PERAWATAN BERBASIS KEHANDALAN

VII.1 Umum VII.1

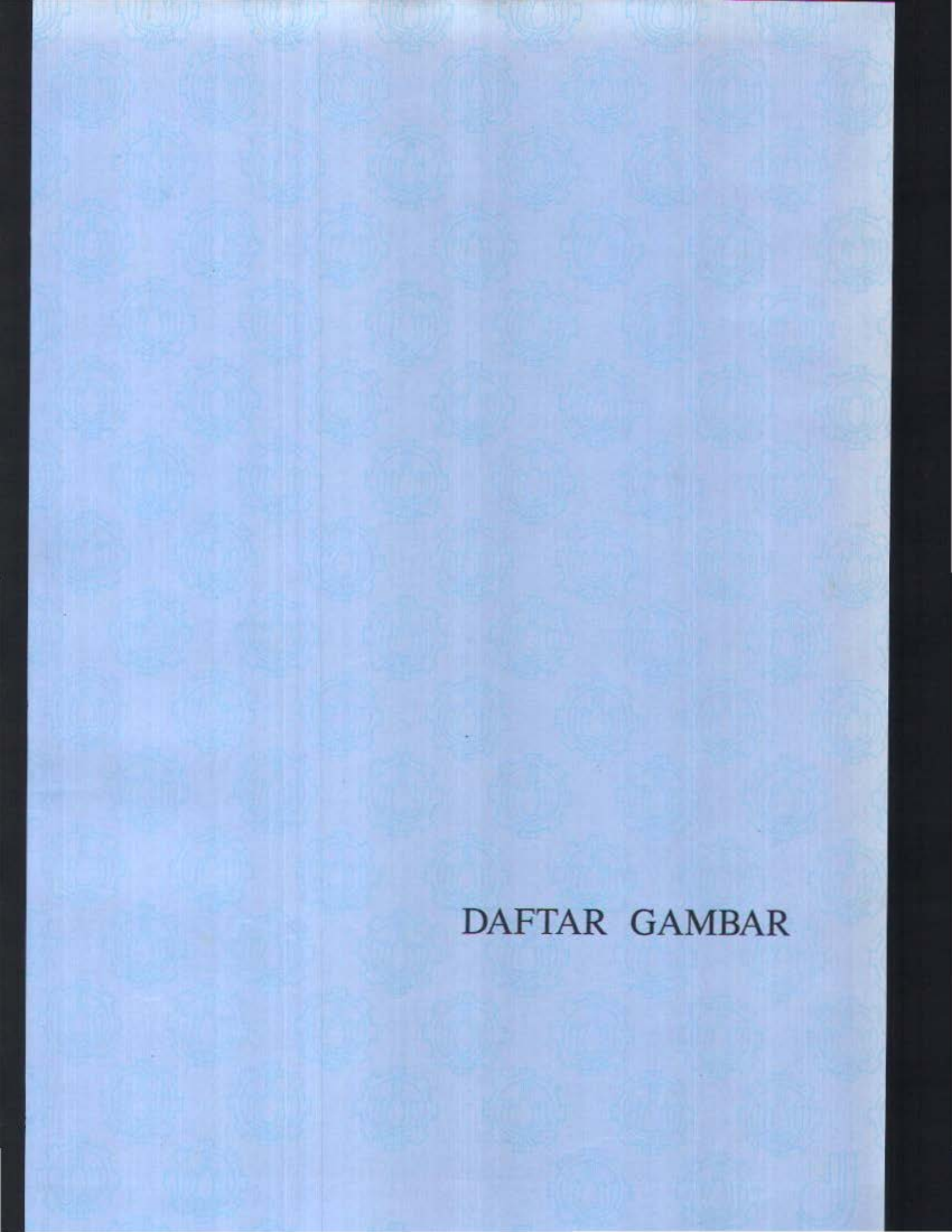
VII.1 Strategi Maintenance VII.1

VII.2.1. Analisa Biaya Perawatan VII.2

BAB VIII . KESIMPULAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

## DAFTAR GAMBAR

|        |     |                                                                                                           |
|--------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gambar | 2.1 | Reliability Block Diagram Seri sistem                                                                     |
|        | 2.2 | Reliability Block Diagram Pararel sistem                                                                  |
|        | 2.3 | Reliability Block Diagram Seri - pararel sistem                                                           |
|        | 2.4 | Reliability Block Diagram Pararel sistem                                                                  |
|        | 2.5 | Reliability Block Diagram Partially redundant system                                                      |
|        | 2.6 | Reliability Block Diagram Imperfect switching                                                             |
|        | 2.7 | Kurva bentuk distribusi padat probabilitas                                                                |
|        | 2.8 | Fungsi padat peluang Weibull dengan parameter $\beta$ berbeda-beda                                        |
|        | 2.9 | Fungsi padat peluang Weibull dengan parameter $\alpha$ berbeda-beda                                       |
|        | 4.1 | Probability Density Function Main Oil Tank                                                                |
|        | 4.2 | Probability Density Function Catride Filter                                                               |
|        | 4.3 | Probability Density Function Vapour Extractor                                                             |
|        | 5.1 | Reliability Blok Diagram (RBD) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK |
|        | 5.2 | Reliability Blok Diagram (RBD) Oil Purifier System I dan II                                               |
|        | 5.3 | Reliability Blok Diagram (RBD) Electrical Protective Device Panel                                         |



- 5.4 Reliability Blok Diagram (RBD) Instrumen Panel Between Turbine and Generator
- 5.5 Reliability Blok Diagram (RBD) Jacking Oil Unit
- 5.6 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.7 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.8 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.9 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.10 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.11 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.12 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.13 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.14 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.15 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

- 5.16 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol  
Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.17 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol  
Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.18 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol  
Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.19 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol  
Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 5.20 Fault Tree Analysis (FTA) Sistem Pelumasan dan Kontrol  
Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK
- 7.1 Kurva Expected Replacement Cost Vapour Extractor
- 7.2 Kurva Kehandalan Vapour Extractor
- 7.3 Kurva Hazard Rate Vapour Extractor
- 7.4 Kurva Expected Replacement Cost Catridge Filter
- 7.5 Kurva Kehandalan Catridge Filter
- 7.6 Kurva Hazard Rate Catridge Filter

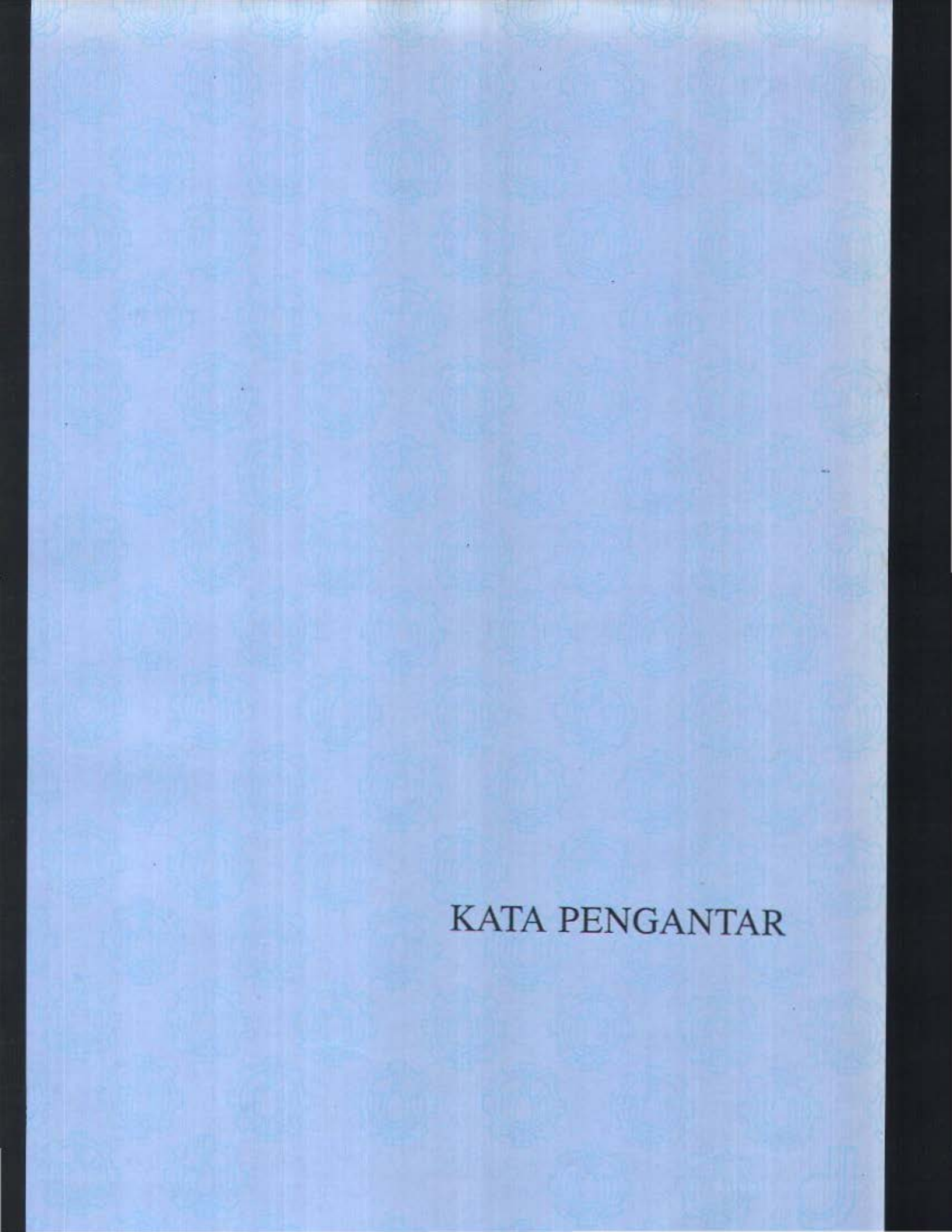


DAFTAR TABEL



## DAFTAR TABEL

|           |                                                                                                              |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tabel 2.1 | Lembar kerja FMEA                                                                                            |
| 4.1       | Daftar kerusakan komponen Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK         |
| 4.2       | Ringkasan statistik sampel komponen                                                                          |
| 4.3       | Hasil uji K-S komponen                                                                                       |
| 4.4       | Nilai keandalan Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap                                                      |
| 5.1       | FMEA Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK                              |
| 5.2       | Method Obtain Cut Set (MOCUS)                                                                                |
| 5.3       | Kode dan nama komponen.                                                                                      |
| 5.4       | Min Cut Set dan Probabilitas dari Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK |
| 7.1       | Biaya pencegahan dan kegagalan komponen                                                                      |
| 7.2       | Biaya pencegahan dan kegagalan komponen Vapour Extractor                                                     |
| 7.3       | Biaya pencegahan dan kegagalan komponen Catride Filter                                                       |



## KATA PENGANTAR

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT dimana berkat karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini sebagai syarat kelulusan tingkat sarjana strata satu Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam menjalani masa perkuliahan dan khususnya dalam penyusunan Tugas Akhir, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak baik itu bantuan moril maupun materiil. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

- Dr. Ir. A.A. Masroeri, MEng, selaku ketua jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS dan dosen wali semasa penulis menjalani perkuliahan.
- Ir. Ketut Buda Artana, MSc, sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir.
- Ir. Dwi Priyanta, MSE, sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir.
- Dosen dan karyawan jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
- Ir. Ompang Risky, sebagai pembimbing lapangan di PT PLN PJB II PLTGU UNIT I Sektor Gresik.
- Ir. Adi Firmanto, sebagai pembimbing lapangan di PT PLN PJB II PLTGU UNIT I Sektor Gresik.
- Ir. Retno Handayani, sebagai pembimbing lapangan di PT PLN PJB II PLTGU UNIT I Sektor Gresik.



- Sunandar, BA., sebagai pembimbing lapangan di PT PLN PJB II PLTGU UNIT I Sektor Gresik.
- Ir. Rahmatullah., sebagai pembimbing lapangan di PT PLN PJB II PLTGU UNIT I Sektor Gresik.
- Bapak Keman Ismuranto, sebagai pembimbing lapangan di PT PLN PJB II PLTGU UNIT I Sektor Gresik.
- Bapak, Ibu, saudara-saudaraku mas Anto, mas Jojok dan dik Wawan yang telah memberikan dorongan moral dan material sehingga masa perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
- Paklik Masri Dwiyanto, Bulik Sri, Adik-adikku Atik, Ani , Arie, Heri , Hohok, dan Ana yang telah banyak membantu baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
- Rekan-rekan angkatan '94 Teknik Sistem Perkapalan ITS dan Piping Ariyanto'93, Wiwis Tri Andika'93, Sugeng '94 ( Ketua Hima Statistika), Agung '94, Putu, Koceng, Dinar, Topix, atas kekompakannya yang terjalin selama ini.
- Joko'94, Susilo.'94, Anis'94, Irfan '93, Imam'94, cak Farid '93, cak Machsus'92, cak Pramu'91, Arif'94, cak Sodik'92 dan rekan-rekan seperjuangan HMI Sepuluh Nopember yang telah memberikan dorongan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
- Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari dalam Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat kami harapkan. Akhir kata semoga buku Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan perkembangan teknologi.

Surabaya,     Agustus 1998

Trika Pitana

Penyusun

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### I.1. Latar Belakang

Pada dunia yang modern , seorang ahli teknik yang profesional, manajer bagian teknik yang bertanggung jawab pada perencanaan, desain, manufaktur dan pengoperasian produk serta sistem dari yang sederhana sampai pada sistem yang kompleks. Kegagalan pada perencanaan, desain, manufaktur dan pengoperasian produk serta sistem akan dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan maupun masyarakat sekitar. Pemakai tentunya akan mengharapkan suatu produk yang handal dan aman. Seberapa aman maupun seberapa handal suatu sistem atau produk dapat dijawab dengan menggunakan suatu alat yang dinamakan *reliability* (kehandalan). Evaluasi kehandalan secara kualitatif maupun kuantitatif akan memberikan konsekuensi dalam pengembangan secara teknik baik dalam desain dan pengoperasian dari sistem yang sederhana sampai kompleks. Pengembangan dari teknik evaluasi kehandalan berawal dari industri pesawat terbang dan industri militer kemudian diikuti oleh industri nuklir , industri kimia. Kurang handalnya (kegagalan) sistem industri nuklir, industri kimia akan berakibat pada pencemaran lingkungan dan kematian. Evaluasi kehandalan yang modern juga digunakan Manfaat yang dapat diberikan pada evaluasi kehandalan ini

diantaranya adalah memberikan evaluasi secara numerik, menunjukkan bagaimana sistem dapat gagal, menunjukkan akibat dari kegagalan suatu komponen terhadap sistem. Evaluasi kehandalan sistem pelumasan dan kontrol turbin uap milik PLN PJB II ini sangat penting, karena sistem pelumasan dan kontrol turbin uap merupakan subsistem dari sistem pada turbin uap yang bersifat kritis, apabila sistem ini mengalami fault ( kesalahan ) maka akan menyebabkan turbin uap mengalami kerusakan.

### **1.2. Perumusan Masalah dan Batasan Masalah**

Masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

Penyederhanaan sistem pelumasan turbin uap PT PLN PJB II Gresik, mengevaluasi kehandalan komponen sistem pelumasan turbin uap, mengevaluasi kehandalan sistem pelumasan turbin uap secara qualitative dan quantitative, memperkirakan besarnya kegagalan yang potensial dan kondisi penuh resiko, menarik kesimpulan dari hasil penilaian.

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

Hanya memberikan informasi tentang perkiraan besarnya kegagalan, identifikasi semua kemungkinan kegagalan, analisa ekonomi yang bersifat optimal preventive replacement.

### **1.3. Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dari tugas Akhir ini adalah menerapkan metode FMEA dan FTA dalam evaluasi kehandalan sistem pelumasan Turbin Uap di PT PLN PJB II Gresik.

---

Manfaat yang diberikan pada Tugas akhir ini adalah :

- Memberikan informasi kepada *designer* dan *user* dalam memperkirakan besarnya kegagalan yang potensial, mengidentifikasi semua kemungkinan kegagalan.
- Memberikan strategi *maintenance* yang terdiri dari *maintenance prediction*, *maintenance allocation* , *maintenance preventive*, optimalisasi *preventive replacement* pada komponen yang pernah terjadi kerusakan.



## **BAB II**

### **KONSEP RELIABILITY**

## BAB II

### KONSEP RELIABILITY

#### II.1. Umum

Keandalan merupakan probabilitas suatu alat (*device*) untuk dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang diinginkan selama jangka waktu tertentu yang ditetapkan.. (*Roy Billinton & Ronald N. Allan*) Evaluasi keandalan ada dua macam, yaitu penilaian secara *qualitative* dan *quantitative*. Langkah-langkah yang harus ditempuh pada evaluasi keandalan sistem pelumasan turbin uap PT PLN PJB II adalah membuat sistem pelumasan turbin uap sedemikian rupa sehingga menjadi Blok Diagram atau RBD ( Reliability Blok Diagram), sehingga akan mempermudah dalam evaluasi keandalan sistem pelumasan. Data-data kerusakan yang diperoleh pada sistem pelumasan turbin uap perlu dianalisa statistik untuk mendapatkan distribusi probabilitas yang akan dipakai. Komponen-komponen yang ada pada sistem pelumasan dievaluasi secara *qualitative* dan *quantitative*.

#### II.2. Definisi dan Teori dasar keandalan

Keandalan merupakan probabilitas suatu alat ( *device*) untuk dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang diinginkan selama jangka waktu tertentu yang ditetapkan.. (*Roger D. Leitch*). Definisi mengandung empat istilah penting :

- Fungsi
- Lingkungan ( kondisi operasi )
- Waktu
- Probabilitas

### 2.1.1 Fungsi

Keandalan suatu komponen perlu dilihat apakah suatu komponen dapat melakukan fungsinya secara baik pada jangka waktu tertentu. Kegagalan fungsi dari komponen dapat disebabkan oleh perawatan yang tidak terencana (*unplanned maintenance*). Fungsi atau kinerja dari suatu komponen terhadap suatu sistem mempunyai tingkatan yang berbeda-beda. Tingkatan fungsi komponen terhadap sistem dapat bersifat *catastrophic*, *critical*, *major*, *minor*.

### 2.1.2 Lingkungan

Keandalan setiap peralatan sangat bergantung pada kondisi operasi atau lingkungannya. Secara umum lingkungan tersebut menyangkut pemaketan, transportasi, penyimpanan, instalasi, pemakai, ketersediaan alat-alat perawatan, debu, kimia dan polutan lain.

### 2.1.3 Waktu

Keandalan menurun dengan waktu, waktu operasi meningkat sehingga probabilitas gagal lebih tinggi. Waktu operasi ini diukur tidak hanya dalam unit waktu tetapi bisa dalam istilah jarak operasi.

### 2.1.4 Probabilitas

Keandalan diukur sebagai probabilitas. Sehingga probabilitas yang berubah terhadap waktu dan masuk dalam bidang statistik dan analisa statistik.



### II.3. Permodelan Sistem

Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin uap yang ada akan dianalisa keandalannya dan untuk memudahkan evaluasi keandalan, sistem tersebut diubah sedemikian rupa menjadi RBD (*Reliability Blok Diagram*). Hasil penyederhanaan ini akan memudahkan dalam evaluasi keandalan Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap. Pembuatan RBD (*Reliability Blok diagram*) dapat dikategorikan menjadi beberapa item, diantaranya adalah *series system*, *pararel system*, *series-pararel system*, *Partially redundant sysem*, *standby redundant system*, *Stanby redundant system* dapat dibagi lagi, yaitu *perfect switching* dan *imperfect switching* (*Roy Bilington & Ronald N.Alan*). Pembagian ini tergantung dari asumsi kerja dari sistem itu sendiri.

#### II.3.1. Series System



gb.2.1. Reliability Blok Diagram Series System

Series system merupakan suatu sistem yang bekerja apabila komponen A dan B harus sukses dan apabila salah satu komponen tersebut gagal maka sistem tersebut akan gagal. Series system dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$R_s = R_A \cdot R_B \quad (2.1)$$

$$Q_s = Q_A + Q_b - Q_A Q_b \quad (2.2)$$

Dimana :

$R_s$  = reliability series system

$Q_s$  = kegagalan series system

$R_A$  = Reliability komponen A

$R_B$  = Reliability komponen B

$Q_A$  = Kegagalan komponen A

$Q_B$  = Kegagalan komponen B

### II.3.2. Pararel System



gb.2.2. Reliability Blok Diagram Pararel System

Pararel system merupakan suatu system akan bekerja dengan sukses apabila salah satu dari komponen tersebut bekerja dengan sukses ( komponen A atau komponen B saja). Pararel system dapat diformulasikan seperti di bawah ini :

$$R_p = R_A + R_B - R_A R_B \quad (2.3)$$

$$Q_p = Q_A \cdot Q_B \quad (2.4)$$

Dimana :

$R_p$  = Reliability (keandalan ) pararel system

$Q_p$  = Kegagalan pararel system

$R_A$  = Reliability (keandalan) komponen A

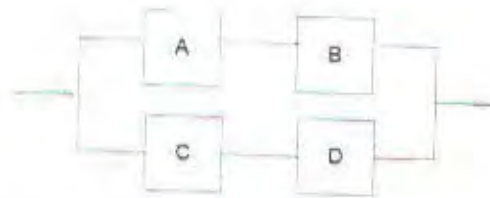
$R_B$  = Reliability ( keandalan) komponen B

$Q_A$  = Kegagalan komponen A

$Q_B$  = Kegagalan komponen B

### II.3.3. Series – Pararel system

*Series – pararel system* merupakan suatu sistem yang terdiri dari gabungan antara seri dan pararel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



gb.2.3. Reliability Blok Diagram Series - Paralel System

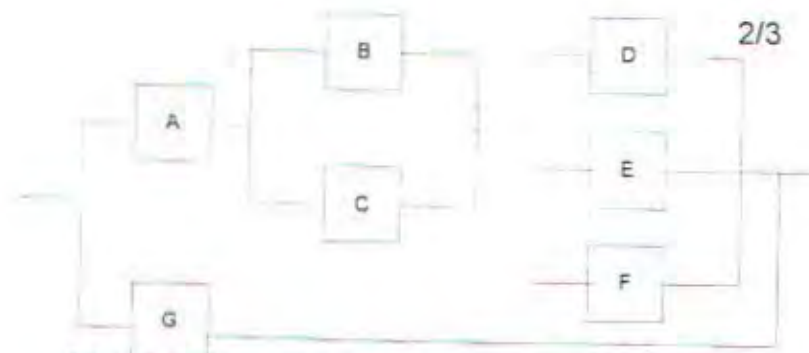


gb.2.4. Reliability Blok Diagram Pararel System

Penyelesaian sistem seperti ini terlihat jelas pada gb 2.3 dan 2.4, pertama-tama disederhanakan dahulu komponen yang diseri (A dan B, C dan D) kemudian menghasilkan gb 2.4. Gambar 2.4 ini dapat dievaluasi keandalannya dengan rumus paralel.



### II.3.4. Partially Redundant System



GB.2.5. Reliability Blok Diagram Partially Redundant System

*Partially redundant system* pada sistem ini adalah pada komponen D, E, F yang dipararel dengan pengkodean 2/3 artinya sistem ini akan sukses apabila minimal terdapat 2 diantara 3 komponen tersebut bekerja dengan baik.

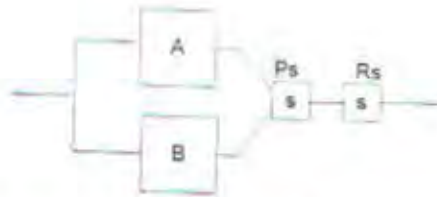
### II.3.5. Standby redundant system

Standby redundant system dibagi menjadi dua yaitu perfect switching dan imperfect switching.

#### II.3.5.1. Perfect switching

Permodelan dan evaluasi keandalan dari perfect switching sama dengan pararel-system.

### II.3.5.2. Imperfect switching



gb.2.6. Reliability Blok Diagram Imperfect Switching

$P_s$  merupakan kemungkinan (probabilitas) sukses dari switch dan  $R_s$  merupakan reliability dari switch, dari sini dapat dibuat formula sebagai berikut :

$$Q = (Q_A - Q_A P_s(1 - Q_B)) + Q_s - (Q_A - Q_B P_s(1 - Q_B)) Q_s \quad (2.5)$$

atau

$$R = R_s(1 - Q_s(Q_A - Q_B P_s(1 - Q_B))) \quad (2.6)$$

## II.4. Analisa statistik

### II.4.1. Pendugaan Distribusi

Langkah pertama dalam menduga distribusi yang sesuai adalah memutuskan secara umum keluarga distribusi yang kelihatannya cocok, misalnya ekponensial, gamma, normal atau poisson tanpa khawatir dulu tentang nilai-nilai parameternya. Sebagai contoh, jika dirasakan terdapat kerusakan komponen pada tingkat yang konstan, maka secara teoritis sangat beralasan jika distribusi eksponensial menjadi dugaan pertama.

Di lapangan seringkali informasi pendahuluan (*prior information*) seperti ini tidak tersedia. Karena itu pendugaan distribusi menjadi lebih sulit.

Beberapa cara dapat digunakan sebagai pedoman dalam menduga distribusi yang sesuai untuk data, yaitu dengan :

- a. Koefisien variasi, skewnes dan kurtosis ( Point statistik)
- b. Histogram
- c. Plot Probabilitas

Setelah didapatkan dugaan distribusi yang paling baik, selanjutnya dilakukan uji hipotesa distribusi. Ada dua prosedur pengujian hipotesa distribusi, yaitu Chi-square dan Kolmogorof – smirnov (K-S)

#### II.4.1.1. Koefisien Variasi, skewnes, kurtosis

Distribusi-distribusi yang dikenal dalam statistika, dicirikan oleh nilai-nilai fungsi dari parameternya. Salah satu fungsi yang sering digunakan adalah koefisien variasi (*coefficient of variation*) yaitu :

$$\delta = \frac{\sqrt{\text{Var}(T)}}{E(T)}$$

dimana  $\text{Var}(T)$  dan  $E(T)$  masing-masing adalah varians dan mean dari distribusi.. Tabel 2.1 menunjukkan koefisien variasi distribusi – distribusi kontinyu . Untuk distribusi gamma dan weibull dapat dilihat  $\delta$  adalah berturut-turut lebih besar, sama dengan atau kurang dari 1 sesuai dengan parameter bentuk ( $\alpha$ ) yang lebih kecil , sama dengan atau lebih besar dari 1.



Tabel 2.1 Koefisien Variasi dan distribusi kontinyu

| Distribution                  | $\delta$                                                                             | Range of $\delta$                                                                                                     |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $U(a,b)$                      | $\frac{b-a}{\sqrt{3}(a+b)}$                                                          | $(-\infty, \infty)$                                                                                                   |
| $\text{Exp}(\beta)$           | 1                                                                                    | {1}                                                                                                                   |
| $\text{Gamma}(\alpha, \beta)$ | $\alpha^{-1/2}$                                                                      | $\begin{cases} > 1 & \text{if } \alpha < 1 \\ = 1 & \text{if } \alpha = 1 \\ < 1 & \text{if } \alpha > 1 \end{cases}$ |
| Weibull $(\alpha, \beta)$     | $\left\{ \frac{\Gamma(2/\alpha) + 1}{[\Gamma((1/\alpha) + 1)]^2} - 1 \right\}^{1/2}$ | $\begin{cases} > 1 & \text{if } \alpha < 1 \\ = 1 & \text{if } \alpha = 1 \\ < 1 & \text{if } \alpha > 1 \end{cases}$ |
| $N(\mu, \sigma^2)$            | $\sigma/\mu$                                                                         | $(-\infty, \infty)$                                                                                                   |
| $\text{LN}(\mu, \sigma^2)$    | $(e^2 - 1)^{1/2}$                                                                    | $(0, -\infty)$                                                                                                        |

Karena  $\delta$  tergantung dari parameter-parameter distribusi yang tidak diketahui, maka nilainya harus diestimasi dari data. Jika data dari hasil pengamatan sebanyak  $n$ ,  $T_1, T_2, \dots, T_n$  yang independent dan identik, maka :

$$\bar{T}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad s^2(n) = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T}(n))^2}{n-1}$$

Sehingga  $\delta$  dapat diestimasi dengan :

$$\hat{\delta} = \frac{\sqrt{s^2(n)}}{\bar{T}(n)}$$

dimana :

$T_i$  = pengamat, data ke 1

$\bar{T}(n)$  = rata-rata waktu kerusakan.

$s$  = varian

$n$  = jumlah data kerusakan

Jadi, jika distribusi yang diduga adalah eksponensial, maka seharusnya  $\hat{\delta}(n)$  dekat 1, sama halnya jika  $\hat{\delta}(n) > 1$ , maka distribusinya bisa gamma atau weibull.

Bentuk distribusi frekuensi dapat diterangkan juga oleh arah kecondongannya terhadap titik simetris (*skewness*) dan tingkat keruncingannya (*kurtosis*). Jika beberapa nilai ekstrim lebih besar dari kebanyakan nilai lainnya, dikatakan bahwa distribusi *positively skewed* (skewed ke arah kanan). Jika beberapa nilai ekstrim lebih kecil dari kebanyakan nilai lainnya, dikatakan distribusinya *negatively skewed* (skewed ke arah kiri). Distribusi yang sangat datar (*flat*) disebut *platykurtic* menandakan dispersi yang melebar, sedangkan distribusi yang memiliki puncak sangat runcing (*peaked*) disebut *leptokurtic*. Bentuk-bentuk kurva padat probabilitas ditunjukkan gambar 2.7. dibawah ini.



Gb. 2.7 . Kurva bentuk distribusi padat probabilitas

#### II.4.1.2. Histogram

Histogram adalah cara menduga secara grafis plot distribusi probabilitas yang bersesuaian dengan data tertentu  $T_1, T_2, \dots, T_n$ . Fungsi padat suatu distribusi mempunyai kecenderungan bentuk tertentu, sehingga dapat menjadi petunjuk yang mendekatkan pada penaksiran distribusi yang diharapkan.

Histogram mudah dibuat, dapat diaplikasikan untuk semua distribusi, dan memberikan bentuk visual yang mudah diinterpretasikan, namun ada juga kelemahannya, yaitu kesulitan menentukan interval dan lebar interval sehingga diperoleh histogram yang paling mulus.

#### II.4.1.3. Plot Probabilitas

Plot probabilitas adalah cara lain dalam pendugaan distribusi yang termasuk cukup mudah. Caranya adalah dengan plot nilai dari :

$$\left[ T_i, F^{-1}\left(\frac{i-0.5}{n}\right) \right]$$

dimana  $i = 1, 2, \dots, n$

$F^{-1}$  = inverse dari fungsi distribusi  $F$

$T_i$  = waktu ke  $i$

Jika plot ini menunjukkan garis lurus, maka diduga distribusinya sesuai dengan distribusi dugaan yang inversnya dipakai dalam plotting. Sepanjang invers dari distribusi dugaan dapat diperoleh, maka tidak ada kesulitan dalam metode ini tetapi tidak semua fungsi dapat diperoleh inversnya.



Distribusi weibull, plotting dapat dilakukan tanpa perlu mengetahui taksiran parameter, yaitu dengan :

$$\left[ \ln T_i, \ln \left( -\ln \frac{n-i+0.3}{n} \right) \right]$$

Jika plotnya menunjukkan garis lurus, maka kuat dugaannya adalah distribusi Weibull, dan untuk distribusi gamma sulit untuk melakukan plot probabilitas karena tidak ditemukannya  $F^{-1}$ .

#### II.4.2. Uji Hipotesa Distribusi

Terdapat dua prosedur pengujian hipotesa distribusi, yaitu chi-square dan kolmogorov-smirnov. Prosedur chi-square berkaitan dengan uji data diskret, sedangkan prosedur kolmogorov-Smirnov (K-S) digunakan untuk uji data yang kontinyu. Prosedur K-S bisa dibedakan untuk data satu sampel dan dua sampel.

##### II.4.2.1. Uji Kolmogorov- Smirnov Sampel Tunggal

Ketika uji Kolmogorof - Smirnov (K-S) diterapkan , perhatian dipusatkan pada dua buah fungsi distribusi kumulatif, yaitu distribusi kumulatif yang diduga (hipotesis) , diberi notasi  $F(T)$  dan distribusi kumulatif yang teramati (*empiris*) , yaitu  $F_o(T)$ .

Data  $T_1, T_2, \dots, T_n$  telah diurutkan dari kecil ke besar sehingga  $T_1 < T_2 < \dots < T_n$ , dihipotesakan sampel ini mengikuti distribusi  $F(T)$ , sedangkan distribusi empiris  $F_o(T)$  adalah proporsi nilai-nilai pengamatan dalam sampel yang kurang dari atau sama dengan  $T_i$ .

Perbedaan terbesar antara distribusi dugaan dengan distribusi empiris dapat dihitung sebagai berikut :

$$D^+ = \max (F_o(T) - F(T))$$

$$D^- = \max (F(T) - F_o(T))$$

$$DN = \max (D^+, D^-)$$

Uji hipotesa dilakukan dengan menetapkan hipotesa awal dan hipotesa alternatif sebagai berikut :

$H_0 = F(T)$  berdistribusi sesuai dugaan

$H_1 = \bar{H}_0$

Pengambilan keputusan adalah hipotesa awal ,  $H_0$  ditolak bila  $DN > dn$ , dimana  $dn$  diperoleh dari tabel Kolmogorov-Smirnov , dengan kata lain distribusi tersebut secara statistik sesuai bila  $H_0$  diterima.

Analisa statistik ini bertujuan untuk mendapatkan distribusi probabilitas yang sesuai. Pengujian data untuk mendapatkan distribusi probabilitas yang sesuai dapat menggunakan statgraph atau weibull ++. Distribusi probabilitas ini nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai keandalan secara quantitative.

#### II.4.3. Distribusi Probabilitas

Jenis distribusi probabilitas ada dua macam, yaitu distribusi diskret dan distribusi continuous. Distribusi diskret yang sering digunakan adalah distribusi binomial dan distribusi poisson, sedangkan distribusi kontinyu yang sering digunakan adalah distribusi normal ( gaussian), exponential, weibull, gamma dan

rayleigh. Evaluasi keandalan dari suatu sistem yang sering digunakan adalah distribusi kontinyu.

Sifat-sifat distribusi yang akan digunakan dalam evaluasi keandalan adalah : Fungsi padat peluang (*probability density function*), distribusi fungsi kumulatif, nilai yang diharapkan, rata-rata, varian, standar deviasi.

#### II.4.3.1. Distribusi Weibull

Jika model distribusi untuk kerusakan komponen-komponen Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap adalah distribusi weibull, maka fungsi padat peluangnya (*probability density function*) adalah :

$$f(T/\alpha, \beta) = \frac{\beta}{\alpha^\beta} T^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{T}{\alpha}\right)^\beta\right] T > 0 \quad (2.7)$$

dimana :

$\alpha$  = parameter bentuk ( shape parameter ),  $\alpha > 0$

$\beta$  = parameter skala ( scale parameter ),  $\beta > 0$

##### II.4.3.1.1 Fungsi Distribusi Weibull

Bila T random variable yang memiliki fungsi padat weibull seperti pada persamaan 2.7 , fungsi distribusinya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F(T) &= \int_0^T f(T/\alpha, \beta) dT \\ &= \int_0^T \frac{\beta}{\alpha^\beta} T^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{T}{\alpha}\right)^\beta\right] \\ &= -\exp\left[-\left(\frac{T}{\alpha}\right)^\beta\right] \Big|_0^T \end{aligned}$$



$$F(T) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{T}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2.8)$$

#### II.4.3.1.2 Keandalan Distribusi Weibull

Fungsi Keandalan dari distribusi weibull diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R(T) &= \int_T^\infty f(T/\alpha, \beta) dT \\ &= 1 - F(T) \\ &= 1 - \left[ 1 - \exp\left[-\left(\frac{T}{\alpha}\right)^\beta\right] \right] \\ &= \exp\left[-\left(\frac{T}{\alpha}\right)^\beta\right] \end{aligned} \quad (2.9)$$

#### II.4.3.1.3 Failure Rate Distribusi Weibull

Laju kerusakan atau hazard rate diberikan oleh persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \lambda(T) &= \frac{f(T)}{R(T)} \\ &= \frac{\frac{\beta}{\alpha^\beta} T^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{T}{\alpha}\right)^\beta\right]}{\exp\left[-\left(\frac{T}{\alpha}\right)^\beta\right]} \\ &= \frac{\beta}{\alpha^\beta} [T^{\beta-1}] \end{aligned} \quad (2.10)$$

Untuk nilai  $\beta > 1$ ,  $\lambda(T)$  cenderung merupakan fungsi naik (increasing), sedangkan untuk nilai  $\beta < 1$ ,  $\lambda(T)$  cenderung merupakan fungsi turun (decreasing), dan untuk  $\beta = 1$ ,  $\lambda(T) = 1/\alpha$  adalah konstan, yang lebih berkaitan dengan distribusi eksponensial.

#### 11.4.3.1.4 MTTF Distribusi Weibull

Rata-rata waktu kerusakan komponen pada distribusi weibull dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \int_0^{\infty} \exp\left[-\int_0^T \lambda(T) dT\right] dT \\
 &= \int_0^{\infty} \exp\left[-\int_0^T \frac{\beta}{\alpha^{\beta}} (T^{\beta-1}) dT\right] dT \\
 &= \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{T^{\beta}}{\alpha^{\beta}}\right] dT \quad (2.11)
 \end{aligned}$$

misalkan  $y = \frac{T^{\beta}}{\alpha^{\beta}}$  maka  $T = \alpha^{1/\beta} y^{1/\beta}$

$$dT = \alpha/\beta (y^{1/\beta - 1}) dy$$

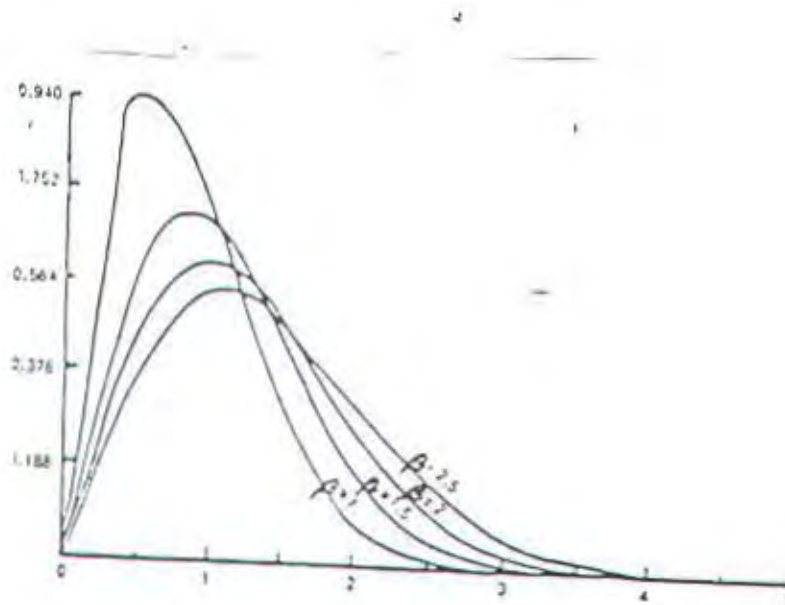
sehingga :

$$\begin{aligned}
 y &= \int_0^{\infty} \frac{\alpha}{\beta} (y^{\frac{1}{\beta}-1}) \exp(-y) dy \\
 &= \frac{\alpha}{\beta} \int_0^{\infty} y^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)} e^{(-y)} dy
 \end{aligned}$$

$$= \frac{\alpha}{\beta} \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right)$$

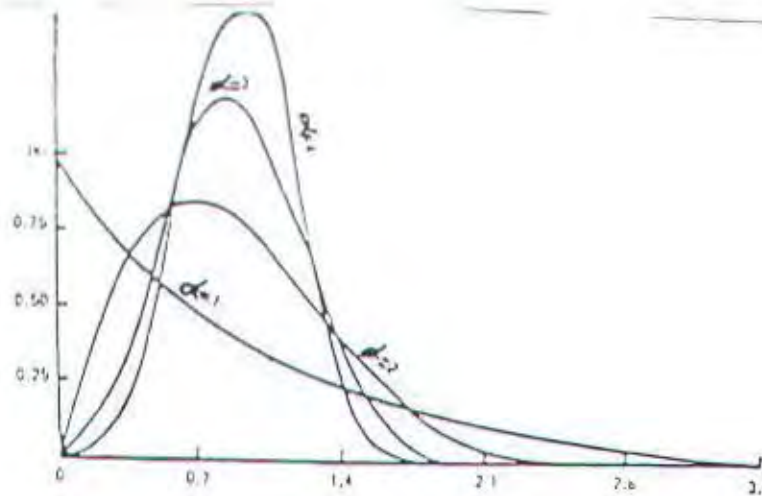
$$= \alpha \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$$

Plot fungsi padat probabilitas distribusi weibull untuk  $\alpha = 1$  dengan beberapa variasi parameter  $\beta$  diperlihatkan pada gambar 2.8, jika  $\beta$  makin besar, fungsi padat weibull semakin runcing dan cenderung simetris. Gambar 2.9 berupa gambar grafik fungsi padat probabilitas weibull dengan nilai  $\alpha$  yang berbeda-beda.



Gb . 2.8. Fungsi padat peluang Weibull dengan parameter  $\beta$  yang berbeda-beda.





Gb. 2.9. Fungsi padat peluang weibull dengan parameter  $\alpha$  yang berbeda-beda.

#### II.4.3.2. Distribusi Gamma

Distribusi gamma merupakan distribusi yang banyak memodelkan beberapa data karena memiliki parameter bentuk (*shape parameter*). Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi gamma dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} \exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right) \quad (2.12)$$

#### II.4.3.2.1. Reliability dan Unreliability Distribusi Gamma

Nilai keandalan (*reliability*) untuk distribusi gamma dapat dirumuskan seperti di bawah ini :

$$\begin{aligned}
 R(t) &= \int_0^{\infty} f(t) dt \\
 &= \int_0^{\infty} \frac{t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} \exp\left[-\frac{t}{\alpha}\right] dt
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

$$Q(t) = 1 - \int_0^{\infty} \frac{t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} \exp\left[-\frac{t}{\alpha}\right] dt \tag{2.14}$$

#### II.4.3.2.2. Failure rate Distribusi Gamma

Laju kegagalan atau *failure rate* dari distribusi gamma dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \tag{2.15}$$

#### II.4.3.2.3. MTTF Distribusi Gamma

MTTF atau waktu rata-rata kegagalan dari distribusi gamma dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\text{MTTF} = \alpha\beta \tag{2.16}$$

### II.4.3.3. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan distribusi yang paling banyak dipakai dalam mengevaluasi keandalan suatu sistem. Ciri utama dari distribusi eksponensial adalah laju kerusakan yang konstan. Jika waktu untuk gagal (*time to failure*) dari suatu komponen adalah  $T$  berdistribusi eksponensial dengan dua parameter  $\lambda$  dan  $\gamma$ , maka fungsi padat peluangnya (*probability density function*) dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (2.17)$$

dengan  $\lambda$  adalah failure rate dari komponen dan  $\gamma$  adalah shape parameter dengan  $\lambda > 0$  dan  $\gamma < \text{waktu kegagalan pertama (first time to failure)}$ , jika nilai dari  $\gamma = 0$ , maka akan diperoleh distribusi eksponensial dengan satu parameter. Sedangkan fungsi reliability-nya adalah :

$$R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (2.18)$$

Dan fungsi unreliabilitynya dapat ditulis sebagai :

$$Q(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (2.19)$$

Men time to failure dari distribusi eksponensial itu adalah :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.20)$$

### II.4.3.4. Distribusi Normal

Distribusi normal ( gaussian) adalah distribusi yang paling banyak diketahui. Jika time to failure dari suatu komponen adalah  $T$  mengikuti distribusi



normal, maka *pdf* (*probability density function*) atau fungsi padat peluangnya adalah :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{t-\mu}{\sigma_t} \right)^2} \quad (2.21)$$

dengan

$\sigma$  = deviasi standar

$\mu$  = rata-rata/mean

Fungsi *reliability* dari distribusi normal dapat ditulis sebagai berikut :

$$R(t) = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{t-\mu}{\sigma_t} \right)^2} dt = 1 - \Phi \left( \frac{t-\mu}{\sigma_t} \right) \quad (2.22)$$

Sedangkan fungsi *unreliability*nya adalah :

$$Q(t) = \Phi \left[ \frac{t-\mu}{\sigma_t} \right] \quad (2.23)$$

*Mean time to failure* dari distribusi normal ini adalah :

$$MTTF = \mu \quad (2.24)$$

#### II.4.3.5. Distribusi lognormal

Time to failure,  $T$ , dari suatu komponen diasumsikan memiliki distribusi lognormal bila  $y = \ln T$  mengikuti distribusi normal dengan rata-rata  $\bar{T}$  dan varians  $\sigma_T$ . *Probability density function (pdf)* dari distribusi lognormal adalah :

$$F(t) = \frac{1}{t\sigma_f\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \bar{T}}{\sigma_f}\right)^2} \quad (2.25)$$

Fungsi *reliability* dari komponen yang mengikuti distribusi lognormal adalah :

$$R(t) = \int_0^{\infty} \frac{1}{t\sigma_f\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \bar{T}}{\sigma_f}\right)^2} dt \quad (2.26)$$

sedang fungsi *unreliability*-nya adalah :

$$Q(t) = 1 - \int_0^{\infty} \frac{1}{t\sigma_f\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \bar{T}}{\sigma_f}\right)^2} dt \quad (2.27)$$

*Mean time to failure* dari komponen yang mengikuti distribusi lognormal adalah :

$$MTTF = e^{\left(\bar{T} + \frac{1}{2}\sigma_f^2\right)} \quad (2.28)$$

## II.5. Maintainability

*Maintainability* dapat diartikan sebagai probabilitas kegagalan suatu sistem dalam memulihkan kondisi sistem seperti semula pada jangka waktu tertentu.. *Maintainability* dapat diartikan dengan waktu rata-rata perbaikan ( *mean time to repair/MTTR*)

## II.6. Availability

*Availability* dapat diartikan peluang atau probabilitas suatu komponen atau sistem dalam melakukan fungsinya ketika diperlukan pada waktu t. Nilai

*Availability* tergantung pada waktu kerusakan (MTTF) dan waktu perbaikan (MTTR). Nilai *availability* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.29)$$

### II.7. Penilaian Qualitative dan Quantitative

Evaluasi keandalan suatu sistem dapat digunakan dengan dua cara yaitu secara *qualitative* dan *quantitative*. Analisa bentuk kegagalan merupakan suatu analisa bagian dari sistem atau komponen yang dapat gagal, bentuk kegagalan yang mungkin, efek masing-masing bentuk kegagalan dari sistem kompleks.

Hasil yang didapatkan dari penilaian secara *qualitative* ( *Ronald T. Anderson, Lewis Neri*):

- Identifikasi keandalan dan daerah komponen yang kritis yang nantinya akan dijadikan input dalam perubahan *design, design review*.
- Memberikan informasi apakah suatu sistem perlu desain yang bersifat *redundancy*, desain yang sederhana, mengganti material komponen yang *reliable*.
- Identifikasi keperluan data yang terekam.
- Memberikan informasi untuk pemilihan *maintenance preventive* dan *corrective*.

Penilaian secara *qualitative* merupakan penilaian kualitas suatu sistem atau komponen. Metode penilaian secara *qualitative* dapat menggunakan FTA maupun FMEA.



### II.7.1. FMEA ( Failure Mode Effects Analysis)

FMEA merupakan penilaian secara *qualitative* dengan pendekatan bawah-atas (*bottom up approach*).

Hasil yang dapat diperoleh FMEA dari sistem adalah :

- Memberikan desain alternatif yang mempunyai keandalan dan keamanan tinggi pada tahap awal perencanaan.
- Memberikan daftar kegagalan dan identifikasi efek dari kegagalan.
- Memberikan evaluasi dampak kegagalan terhadap fungsi komponen dan fungsi dari sistem.
- Merupakan dasar untuk menganalisa *reliability* dan *availability* dari sistem.
- Menyediakan data sebagai basis untuk melakukan *corrective maintenance*.
- Memberikan informasi kualitas komponen, *maintenance prediction* dan *allocation, detectability*.

FMEA akan memberikan bentuk tabel yang terdiri dari efek *sub-assembly*, *assembly* , *subsystem* terhadap *system*, memberikan kemungkinan kejadian, analisa tingkat pengaruh kerusakan komponen dan analisa *critical* pada komponen terhadap sistem.

#### II.7.1.1. Prosedur Pengerjaan

Pengerjaan FMEA merupakan pengerjaan pada suatu *worksheet* (lembar kerja ) yang terdiri dari beberapa item diantaranya adalah sebagai berikut :

##### 1. Reference

Reference ini merupakan kolom untuk pemberian nama komponen dari sistem.

## **2. Function (Fungsi)**

Kolom fungsi ini berisi fungsi dari komponen yang ada pada sistem

## **3. Operational Mode ( bentuk pengoperasian)**

Suatu unit mempunyai bentuk pengoperasian yang berbeda, misalnya running( jalan) atau stanby.

## **4. Failure Mode**

Bentuk kegagalan merupakan suatu kegagalan yang tercatat dan diamati. Bentuk kegagalan dapat berwujud kebocoran, pipa tersumbat dan lain-lain.

## **5. Failure Mechanism**

Kegagalan secara mekanis terdiri dari korosi, erosi, patah dan sebagainya. Kegagalan mekanis ini dapat dijadikan sebagai input indentifikasi bentuk kegagalan.

## **6. Detection of Failure**

Pendeteksian kegagalan dapat dilakukan dengan testing, alarm, presepsi manusia.

## **7. Effects on other komponen in the same subsystem**

Kolom ini berisikan efek suatu komponen terhadap komponen lain pada satau subsystem.

## **8. Effects on primary function of the system**

Kolom ini berisikan efek suatu komponen terhadap system.

### 9. Failure rate

Laju kegagalan pada suatu komponen akan lebih baik apabila diklasifikasikan, contohnya adalah seperti dibawah ini :

|                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| <i>Very unlikely</i> | 1/1000 th atau lebih jarang |
| <i>Remote</i>        | 1/100 th                    |
| <i>Occasional</i>    | 1/10 th                     |
| <i>Probable</i>      | 1/th                        |
| <i>Frequent</i>      | 1/bl atau lebih sering      |

### 10. Severity

Kolom ini akan berisikan tingkat kerusakan suatu komponen, dan akan diklasifikasikan menjadi beberapa level :

|   |                    |                                                                                            |
|---|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | <i>Catastropic</i> | Kegagalan suatu komponen akan menyebabkan sistem mati                                      |
| B | <i>Critical</i>    | Kegagalan suatu komponen akan menyebabkan misi gagal atau rusak                            |
| C | <i>Major</i>       | Kegagalan suatu komponen akan menyebabkan misi sedikit gagal atau rusak atau misi tertunda |
| D | <i>Minor</i>       | Kegagalan suatu komponen akan menyebabkan perawatan di luar jadwal.                        |

### 11. Risk Reducing measures

Kolom ini berisikan kemungkinan suatu kegiatan untuk melakukan perbaikan fungsi dan mencegah kerusakan yang lebih serius.



**12. Comment**

Kolom ini mungkin berisikan informasi yang dibutuhkan dan tidak ada pada kolom yang lain.

| Description of Unit |        | Description of Failure |                   |                      | Effect Of Failure             |                        | Severity Ranking | Risk reducing Measures |
|---------------------|--------|------------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------|------------------|------------------------|
| Ref. No             | Fungsi | Failure Mode           | Failure Mechanism | Detection Of failure | On Component in the subsystem | On the system function |                  |                        |
|                     |        |                        |                   |                      |                               |                        |                  |                        |
|                     |        |                        |                   |                      |                               |                        |                  |                        |
|                     |        |                        |                   |                      |                               |                        |                  |                        |
|                     |        |                        |                   |                      |                               |                        |                  |                        |

Tabel. 2.1. Lembar Kerja FMEA ( Failure Mode Effect Analysis)

### II.7.2 FTA ( Fault Tree Analysis)

FTA merupakan penilaian secara *qualitative* dengan pendekatan atas-bawah ( *top - down approach*), Fault tree analysis mempunyai kelebihan, yaitu bisa memberikan penilaian *qualitative* dan *quantitative*. FTA juga merupakan suatu alat untuk menganalisa bentuk kegagalan yang potensial. Analisa suatu sistem berawal dari kondisi kegagalan yang spesifik ( Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap gagal ) sampai komponen yang paling sederhana . FTA akan lebih efektif ketika diaplikasikan selama pengembangan awal dari desain berdasarkan informasi *preliminary desain* (perencanaan awal) dan sesudah *final design* (perencanaan akhir) dengan skala produksi yang penuh berdasarkan *manufacturing drawing*.

Out put yang akan dihasilkan oleh analisa FTA adalah :

- Diagram logika yang detail dan berdasarkan kesalahan komponen yang mendasar.
- Probabilitas kejadian secara numerik pada kondisi *hazard* (gagal).
- Matrik kesalahan yang detail yang berdasarkan semua dasar kesalahan, kejadian critical dan probabilitas, saran perubahan dan perbaikan yang terukur berdasarkan desain rangkaian, pemilihan bagian komponen, inspeksi , *quality control* dan sebagainya yang diimplementasikan dan akan di kurangi efek kerusakan pada masing-masing kesalahan dasar.



### II.7.2.1. Prosedur Pengerjaan

Prosedur evaluasi keandalan dengan menggunakan FTA ada lima langkah diantaranya adalah sebagai berikut :

- Definisi masalah dan kondisi batas ( *boundary condition*)

Prinsip dasar analisa dengan menggunakan FTA terdiri dari dua hal, yaitu definisi kejadian kritis yang akan dianalisa dan definisi kondisi batas untuk dianalisa

- Membuat konstruksi *fault tree*.

Konstruksi *fault tree* selalu mulai pada kejadian paling atas ( *Top Event*) kemudian sampai pada analisa kejadian pada *level* atau tingkatan yang paling bawah.. Aturan pembuatan konstruksi *fault tree* ada tiga tahap, yaitu :

- Deskripsi kejadian kesalahan ( *fault event*)
- Evaluasi kejadian kesalahan
- Melengkapi diagram logika ( *logic gate*)

- Identifikasi minimal cut set

Cut set dapat diperoleh dengan menggunakan MOCUS ( *Method for obtaining cut set*)

- Analisa *qualitative* dengan *Fault tree*.

Evaluasi kualitatif *fault tree* berdasarkan pada minimal *cut set*.. Jika ada satu cut set pada basic event maka hal ini akan menyebabkan kejadian pada top event secara langsung. Ketika ada dua *cut set* pada *basic event* ( kejadian dasar) , dua kejadian pada komponen ini akan menyebabkan kejadian pada top event.

- Analisa *quantitative* dengan *fault tree*

Penilaian secara *quantitative* dengan menggunakan *boolean algebra*.

Aturan atau *rules* untuk Boolean Algebra :

|                                                                                      |                                                                           |                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Basic rules<br>$AA = A$<br>$A+A = A$<br>$A(A+B) = A$<br>$A+AB = A$<br>$A\bar{A} = 0$ | Commutative rules<br>$AB = BA$<br>$A+B = B+A$                             | Associate rules<br>$A(BC) = (AB)C$<br>$A+(B+C) = (A+B)+C$                                      |
| Distributive rules<br>$A(B+C) = AB+AC$<br>$A+BC = (A+B)(A+C)$                        | Rules involving 1 and 0<br>$0A = 0$<br>$1A = A$<br>$0+A = A$<br>$1+A = 1$ | Rules of demorgan<br>$\overline{AB} = \bar{A} + \bar{B}$<br>$\overline{A+B} = \bar{A} \bar{B}$ |

### **BAB III**

## **SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK**



## BAB III

### SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP

#### PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

##### III.1. Umum

Sistem pelumasan turbin uap ini mempunyai fungsi untuk melumasi *bearing* (bantalan) dari poros generator, poros turbin uap, katub pengendali ( *valve control* ), mengatur jacking pada bantalan ke poros sehingga bantalan dapat menempel pada poros. Kontrol turbin uap ini berfungsi sebagai pengendali atau kontrol dari aliran uap pada turbin uap. Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap ini mempunyai peran yang sangat penting karena apabila salah satu sistem ini rusak maka akan dapat menyebabkan kerusakan pada poros dan bantalan turbin uap, generator serta dapat menyebabkan aliran dari *steam* (uap) tidak dapat berjalan sehingga menyebabkan aliran listrik *shut down* (mati).

##### III.2. Fungsi Komponen pada Sistem Pelumasan Dan Kontrol Turbin Uap.

###### III.2.1. Main Oil Tank

*Main oil tank* (tangki minyak utama ) ini mempunyai fungsi sebagai penampung dari minyak yang akan didistribusikan ke *bearing* (bantalan), *jacking*, *control valve* (katup pengendali).

### III.2.2. Main Oil Pump

Main oil pump ini berfungsi untuk mendistribusikan minyak atau oil pada jacking, bearing, dan memberikan tekanan tinggi pada minyak untuk membuka *control valve* ( katub pengendali), membuka dan menutup aliran minyak yang bertekanan tinggi (*high pressure oil*). Main oil pump ini berfungsi pada 3000 Rpm. Main oil pump ini digerakkan oleh turbin.

### III.2.3. Oil Level Gauge dan Switch

Oil level gauge dan switch ini berfungsi untuk mengukur besar kapasitas minyak pada Main oil tank. Komponen ini hanya digunakan untuk mengetahui berapa besar kapasitas minyak pada main oil tank.

### III.2.4. Emergency Oil Pump (EOP)

Emergency oil pump ini berfungsi sebagai cadangan pompa ketika auxiliary pump dan flushing oil pump tidak berjalan karena arus listrik AC mati. Energi listrik yang dipakai pada Emergency Oil Pump (EOP) adalah arus listrik DC. Emergency Oil Pump ini hanya berfungsi untuk melumasi bantalan dan poros pada turbin, generator.

### III.2.5. Flushing Oil Pump (FOP)

Flushing oil pump ini berfungsi untuk mengalirkan minyak yang bersih sebagai pembilasan sehingga sirkulasi minyak pada sistem pelumasan ini selalu terjaga kebersihannya.

#### **III.2.6. Auxiliary Oil Pump (AOP)**

Auxiliary pump ini berfungsi untuk mengalirkan minyak ketika RPM kurang dari 3000. Pada putaran 3000 rpm minyak ditransfer oleh main oil pump.

#### **III.2.7. Oil Ejector**

Oil ejector ini berfungsi sebagai penguat tekanan minyak, sehingga aliran minyak bisa melumasi semua bagian baik itu bearing, control valve (katub pengendali ) maupun jacking.

#### **III.2.8. Vapour Extractor**

Vapour extactor ini berfungsi untuk mengeluarkan uap yang berada pada main oil tank.

#### **III.2.9. Oil Cooler**

Oil cooler berfungsi untuk mendinginkan minyak yang bersirkulasi pada sistem pelumasan turbin uap.

#### **III.2.10. Oil Filter**

Oil filter berfungsi untuk menyaring minyak sehingga kotoran-kotoran pada minyak bisa tersaring.



### III.2.11. Jacking Oil Pump Unit

Jacking oil unit ini terdiri dari strainer, pressure indicator ( PI), check valve, globe valve

- **Strainer**

Strainer ini berfungsi untuk menyaring kotoran. Saringan ini sifatnya lebih kasar dibandingkan dengan filter.

- **Pressure Indicator (PI)**

Pressure Indicator ini berfungsi sebagai alat indikasi atau petunjuk tekanan pada minyak.

### III.2.12. Oil Purifier System

Oil purifier system ini berfungsi untuk menjernihkan minyak yang kotor.

Oil purifier system terdiri dari beberapa komponen diantaranya adalah :

- **Catride Filter**

Berfungsi untuk menyaring kotoran pada minyak

- **Oil Circulating Pump**

Berfungsi untuk mensirkulasikan minyak

- **Bag Filter**

Berfungsi untuk menyaring kotoran pada minyak

- **Vapour Extractor**

Vapour extactor ini berfungsi untuk mengeluarkan uap yang berada pada oil purifier system.

- **Water Separator**

Water separator ini berfungsi untuk memisahkan antara minyak dengan air, sehingga dalam sirkulasi minyak ini tidak mengandung air

- **.Air Filter**

Berfungsi untuk menyaring udara .

#### **III.2.13. Clean Oil Storage Tank**

Clean oil storage tank berfungsi untuk menyimpan minyak yang bersih dan kapasitas yang dapat ditampung kurang lebih 30000 l.

#### **III.2.14. Dirty Oil Storage Tank**

Dirty oil storage tank berfungsi untuk menyimpan minyak yang kotor dan kapasitas minyak yang dapat ditampung kurang lebih 30000 L.

#### **III.2.15. Oil Transfer Pump**

Oil transfer pump ini berfungsi untuk mengalirkan minyak dari main oil tank menuju ke dirty oil storage tank.

#### **III.2.16. Oil Supply Pump**

Oil supply pump ini berfungsi untuk memindahkan minyak dari clean oil storage tank menuju ke main oil tank.

### **III.2.17. Instrumen Panel Between Turbin And Generator**

Instrumen panel between turbin and generator terdiri dari empat kompoen , yaitu EOP auto start, FOP auto start, AOP auto start dan Turning Gear Interlock.

- **EOP auto start**

Emergency oil pump auto start ini berfungsi untuk menjaga tekanan pada emergency oil pump, apabila tekanan yang mengalir dari EOP kurang maka besar tekanan ditambah dan apabila tekanannya lebih besar dari yang dibutuhkan maka tekanannya direduksi atau dikurangi.

- **FOP auto start**

Flushing oil pump auto start ini berfungsi untuk menjaga tekanan pada flushing oil pump, apabila tekanan yang mengalir dari FOP kurang maka besar tekanan ditambah dan apabila tekanannya lebih besar dari yang dibutuhkan maka tekanannya direduksi atau dikurangi.

- **AOP auto start**

Auxiliary oil pump auto start ini berfungsi untuk menjaga tekanan pada emergency oil pump, apabila tekanan yang mengalir dari AOP kurang maka besar tekanan ditambah dan apabila tekanannya lebih besar dari yang dibutuhkan maka tekanannya direduksi atau dikurangi.

- **Turning Gear Interlock**

Turning Gear Interlock berfungsi untuk menjaga tekanan aliran minyak yang mengalir pada sambungan putaran gear, apabila tekanan yang mengalir pada sambungan putaran gear kurang maka besar tekanan



ditambah dan apabila tekanannya lebih besar dari yang dibutuhkan maka tekanannya direduksi atau dikurangi.

#### III.2.18. Electrical Protective Device Panel

Electrical protective device panel merupakan pengendali atau kontrol pada Sistem Pelumasan dan Kontrol turbin Uap. Pengendalian sistem menggunakan automatic control yang digunakan untuk menjaga agar pada sistem ini tidak terjadi dua kondisi yaitu *low bearing oil pressure trip* (tekanan minyak pada bantalan pada bagian bawah yang gagal) dan *trust bearing wear trip* (gaya dorong bantalan yang lebih besar dari yang diijinkan).

- **low bearing oil pressure trip (panel)**

Low bearing oil pressure trip berfungsi berfungsi untuk menjaga tekanan aliran minyak yang mengalir pada bantalan bagian bawah agar tidak terjadi trip.

- **Trust bearing wear trip (panel)**

Trust bearing wear trip berfungsi berfungsi untuk menjaga gaya trust (dorong) dari poros terhadap trust bearing agar tidak melebihi dari gaya dorong yang telah ditentukan.

#### III.3. ANALISA HUBUNGAN ANTAR KOMPONEN

✓ Dari skema gambar steam turbin oil system dan control dapat dibuat hubungan antar komponen. Steam turbin oil system dan kontrol dipengaruhi oleh

beberapa unit diantaranya adalah pump (pompa), dirty oil storage tank, oil purifier system, clean oil storage tank, oil supply pump, main oil tank, oil cooler system, vapour extractor, main oil pump, jacking oil unit, emergency oil pump, flushing oil pump, auxiliary oil pump, oil ejector, strainer, oil circulating pump, oil transfer pump.

Aliran minyak mengalir dari main oil tank menuju ke bantalan dan control valve. Katub pengendali ( *control valve* ) minyak ini pada putaran turbin kurang dari 3000 rpm dialirkan oleh AOP (Auxiliary oil pump) dibantu oleh oil ejector dan ketika putaran turbin melebihi 3000 rpm maka yang digunakan untuk mengalirkan adalah main oil pump. Jika main oil pump maupun AOP tidak berjalan maka akan menyebabkan Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap ini akan mengalami *fault* (kesalahan) atau *failure* (gagal). Aliran yang berasal dari pelumasan bantalan (*bearing*) diubah tekanannya dengan cara dilewatkan pada jacking oil unit dan dipakai untuk mendorong bantalan pada poros sehingga poros dapat berputar.

Minyak yang bersirkulasi itu kemudian didinginkan oleh oil cooler , sehingga viskositas dan suhu dari minyak yang disirkulasikan tetap terjaga. Jika *oil cooler* (pendingin minyak) ini mengalami kerusakan maka akan dapat menyebabkan kerusakan pada bantalan ( bantalan cepat aus). Minyak yang kotor setelah bersirkulasi dan berasal dari main oil tank ditransfer atau dilairkan dengan oil transfer pump menuju ke dirty oil tank kemudian dijernihkan ke dalam oil purifier system kemudian menuju ke clean oil storage tank kemudian dijernihkan lagi oleh oil purifier system kemudian baru menuju ke main oil tank , sehingga

---

minyak yang kotor tidak langsung dibuang tetapi masih bisa dipakai untuk pelumasan. *Control Valve* (pengendali katub) dipengaruhi oleh dua aliran minyak, yaitu aliran minyak penghenti secara otomatis ( *auto stop oil* ) dan aliran minyak yang bertekanan tinggi ( *High Pressure Oil* ). FOP ( *Flushing Oil Pump* ) digunakan setelah dilaksanakan overhull ( *periodic maintenance* ) atau *serious inspection* setiap empat tahun sekali sehingga kotoran pada pipa dapat dibersihkan. Fungsi FOP dapat diganti oleh AOP maupun EOP. EOP ( *emergency oil pump* ) ini dipakai ketika AOP tidak dapat bekerja dan hanya berfungsi untuk pelumasan bantalan, poros pada turbin uap dan generator.



## **BAB IV**

### **ANALISA STATISTIK SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK**

**BAB IV**

**ANALISA STATISTIK SISTEM PELUMASAN DAN**

**KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU**

**SEKTOR GRESIK**

**IV.1 Umum**

Analisa statistik Sistem Pelumasan Dan Kontrol Turbin Uap PT PLN PJB pltgu II ini bertujuan untuk mengetahui kecenderungan distribusi suatu komponen pada Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT PLN PJB II.

**IV.2. Distribusi Data Sampel Komponen pada Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap**

Dalam analisa statitika, data sampel suatu populasi dipercaya mengikuti distribusi tertentu . Pada data life time , distribusi diskret dapat dikesampingkan dan dapat diasumsikan distribusinya adalah kontinyu.. Distribusi yang sering dipakai dalam model keandalan adalah eksponensial, weibull, gamma , atau distribusi normal.

Tabel 4.1. Daftar kerusakan komponen Sistem pelumasan dan Kontrol turbin uap

| NO | NAMA KOMPONEN                                                | WAKTU KERUSAKAN (HOURS) |
|----|--------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | Seal LP Turbin Uap                                           | 9264                    |
| 2  | LP Turbin Isolating Valve                                    | 9240                    |
| 3  | Oil Circulating Pump inlet pressure pada oil purifier system | 9576                    |



|    |                                          |                                              |
|----|------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 4  | Plug drain                               | 17592                                        |
| 5  | Oil transfer pump                        | 17760                                        |
| 6  | Main oil tank                            | (20760),<br>(3837),(7680),<br>(4689), (9240) |
| 7  | Vapour extractor pada purifier (packing) | (24192).(64),<br>(21480)                     |
| 8  | Catride filter oil purifier system       | (24360), (6864)                              |
| 9  | Seal oil unit                            | 7848                                         |
| 10 | Bearing steam turbin                     | 15840                                        |

Dari table yang ada dapat disimpulkan , untuk komponen yang mengalami kerusakan hanya satu kali dapat diasumsikan data yang ada dapat dihilangkan , sedangkan catride filter oil purifier yang memiliki data kerusakan dua kali masih dapat dipakai karena pada tabel kolmogorov - smirnov untuk jumlah data sebanyak dua masih dapat dianalisa . Komponen untuk main oil tank , catride filter oil purifier system dan vapour extractor perlu dicari dulu distribusi yang dipakai dengan mengeplot fungsi sehingga dari sini akan terlihat kecenderungan suatu grafik terhadap distribusi tertentu. Pengambilan data kerusakan pada jangka waktu 5 tahun

Tabel 4.2

## Ringkasan Statistik Sampel Komponen

| STATISTIK       | MAIN OIL TANK         | VAPOUR EXTRACTOR      | CATRIDE FILTER        |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Jumlah Sampel   | 5                     | 3                     | 2                     |
| Rata-rata       | 9277,2                | 15245,3               | 15612                 |
| Median          | 7680                  | 21480                 | 15612                 |
| Modus           | 7680                  | 21480                 | 6864                  |
| Geometric mean  | 7725,71               | 3215,85               | 12930,9               |
| Variance        | $4,58588 \times 10^7$ | $1,74693 \times 10^8$ | $1,53055 \times 10^8$ |
| Standar deviasi | 6771,91               | 13217,2               | 12371,5               |
| Minimum         | 3837                  | 64                    | 6864                  |
| Maksimum        | 20760                 | 24192                 | 24360                 |



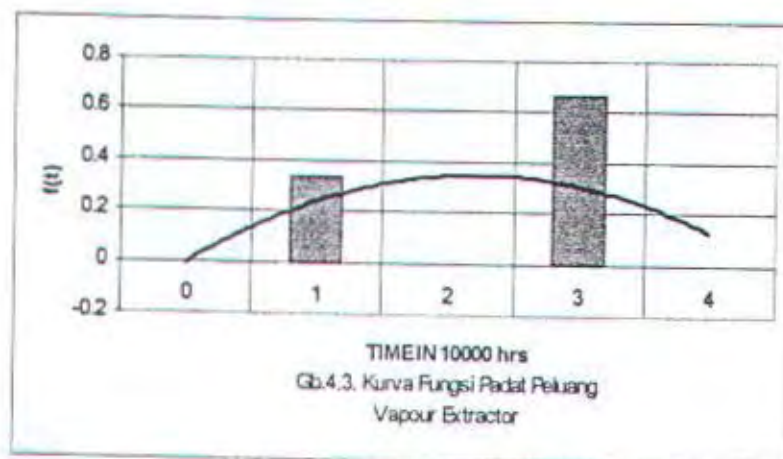
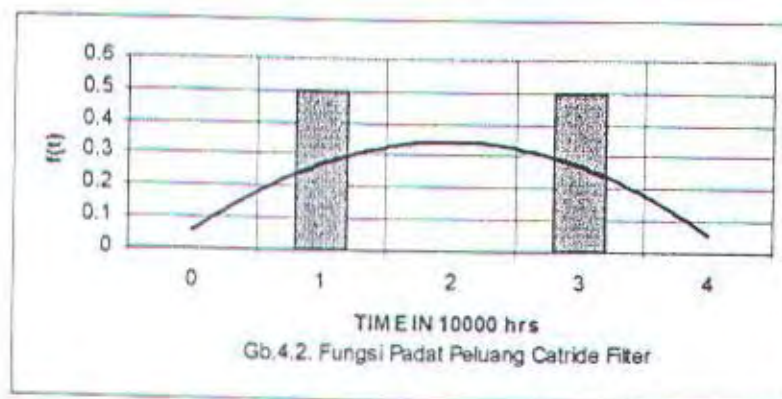
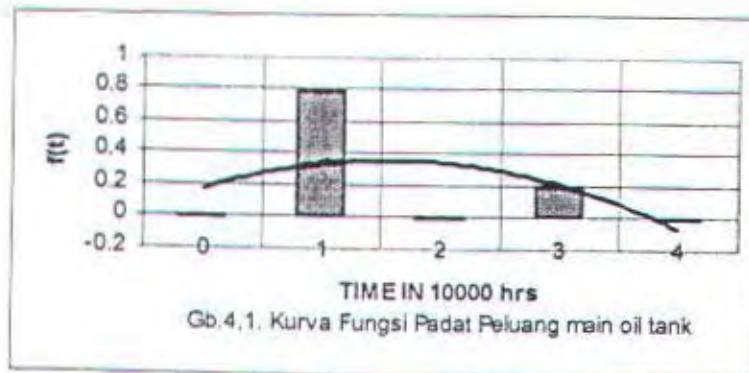
|                   |         |          |         |
|-------------------|---------|----------|---------|
| Range             | 16923   | 24128    | 24360   |
| Kuartil Bawah     | 4869    | 64       | 6864    |
| Kuartil Atas      | 9240    | 24192    | 24360   |
| Range Kuartil     | 4371    | 24128    | 17496   |
| Skewnes           | 1,69499 | -1,65037 | -32768  |
| Skewnes Standar   | 1,54731 | -1,16699 | -32768  |
| Kurtosis          | 3,08265 | -32768   | -32768  |
| Kurtosis Standar  | 1,40703 | -32768   | -32768  |
| Koefisien variasi | 72,9952 | 86,6965  | 79,2438 |

#### IV.2.1. Koefisien Variasi, Skewnes dan Kurtosis.

Dari plotting fungsi ( probabilitas padat peluang, survivor function, Hazard rate) dapat diduga bahwa kecenderungan dari data tersebut memakai distribusi normal dan weibull., tetapi kalau dilihat nilai dari data diatas koefisien variasi  $> 1$  (lebih besar dari 1) dapat diduga distribusi yang digunakan bisa weibull atau gamma dengan  $\alpha < 1$ . Nilai skewnes dari main oil tank adalah positive artinya bentuk kurva yang ada condong kekanan, sedangkan bentuk kurva untuk vapour extractor dan catride filter cenderung kekiri, ini berarti distribusi yang digunakan tidak mungkin normal..

#### IV.2.2. Histogram Komponen pada Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap

Bentuk histogram dari ketiga komponen diatas menunjukkan dukungan yang lebih kuat bahwa distribusi yang dipakai weibull . Kecenderungan bentuk histogram dapat dilihat pada (gb 4.1, 4.2, 4.3). Pendugaan distribusi dengan menggunakan grafik histogram masih lemah karena bentuk grafik tersebut masih dipengaruhi oleh interval waktu yang dipakai .



### IV.2.3. Uji Hipotesa Distrbusi Komponen

Memperhatikan hasil analisa diatas sebenarnya cukup beralasan untuk mempersempit hipotesa distribusi , yaitu distribusi gamma dan Weibull, tetapi untuk memperkuat hasil analisa diatas , dalam tabel 4.3 diperlihatkan hasil uji hipotesa dengan Kolmogorof - Smirnov (K-S) untuk ketiga data sampel diatas.

Tabel 4.3.

Hasil Uji K-S Komponen

| DISTRIBUSI | Nilai DN dan Significane Level |                        |                        |
|------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| Ho         | Main Oil Tank                  | Vapour Extractor       | Catride Filter         |
| Weibull    | 0.245617<br>(0,923601)         | 0.425697<br>(0,648524) | 0.346654<br>(0.969852) |

Berdasarkan uji K-S nilai dn diambil dari tabel kolmogorof sminov dengan  $\alpha = 5\%$  nilainya untuk komponen main oil tank adalah 0.563, vapour extractor adalah 0,708 dan catride filter adalah 0.842. Kaidah pengambilan keputusan adalah tolak  $H_0$  bila  $DN > dn$ , artinya dugaan terhadap distribusi ditolak apabila nilai DN pada tabel 4.3 lebih besar dari harga dn pada tabel kolmogorof-smirnov .

### IV.3. Penaksiran parameter dan keandalan

Penaksiran parameter dari komponen yang menggunakan distribusi weibull ( vapour extractor , catride filter, main oil tank) dengan menggunakan pragram statgraphics 4,2 , yaitu dengan nilai  $\beta(\text{mot}) = 1.66123$  ,  $\alpha(\text{mot}) = 10444.7$  ,  $\beta(v) = 2.7103$  ,  $\alpha(v) = 19879.1$  ,  $\beta(c) = 1.89425$  ,  $\alpha(c) = 17686.7$



#### IV.4. Analisa Keandalan Komponen pada Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap

Evaluasi keandalan komponen vapour extractor , catride filter dan main oil tank menggunakan distribusi weibull, dengan memasukkan nilai shape parameter dari komponen tersebut maka nilai keandalan dari komponen dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$R(t1) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right] = \exp \left[ - \left( \frac{t}{119879,1} \right)^{2,57103} \right] \quad 4.1$$

$$R(t2) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right] = \exp \left[ - \left( \frac{t}{17686,4} \right)^{1,89425} \right] \quad 4.2$$

$$R(t3) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right] = \exp \left[ - \left( \frac{t}{10444,7} \right)^{1,66123} \right] \quad 4.3$$

R(t1) = nilai kehandalan vapour extractor

R(t2) = nilai kehandalan komponen catride filter

R(t3) = main oil tank

Tabel 4.4. Nilai kehandalan Komponen Sistem Pelumasan  
dan Kontrol Turbin Uap

| WAKTU<br>(BULAN) | CATRIDE FILTER | VAPOUR<br>EXTRACTOR | MAIN OIL TANK |
|------------------|----------------|---------------------|---------------|
| 1                | 0.99767776     | 0.99987576          | 0.98830972    |
| 2                | 0.99139478     | 0.99918719          | 0.96349060    |
| 3                | 0.98154309     | 0.99756278          | 0.92965375    |
| 4                | 0.96838409     | 0.99469248          | 0.88902061    |
| 5                | 0.95215546     | 0.99030410          | 0.84330880    |
| 6                | 0.93309274     | 0.98415677          | 0.79397066    |
| 7                | 0.91143610     | 0.97603943          | 0.74226983    |
| 8                | 0.88743202     | 0.96577152          | 0.68931105    |
| 9                | 0.86133285     | 0.95320475          | 0.63605356    |
| 10               | 0.83339523     | 0.93822528          | 0.58331888    |
| 11               | 0.80387801     | 0.92075609          | 0.53179713    |
| 12               | 0.76778980     | 0.89718012          | 0.47396917    |
| 24               | 0.37446640     | 0.49160602          | 0.09428503    |
| 36               | 0.12035502     | 0.11872869          | 0.00974201    |
| 48               | 0.02595692     | 0.00958881          | 0.00057057    |

## **BAB V**

**ANALISA QUALITATIVE DAN  
QUANTITATIVE DENGAN  
MENGGUNAKAN FMEA DAN FTA  
SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL  
TUBIN UAP PT. PLN PJB II  
PLTGU SEKTOR GRESIK**



## BAB V

### ANALISA QUALITATIVE DAN QUANTITATIVE DENGAN MENGUNAKAN FMEA DAN FTA SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II SEKTOR GRESIK

#### V.1 Umum

Berdasarkan analisa hubungan antar komponen dapat kita buat RBD (*reliability blok diagram*) yang berguna untuk mempermudah pemahaman sistem pelumasan dan control turbin uap. Evaluasi kehandalan dari tiap komponen dapat ditentukan dengan menentukan distribusi yang akan digunakan dalam mencari nilai keahandalannya, MTTF maupun MTBF. Sistem yang telah dibuat RBD ini dievaluasi secara *qualitative* dan *quantitative*. Evaluasi secara *qualitative* menggunakan FMEA sedangkan evaluasi secara *qualitative* dan *quantitative* menggunakan FTA.

#### V. 2. Pembuatan RBD ( Reliability Blok Diagram)

Sistem Pelumasan dan Kontrol turbin Uap PT PLN PJB II dibuat sedemikian rupa sehingga menjadi blok diagram. Blok diagram ini dapat disebut Reliability Blok Diagram (RBD). Reliability blok diagram akan memudahkan dalam evaluasi keandalan Sistem pelumasan dan Kontrol Turbin Uap, selain itu juga akan mengetahui hubungan pengaruh suatu komponen terhadap suatu sistem.

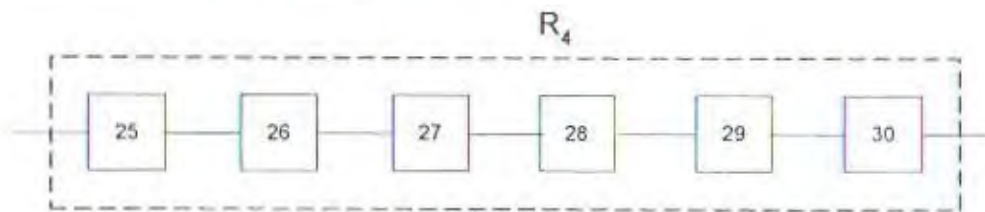
# RELIABILITY BLOK DIAGRAM SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK



Gb.5.1

## Keterangan :

- |                           |                                                 |
|---------------------------|-------------------------------------------------|
| 1. STRAINER               | 12. OIL EJECTOR 1                               |
| 2. OIL TRANSFER PUMP      | 13. OIL EJECTOR 2                               |
| 3. DIRTY OIL STORAGE TANK | 14. FOP (FLUSHING OIL PUMP)                     |
| 4. OIL PURIFIER SYSTEM I  | 15. EOP ( EMERGENCY OIL PUMP)                   |
| 5. CLEAN OIL STORAGE TANK | 16. AOP (AUXILIARY OIL PUMP)                    |
| 6. STRAINER               | 17. MAIN OIL PUMP                               |
| 7. OIL SUPPLY PUMP        | 18. JACKING OIL UNIT                            |
| 8. OIL PURIFIER SYSTEM II | 19. STRAINER                                    |
| 9. MAIN OIL TANK          | 20. RELIEF VALVE                                |
| 10. OIL COOLER 1          | 21. HP CONTROL VALVE E/H CONVERTER 1            |
| 11. OIL COOLER 2          | 22. HP CONTROL VALVE E/H CONVERTER 2            |
|                           | 23. INSTRUMEN PANEL BETWEEN TURBIN DANGENERATOR |
|                           | 24. ELECTRICAL PROTECTIVE DEVICE PANEL          |

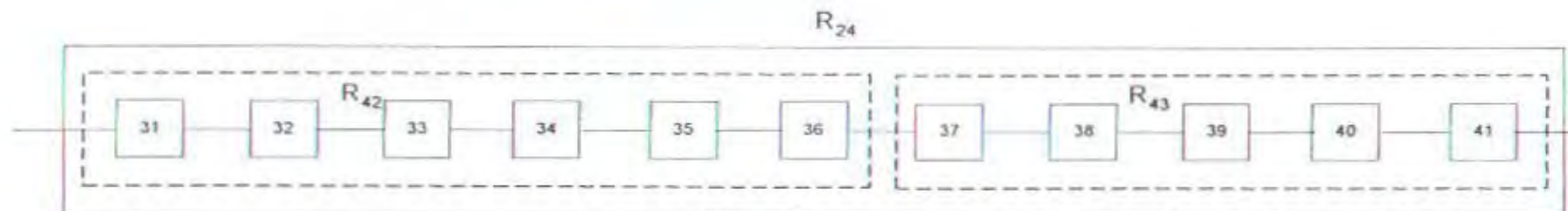
RELIABILITY BLOK DIAGRAM (RBD )  
SUBSYSTEMOIL PURIFIER SYSTEM 1 & 2  
(SUBSYSTEM 1)

Gb.5.2

## KETERANGAN :

- 25. AIR FILTER
- 26. VAPOUR EXTRACTOR
- 27. OIL CIRCULATING PUMP
- 28. CATRIDE FILTER
- 29. WATER SEPARATOR
- 30. BAG FILTER

## ELECTRICAL PROTECTIVE DEVICE PANEL



Gb.5.3.



## KETERANGAN :

- 31. PRESSURE INDICATOR (PI)
- 32. PRESSURE SWITCH
- 33. PRESSURE SWITCH
- 34. PRESSURE SWITCH
- 35. PRESSURE SWITCH
- 36. PRESSURE INDICATOR (PI)

- 37. PRESSURE INDICATOR (PI)
- 38. PRESSURE SWITCH
- 39. PRESSURE SWITCH
- 40. PRESSURE SWITCH
- 41. PRESSURE SWITCH

## INSTRUMEN PANEL BETWEEN TURBINE AND GENERATOR



Gb.5.4.

## KETERANGAN :

- 44. PRESSURE INDICATOR
- 45. PRESSURE SWITCH
- 46. PRESSURE INDICATOR
- 47. PRESSURE SWITCH
- 48. PRESSURE INDICATOR
- 49. PRESSURE SWITCH
- 50. PRESSURE INDICATOR
- 51. PRESSURE SWITCH



## JACKING OIL UNIT



Gb.5.5.

## KETERANGAN :

- 52. STRAINER
- 53. PRESSURE INDICATOR
- 54. PRESSURE SWITCH
- 55. CHECK VALVE
- 56. STRAINER
- 57. PRESSURE INDICATOR
- 58. PRESSURE SWITCH
- 59. CHECK VALVE

Berdasarkan *Reliability Blok Diagram* (Gb. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4) dapat dianalisa hubungan antara komponen terhadap suatu sistem, pengaruh komponen terhadap subsystem, pengaruh subsystem terhadap sysem. Hubungan komponen yang bersifat seri (komponen 1,2,3,4 ..9) dapat diartikan apabila satu komponen misalnya komponen 1 gagal maka sistem ini akan gagal. Hubungan komponen yang bersifat pararel (komponen 10 dan 11, komponen 15 dan 16) dapat diartikan apabila salah satu komponen mengalami kegagalan maka sistem ini dapat berjalan atau sukses dan sistem ini akan mengalami kegagalan apabila komponen 10 dan 11 atau komponen 15 dan 16 mengalami kegagalan.

### **V.3. EVALUASI KEHANDALAN SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT. PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK SECARA QUALITATIVE DENGAN FMEA**

Evaluasi kehandalan secara qualitative dapat dilihat pada tabel 5.1.. Pemakaian FMEA sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Dari sini akan dapat diidentifikasi penyebab kegagalan komponen, efek kegagalan komponen terhadap sistem pelumasan dan kontrol Turbin Uap PT PLN PJB II PLTGU Sektor Gresik.



TABEL 5.1. FMEA SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP

| Description Of Unit |                                                                                                                     | Description of Failure   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                              | Effect Of Failure                               |                                                                                                                                                        | Severity Ranking | Risk reducing Measures                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ref. No             | Fungsi                                                                                                              | Failure Mode             | Failure Mechanism                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Detection Of failure         | On Component in the subsystem                   | On the system function                                                                                                                                 |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Main Lube Oil Pump  | Mengalirkan minyak dari main oil tank ke bantalan dari turbin uap ketika putaran dari turbin uap melebihi 3000 RPM. | Tekanan kurang           | Impeler mengalami erosi, korosi<br>Pompa berputar terbalik<br>Suction valve atau katub masukan tertutup<br>Udara masuk ke dalam pompa<br>Viskositas minyak terlalu tinggi<br>Setting pada relief valve dan pressure regulating valve tidak benar<br>Terjadi kavitasi<br>Terdapat kebocoran pada pompa. | Pressure indicator           | Aliran minyak tidak dapat mengalir ke bantalan. | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kesalahan) dan akan menyebabkan aliran listrik breakdown karena bantalan akan mengalami keausan atau kerusakan. | A                | Ganti impeler<br>Mengubah arah putaran dari pompa dengan mengubah (membalik) sambungan kabel.<br>Buka Suction valve<br>Periksa dan perbaiki bagian yang terdapat udara masuk.<br>Ganti minyak tersebut dengan viskositas yang cocok.<br>Seting kembali relief valve dan pressure regulating valve.<br>Kavitasi dapat terjadi karena viskositas dari minyak yang terlalu tinggi maka ganti minyak dengan viskositas yang dibutuhkan dan jika terjadi karena adanya udara yang masuk maka perbaiki bagian yang memasukkan udara. |
|                     | Menaikkan tekanan minyak                                                                                            | Kapasitas Tidak memenuhi | Supply tegangan listrik kurang<br>Saluran discharge dan suction tersumbat                                                                                                                                                                                                                              | Volt meter<br><br>Flow meter | Bantalan akan cepat mengalami keausan.          | Sistem pelumasan akan mengalami fault dan akan menyebabkan breakdown pada aliran listrik                                                               |                  | Menaikkan supply tegangan listrik sehingga kebutuhan daya dari pompa terpenuhi.<br>Buka katub masukan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                         |                                                                                      |                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pompa bergetar dan mengeluarkan suara yang sangat bising     | Penggerak pompa mendapatkan beban yang berlebih.<br>Poros kopling tidak lurus.<br>Adanya benda atau zat lain yang masuk ke dalam pompa<br>Daya yang terpakai melebihi batas pada pompa melebihi batas.<br>Terjadi kavitasi<br>Pondasi pada pompa yang kurang baik |                         | Pompa akan cepat mengalami kerusakan                                                 | Sistem pelumasan turbin uap akan mengalami fault dan akan menyebabkan kegagalan pada aliran listrik.       | Tegangan listrik disesuaikan<br>Luruskan kembali poros koplingnya.<br>Saluran discharge dan suction dibersihkan<br>Daya yang disalurkan disesuaikan dengan kebutuhan dari pompa                                                                                                                         |
| Tekanan mengalami fluktuasi atau turun naik                  | Terjadi kavitasi<br>Relief valve mengalami kerusakan.<br>Adanya udara yang tinggal didalam pompa                                                                                                                                                                  | PI (Pressure Indicator) | Bantalan akan cepat mengalami keausan                                                | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan. | Kavitasi dapat terjadi karena viskositas dari minyak yang terlalu tinggi maka ganti minyak dengan viskositas yang dibutuhkan dan jika terjadi karena adanya udara yang masuk maka perbaiki bagian yang kemasukan udara.<br>Ganti atau perbaiki relief valve<br>Keluarkan udara yang ada di dalam pompa. |
| Pompa tidak berputar dengan baik                             | Pemasangan pompa tidak betul<br>Adanya kotoran yang masuk ke dalam pompa<br>Perakitan pompa yang tidak betul                                                                                                                                                      |                         | Pompa cepat mengalami kerusakan.<br>Bantalan cepat mengalami keausan.                | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan. | Luruskan kembali antara pompa dengan motor.<br>Bersihkan kotoran yang masuk ke dalam pompa.<br>Rakit kembali pompa tersebut.                                                                                                                                                                            |
| Pompa berputar tiba-tiba dan berhenti ketika sedang berputar | Adanya kotoran yang masuk ke dalam pompa<br>Terjadi perubahan bentuk atau deformasi karena panas                                                                                                                                                                  |                         | Pompa cepat mengalami kerusakan.<br>Bantalan turbin uap akan cepat mengalami keausan | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan  | Perbaiki apabila kerusakan pada pompa itu kecil dan ganti apabila kerusakannya sangat besar.                                                                                                                                                                                                            |



|                             |                                                                                               |                                                                    |                                                                                                                                           |  |                                        |                                                                                                                                            |   |                                                                                                                          |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |                                                                                               | Seal pompa terjadi kebocoran                                       | Seal tidak terpasang dengan benar<br>Seal terpasang dengan berlebihan.                                                                    |  | Bantalan akan cepat mengalami keausan. | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan.                                 |   | Rakit kembali seal itu pada pompa sehingga tidak akan terjadi kebocoran pada seal. Ganti seal tersebut dengan yang baru. |
| AOP<br>(Auxiliary Oil Pump) | Mengalirkan minyak ke bantalan turbin uap ketika putaran dari turbin uap kurang dari 3000 RPM | Tidak ada aliran minyak yang mengalir                              | Katub keluaran tertutup. Main oil tank kosong Lubang hisapan tertutup (suction bloked)                                                    |  | Bantalan akan cepat mengalami keausan  | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena Main oil pump tidak dapat bekerja pada RPM < 3000 dan akan menyebabkan keausan pada bantalan. | A | Buka katub. Isi main oil tank. Bersihkan impeler, saluran masukan dan strainer.                                          |
|                             |                                                                                               | Aliran minyak keluar tidak penuh /partial                          | Katub keluaran tertutup secara partial. Main oil tank terisi sedikit Lubang hisapan tertutup sebagian. (suction bloked partially)         |  | Bantalan akan cepat mengalami keausan  | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena Main oil pump dapat bekerja tetapi sebagian dan akan menyebabkan keausan pada bantalan.       |   | Buka katub. Isi main oil tank sampai pada level yang dikendaki. Bersihkan impeler, saluran masukan dan strainer.         |
|                             |                                                                                               | Keluaran dari minyak tidak penuh dan tekanan hantaran yang tinggi. | Katub keluaran tertutup secara partial. Head yang ada terlalu besar dari pada head desain.                                                |  | Bantalan akan cepat mengalami keausan. | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena Main oil pump dapat bekerja tetapi sebagian dan akan menyebabkan keausan pada bantalan.       |   | Buka katub. Redesain instalasi sistem pelumasan sehingga head actual lebih kecil dari head yang direncanakan.            |
|                             |                                                                                               | Pumpa menyerap daya berlebihan                                     | Head yang ada lebih kecil dari desain head berakibat pada penambahan kapasitas dan power Bantalan pompa yang dipakai mengalami kerusakan. |  | Bantalan akan cepat mengalami keausan. | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena minyak tidak dapat mengalir.                                                                  |   | Tutup secara partial discharge valve sampai head yang direncanakan terlihat dalam pressuregauge. Ganti bantalan.         |



|                         |                                                                                                                   |                                                                   |                                                                                                                                            |  |                                                                                                    |                                                                                                                                            |   |                                                                                                                  |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                                                                                                                   | Turunnya kinerja dari pompa dalam waktu yang lama                 | Rings pada Impeler atau casing mengalami kerusakan                                                                                         |  | Pompa tidak dapat bekerja dengan sempurna dan mengakibatkan bantalan akan cepat mengalami keausan. | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena minyak dapat mengalir tetapi tidak sempurna.                                                  |   | Ganti rings pada impeler atau casing.<br>Ganti bantalan.                                                         |
| Emergency Lube Oil Pump | Berfungsi sebagai cadangan ketika auxiliary pump dan flushing oil pump tidak bekerja karena arus listrik AC mati. | Tidak ada aliran minyak yang mengalir                             | Katub keluaran tertutup. Main oil tank kosong Lubang hisapan tertutup (suction blocked)                                                    |  | Bantalan dapat mengakibatkan keausan ketika AOP dan EOP tidak bekerja.                             | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena Main oil pump tidak dapat bekerja pada RPM < 3000 dan akan menyebabkan keausan pada bantalan. | B | Buka katub. Isi main oil tank. Bersihkan impeler, saluran masukan dan strainer.                                  |
|                         |                                                                                                                   | Aliran minyak keluar tidak penuh /partial                         | Katub keluaran tertutup secara partial. Main oil tank terisi sedikit. Lubang hisapan tertutup sebagian (suction blocked partially)         |  | Bantalan dapat mengakibatkan keausan ketika AOP dan FOP tidak dapat bekerja.                       | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena ketika AOP dan FOP                                                                            |   | Buka katub. Isi main oil tank sampai pada level yang dikendaki. Bersihkan impeler, saluran masukan dan strainer. |
|                         |                                                                                                                   | Keluaran dari minyak tidak penuh dan tekanan hantaran yang tinggi | Katub keluaran tertutup secara partial. Head yang ada terlalu besar dari pada head desain.                                                 |  | Bantalan dapat mengakibatkan keausan ketika AOP dan FOP tidak bekerja.                             | Sistem pelumasan akan mengalami fault ketika AOP dan FOP tidak dapat bekerja.                                                              |   | Buka katub. Redesain instalasi sistem pelumasan sehingga head actual lebih kecil dari head yang direncanakan.    |
|                         |                                                                                                                   | Pompa menyerap daya berlebihan                                    | Head yang ada lebih kecil dari desain head berakibat pada penambahan kapasitas dan power. Bantalan pompa yang dipakai mengalami kerusakan. |  | Bantalan dapat mengakibatkan keausan ketika AOP dan FOP tidak bekerja.                             | Sistem pelumasan akan mengalami fault.                                                                                                     |   | Tutup secara partial discharge valve sampai head yang direncanakan terlihat dalam pressuregauge. Ganti bantalan. |
|                         |                                                                                                                   | Turunnya kinerja dari pompa dalam waktu yang lama                 | Rings pada Impeler atau casing mengalami kerusakan                                                                                         |  | Bantalan dapat mengakibatkan keausan ketika AOP dan FOP tidak bekerja.                             | Sistem pelumasan akan mengalami fault.                                                                                                     |   | Ganti rings pada impeler atau casing.<br>Ganti bantalan.                                                         |

|                                     |                                                                                                                                                                                     |                                                                                |                                                                                                                                                          |                                  |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                           |   |                                                                                                                           |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FLUSHIN<br>G OIL<br>PUMP)           | Berfungsi untuk<br>mengalirkan<br>minyak yang<br>bersih sebagai<br>pembilasan<br>sehingga<br>sirkulasi<br>minyak pada<br>sistem<br>pelumasan ini<br>selalu terjaga<br>kebersihannya | Tidak ada aliran<br>minyak yang<br>mengalir                                    | Katub keluaran tertutup.<br>Main oil tank kosong<br>Lubang hisapan tertutup<br>(suction bloked)                                                          |                                  | Bantalan akan cepat<br>mengalami keausan                                                                                                       | Sistem pelumasan akan<br>mengalami fault karena Main<br>oil pump tidak dapat bekerja<br>pada RPM < 3000 dan akan<br>menyebabkan keausan pada<br>bantalan. | C | Buka katub.<br>Isi main oil tank.<br>Bersihkan impeler, saluran<br>masuk dan strainer.                                    |
|                                     |                                                                                                                                                                                     | Aliran minyak<br>keluar tidak penuh<br>/partial                                | Katub keluaran tertutup<br>secara partial.<br>Main oil tank terisi sedikit<br>Lubang hisapan tertutup<br>sebagian.                                       |                                  | Bantalan akan cepat<br>mengalami keausan.                                                                                                      | Sistem pelumasan akan<br>mengalami fault karena Main<br>oil pump dapat bekerja tetapi<br>sebagian dan akan<br>menyebabkan keausan pada<br>bantalan.       |   | Buka katub<br>Isi main oil tank sampai pada level<br>yang dikendaki.<br>Bersihkan impeler, saluran<br>masuk dan strainer. |
|                                     |                                                                                                                                                                                     | Keluaran dari<br>minyak tidak penuh<br>dan tekanan<br>hantaran yang<br>tinggi. | Katub keluaran tertutup<br>secara partial.<br>Head yang ada terlalu besar<br>dari pada head desain.                                                      |                                  | Bantalan akan cepat<br>mengalami keausan.                                                                                                      | Sistem pelumasan akan<br>mengalami fault karena Main<br>oil pump dapat bekerja tetapi<br>sebagian dan akan<br>menyebabkan keausan pada<br>bantalan.       |   | Buka katub.<br>Redesain instalasi sistem<br>pelumasan sehingga head actual<br>lebih kecil dari head yang<br>direncanakan. |
|                                     |                                                                                                                                                                                     | Pumpa menyerap<br>daya berlebihan                                              | Head yang ada lebih kecil<br>dari desain head berakibat<br>pada penambahan kapasitas<br>dan power<br>Bantalan pompa yang dipakai<br>mengalami kerusakan. |                                  | Bantalan akan cepat<br>mengalami keausan                                                                                                       | Sistem pelumasan akan<br>mengalami fault karena<br>minyak tidak dapat mengalir.                                                                           |   | Tutup secara partial discharge valve<br>sampai head yang direncanakan<br>terlihat dalam pressuregauge.<br>Ganti bantalan. |
| MAIN<br>OIL<br>TANK                 | Berfungsi<br>sebagai<br>penampung dari<br>minyak yang<br>kan<br>didistribusikan<br>ke bantalan,<br>jacking dan<br>control valve                                                     | Bocor                                                                          | Berkarat                                                                                                                                                 | Oil level<br>gauge and<br>switch | Distribusi minyak<br>tidak akan sempurna<br>karena kurangnya<br>jumlah minyak yang<br>dibutuhkan dan akan<br>menyebabkan<br>bantalan cepat aus | Sistem pelumasan akan<br>mengalami fault karena<br>minyak tidak dapat<br>terdistribusi pada semua<br>bagian.                                              | A | Isi kembali minyak ke main oil<br>tank.                                                                                   |
| Oil level<br>gauge<br>and<br>switch | Brfungsi<br>untuk<br>mengukur<br>besar<br>kapasitas                                                                                                                                 | Sudah tidak<br>sesuai antara<br>pengukuran<br>kapasitas minyak<br>pada M.O.T   |                                                                                                                                                          | -                                | -                                                                                                                                              | -                                                                                                                                                         |   | Ganti yang baru.                                                                                                          |



|                  |                                                                                                                                             |                                                     |                                                                                        |                            |                                                                                     |                                                                                                                   |   |                                               |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------|
|                  | minyak pada main oil tank                                                                                                                   | dengan kenyataan                                    |                                                                                        |                            |                                                                                     |                                                                                                                   |   |                                               |
| Oil ejector      | Berfungsi sebagai penguat tekanan minyak, sehingga aliran minyak bisa melumasi semua bagian baik itu bearing, control valve maupun jacking. | Tekanan yang ditimbulkan oleh oil ejector kurang.   | Retak Berkarat                                                                         | Pressure Indicator         | Distribusi minyak ke bantalan, control valve dan main oil pump tidak akan tercapai. | Sistem pelumasan akan mengalami fault                                                                             | B | Perbaiki bila mungkin atau ganti              |
| Vapour extractor | Berfungsi untuk mengeluarkan uap dari main oil tank                                                                                         | Kebocoran pada kapasitas                            | Jumlah putaran bocor<br>Terjadi kerusakan pada mekanik dari vapour extractor (impeler) |                            | Menyebabkan oli (minyak) yang ada pada main oil tank cepat panas                    | Oli yang panas dan menyebabkan keausan pada bearing turbin.                                                       | B | Cek dan ganti impeler bila terjadi kerusakan. |
|                  |                                                                                                                                             | Terjadi getaran yang tidak teratur pada kipas (fan) | Instalasi dan pengencangan kurang benar                                                |                            | Menyebabkan kerusakan pada vapour extractor                                         | Oli akan cepat panas dan menyebabkan keausan pada bearing turbin.                                                 |   | Cek dan Ganti impeler bila terjadi kerusakan. |
| Lube oil cooler  | Berfungsi untuk mendinginkan minyak                                                                                                         | Lube oil cooler tidak bisa mendinginkan minyak      | Tabung (tube) untuk sambungan pada pelat tabung (tube sheet) terjadi kebocoran         | Air leak test, visual test | Menyebabkan kerusakan pada lube oil cooler                                          | Oli atau minyak akan panas menyebabkan viskositas dari minyak akan rendah dan mengakibatkan keausan pada bearing. | B | Kebocoran pada sambung ditambah               |
|                  |                                                                                                                                             |                                                     | Terjadi kebocoran pada tabung (tube)                                                   | Air leak test              | Menyebabkan kerusakan pada oil cooler.                                              |                                                                                                                   |   | Kebocoran pada tube (tabung) ditambah         |
| Strainer         | Berfungsi untuk menyaring kotoran yang ada pada minyak                                                                                      | Kotoran pada oil atau minyak tidak tersaring.       | Strainer sobek (rusak)                                                                 | Viscosimeter               | Oli akan kotor menyebabkan pompa rusak, bearing cepat aus.                          | Bearing akan cepat aus                                                                                            | C | Ganti strainer                                |



|            |                                                            |                                                          |                                                                      |           |                                                                        |                                                                                              |  |                                                                          |
|------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------|
|            |                                                            | Tidak aliran yang keluar dari strainer                   | Strainer tersubat                                                    | Flowmeter | Pompa tidak akan dapat menghisap minyak, meyebabkan pompa rusak.       | Tidak akan ada distribusi minyak sehingga akan menyebabkan sistem pelumasan mengalami fault. |  | Bersihkan strainer dengan dengan air yang bertekanan dari shower nozzle. |
| Sight flow | Berfungsi untuk mengecek aliran minyak yang ada pada pipa. | Aliran minyak pada sight flow tidak kelihatan.<br>*<br>* | Kaca pada sight flow kotor karena deposit (endapan) , berkarat.<br>* | -         | Tidak akan mengetahui apakah pada pipa tersebut ada aliran atau tidak. | *                                                                                            |  | Bersihkan sight flow dari kotoran yang ada.                              |

|                  |                                                                                                                                                      |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                              |                                                              |                                                                                                                                                 |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jacking oil pump | Berfungsi untuk mengalirkan dan memberi tekanan kepada minyak yang bertujuan untuk mengangkat bantalan sehingga bantalan bisa menempel pada bearing. | Tekanan kurang                                           | Impeler mengalami erosi, korosi<br>Pompa berputar terbalik<br>Suction valve atau katub masukan tertutup<br>Udara masuk ke dalam pompa<br>Viskositas minyak terlalu tinggi<br>Setting pada relief valve dan pressure regulating valve tidak benar.<br>Terjadi kavitasi.<br>Terdapat kebocoran pada pompa. | Pressure indicator           | Aliran minyak tidak dapat mengalir ke bantalan.              | Bantalan tidak akan terangkat sehingga menyebabkan poros turbin tidak dapat berputar, sehingga listrik tidak akan menyala                       | B | Ganti impeler<br>Mengubah arah putaran dari pompa dengan mengubah (membalik) sambungan kabel.<br>Buka Suction valve<br>Periksa dan perbaiki bagian yang terdapat udara masuk.<br>Ganti minyak tersebut dengan viskositas yang cocok.<br>Setting kembali relief valve dan pressure regulating valve.<br>Kavitasi dapat terjadi karena viskositas dari minyak yang terlalu tinggi maka ganti minyak dengan viskositas yang dibutuhkan dan jika terjadi karena adanya udara yang masuk maka perbaiki bagian yang kemasukan udara. |
|                  |                                                                                                                                                      | Kapasitas Tidak memenuhi                                 | Supply tegangan listrik kurang<br>Saluran discharge dan suction tersumbat                                                                                                                                                                                                                                | Volt meter<br><br>Flow meter | Aliran minyak hanya sedikit yang dapat mengalir ke bantalan. | Minyak tidak akan dapat mengangkat bantalan sehingga menyebabkan breakdown pada aliran listrik.                                                 |   | Menaikkan supply tegangan listrik sehingga kebutuhan daya dari pompa terpenuhi.<br>Buka katub masukan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                  |                                                                                                                                                      | Pompa bergetar dan mengeluarkan suara yang sangat bising | Penggerak pompa mendapatkan beban yang berlebih.<br>Poros kopling tidak lurus.<br>Adanya benda atau zat lain yang masuk ke dalam pompa<br>Daya yang terpakai melebihi batas pada pompa melebihi batas.<br>Terjadi kavitasi<br>Pondasi pada pompa yang kurang baik.                                       |                              | Pompa akan cepat mengalami kerusakan                         | Sistem pelumasan turbin uap akan mengalami fault Minyak tidak akan dapat mengangkat bantalan sehingga menyebabkan breakdown pada aliran listrik |   | Tegangan listrik disesuaikan<br>Luruskan kembali poros koplingnya.<br>Saluran discharge dan suction dibersihkan<br>Daya yang disalurkan disesuaikan dengan kebutuhan dari pompa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |



|                                |                                                                       |                                                                                                              |                                                                                                 |                                                               |                                                                                      |                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                                                                       | Tekanan mengalami fluktuasi atau turun naik                                                                  | Terjadi kavitasi. Relief valve mengalami kerusakan. Adanya udara yang tertinggal didalam pompa. | PI (Pressure Indicator)                                       | Aliran minyak tidak dapat mengalir ke bantalan                                       | Bantalan tidak akan terangkat sehingga menyebabkan poros turbin tidak dapat berputar, sehingga listrik tidak akan menyala | Kavitasi dapat terjadi karena viskositas dari minyak yang terlalu tinggi maka ganti minyak dengan viskositas yang dibutuhkan dan jika terjadi karena adanya udara yang masuk maka perbaiki bagian yang memasukkan udara. Ganti atau perbaiki relief valve. Keluarkan udara yan ada di dalam pompa. |
|                                | Pompa tidak berputar dengan baik                                      | Pemasangan pompa tidak betul<br>Adanya kotoran yang masuk ke dalam pompa<br>Perakitan pompa yang tidak betul |                                                                                                 |                                                               | Pompa cepat mengalami kerusakan.<br>Bantalan cepat mengalami keausan                 | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan.                | Luruskan kembali antara pompa dengan motor.<br>Bersihkan kotoran yang masuk kedalam pompa.<br>Rakit kembali pompa tersebut.                                                                                                                                                                        |
|                                | Pompa berputar tiba-tiba dan berhenti ketika sedang berputar          | Adanya kotoran yang masuk ke dalam pompa<br>Terjadi perubahan bentuk atau deformasi karena panas             |                                                                                                 |                                                               | Pompa cepat mengalami kerusakan.<br>Bantalan turbin uap akan cepat mengalami keausan | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan.                | Perbaiki apabila kerusakan pada pompa itu kecil dan ganti apabila kerusakannya sangat besar.                                                                                                                                                                                                       |
|                                | Seal pompa terjadi kebocoran                                          | Seal tidak terpasang dengan benar<br>Seal terpasang dengan bertebalan.                                       |                                                                                                 |                                                               | Bantalan akan cepat mengalami keausan.                                               | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan.                | Rakit kembali seal itu pada pompa sehingga tidak akan terjadi kebocoran pada seal.<br>Ganti seal tersebut dengan yang baru.                                                                                                                                                                        |
| Strainer pada jacking oil unit | Berfungsi untuk menyaring kotoran yang akan masuk ke jacking oil pump | Kotoran pada oil atau minyak tidak tersaring                                                                 | Viscosimeter                                                                                    | Oli akan kotor menyebabkan pompa rusak.<br>bearing cepat aus. | Bantalan tidak akan terangkat                                                        | B                                                                                                                         | Ganti strainer                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                | Aliran minyak tidak dapat mengalir                                    | Strainer tersumbat oleh kotoran                                                                              | Flowmeter                                                                                       | Pompa akan rusak karena menghisap udara                       | Bantalan tidak akan terangkat                                                        | B                                                                                                                         | Bersihkan elemen tersebut dari kotoran.                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Check Valve pada               | Berfungsi untuk mencegah adanya aliran balik                          | Disk tidak bisa kembali<br>Kerusakan pada pin wearing.                                                       | Flowmeter                                                                                       |                                                               | Bantalan tidak akan terangkat                                                        | B                                                                                                                         | repari katub jika memungkinkan.                                                                                                                                                                                                                                                                    |



|                     |                                                                              |                                                          |                                                                                       |              |                                                                                           |                                                                                                                              |   |                                                                    |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--------------------------------------------------------------------|
| Jacking oil unit    | balik.                                                                       |                                                          |                                                                                       |              |                                                                                           |                                                                                                                              |   |                                                                    |
|                     |                                                                              | Tidak ada aliran yang keluar dari katub.                 | Katub tersumbat oleh kotoran.                                                         | flowmeter    | Pompa akan rusak karena tidak ada aliran yang masuk ke pompa                              | Bantalan tidak akan terangkat                                                                                                |   | Bersihkan kotoran itu dari katub.                                  |
| Pressure Indicator  | Berfungsi untuk mengetahui besar tekanan aliran minyak pada bagian tersebut. | Tidak ada petunjuk besar tekanan pada pressure indicator | Kerusakan pada mekanik                                                                | -            | Tidak akan mengetahui besar tekanan pada minyak                                           | -                                                                                                                            | D | Ganti atau perbaiki jika masih mungkin.                            |
| Oil purifier system | Berfungsi untuk menjernihkan minyak                                          | Minyak pada main oil tank kotor                          | Kerusakan pada bag filter, Kerusakan pada Catride filter<br>Kerusakan pada Air filter | Viscosimeter | Minyak pada main oil tank akan cepat kotor.                                               | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena minyak kotor sehingga menyebabkan bantalan pada turbin akan cepat aus.          |   | Ganti bag filter, catride filter, atau air filter.                 |
|                     |                                                                              | Ada kandungan minyak pada main oil tank                  | Kerusakan pada water separator                                                        | Viscosimeter | Minyak pada main oil tank akan mengandung air                                             |                                                                                                                              |   | Perbaiki bila memungkinkan atau ganti bila kerusakan sangat fatal. |
| Water separator     | Berfungsi untuk memisahkan air dengan minyak                                 | Ada kandungan minyak pada main oil tank                  | Kerusakan pada water separator                                                        | Viscosimeter | Minyak pada main oil tank akan mengandung air. Sistem oil purifier akan mengalami failure | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena minyak mengandung air sehingga menyebabkan bantalan pada turbin akan cepat aus. |   | Perbaiki bila memungkinkan atau ganti bila kerusakan sangat fatal. |



|                   |                                                                         |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                              |                                                                    |                                                                                                                                                                        |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oil transfer pump | Berfungsi untuk memindahkan minyak dari main oil tank ke disty oil tank | Tekanan kurang                                           | Impeler mengalami erosi, korosi<br>Pompa berputar terbalik<br>Suction valve atau katub masukan tertutup<br>Udara masuk ke dalam pompa<br>Viskositas minyak terlalu tinggi<br>Setting pada relief valve dan pressure regulating valve tidak benar<br>Terjadi kavitasi.<br>Terdapat kebocoran pada pompa. | Pressure indicator           | Aliran minyak tidak dapat mengalir ke dirty oil tank               | Dirty oil tank tidak akan terdistribusi berakibat minyak di main oil tank cepat kotor dan menyebabkan bantalan cepat aus.                                              | B | Ganti impeler<br>Mengubah arah putaran dari pompa dengan mengubah (membalik) sambungan kabel.<br>Buka Suction valve<br>Periksa dan perbaiki bagian yang terdapat udara masuk.<br>Ganti minyak tersebut dengan viskositas yang cocok.<br>Seting kembali relief valve dan pressure regulating valve.<br>Kavitasi dapat terjadi karena viskositas dari minyak yang terlalu tinggi maka ganti minyak dengan viskositas yang dibutuhkan dan jika terjadi karena adanya udara yang masuk maka perbaiki bagian yang kemasukan udara. |
|                   |                                                                         | Kapasitas Tidak memenuhi                                 | Supply tegangan listrik kurang<br>Saluran discharge dan suction tersumbat                                                                                                                                                                                                                               | Volt meter<br><br>Flow meter | Aliran minyak hanya sedikit yang dapat mengalir ke dirty oil tank. | Tidak mempunyai pengaruh yang besar terhadap sistem pelumasan.                                                                                                         |   | Menaikkan supply tegangan listrik sehingga kebutuhan daya dari pompa terpenuhi.<br>Buka katub masukan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                   |                                                                         | Pompa bergetar dan mengeluarkan suara yang sangat bising | Penggerak pompa mendapatkan beban yang berlebih.<br>Poros kopling tidak lurus.<br>Adanya benda atau zat lain yang masuk ke dalam pompa<br>Daya yang terpakai melebihi batas pada pompa melebihi batas.<br>Terjadi kavitasi<br>Pondasi pada pompa yang kurang baik                                       |                              | Pompa akan cepat mengalami kerusakan                               | Sistem pelumasan turbin uap akan mengalami fault karena pompa rusak akan berakibat pada minyak pada main oil tank cepat kotor sehingga menyebabkan bantalan cepat aus. |   | Tegangan listrik disesuaikan<br>Luruskan kembali poros koplingnya.<br>Saluran discharge dan suction dibersihkan<br>Daya yang disalurkan disesuaikan dengan kebutuhan dari pompa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |



|  |                                                              |                                                                                                              |                         |                                                       |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Tekanan mengalami fluktuasi atau turun naik                  | Terjadi kavitasi.<br>Relief valve mengalami kerusakan.<br>Adanya udara yang tinggal didalam pompa.           | PI (Pressure Indicator) | Aliran minyak tidak dapat mengalir ke Dirty oil tank. | Dirty oil tank tidak akan terdistribusi berakibat minyak di main oil tank cepat kotor dan menyebabkan bantalan cepat aus.                                              | Kavitasi dapat terjadi karena viskositas dari minyak yang terlalu tinggi maka ganti minyak dengan viskositas yang dibutuhkan dan jika terjadi karena adanya udara yang masuk maka perbaiki bagian yang memasukkan udara.<br>Ganti atau perbaiki relief valve<br>Keluarkan udara yang ada di dalam pompa. |
|  | Pompa tidak berputar dengan baik                             | Pemasangan pompa tidak betul<br>Adanya kotoran yang masuk ke dalam pompa<br>Perakitan pompa yang tidak betul |                         | Pompa cepat mengalami kerusakan                       | Sistem pelumasan turbin uap akan mengalami fault karena pompa rusak akan berakibat pada minyak pada main oil tank cepat kotor sehingga menyebabkan bantalan cepat aus. | Luruskan kembali antara pompa dengan motor.<br>Bersihkan kotoran yang masuk ke dalam pompa.<br>Rakit kembali pompa tersebut.                                                                                                                                                                             |
|  | Pompa berputar tiba-tiba dan berhenti ketika sedang berputar | Adanya kotoran yang masuk ke dalam pompa<br>Terjadi perubahan bentuk atau deformasi karena panas             |                         | Pompa cepat mengalami kerusakan.                      | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan.                                                             | Perbaiki apabila kerusakan pada pompa itu kecil dan ganti apabila kerusakannya sangat besar.                                                                                                                                                                                                             |
|  | Seal pompa terjadi kebocoran                                 | Seal tidak terpasang dengan benar<br>Seal terpasang dengan berlebihan.                                       |                         | Bantalan akan cepat mengalami keausan.                | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan.                                                             | Rakit kembali seal itu pada pompa sehingga tidak akan terjadi kebocoran pada seal<br>Ganti seal tersebut dengan yang baru                                                                                                                                                                                |



|                 |                                                    |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                          |                                                                   |                                                                                                                                                                       |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oil supply pump | Berfungsi untuk menyuplai minyak ke main oil tank. | Tekanan kurang                                           | Impeler mengalami erosi, korosi<br>Pompa berputar terbalik<br>Suction valve atau katub masukan tertutup<br>Udara masuk ke dalam pompa<br>Viskositas minyak terlalu tinggi<br>Setting pada relief valve dan pressure regulating valve tidak benar<br>Terjadi kavitasi.<br>Terdapat kebocoran pada pompa. | Pressure indicator       | Aliran minyak tidak dapat mengalir ke Main oil tank               | Main oil tank tidak akan terdistribusi dan menyebabkan bantalan cepat aus.                                                                                            | B | Ganti impeler<br>Mengubah arah putaran dari pompa dengan mengubah (membalik) sambungan kabel.<br>Buka Suction valve<br>Periksa dan perbaiki bagian yang terdapat udara masuk.<br>Ganti minyak tersebut dengan viskositas yang cocok.<br>Seting kembali relief valve dan pressure regulating valve.<br>Kavitasi dapat terjadi karena viskositas dari minyak yang terlalu tinggi maka ganti minyak dengan viskositas yang dibutuhkan dan jika terjadi karena adanya udara yang masuk maka perbaiki bagian yang kemasukan udara. |
|                 |                                                    | Kapasitas Tidak memenuhi                                 | Supply tegangan listrik kurang<br>Saluran discharge dan suction tersumbat                                                                                                                                                                                                                               | Volt meter<br>Flow meter | Aliran minyak hanya sedikit yang dapat mengalir ke Main oil tank. | Tidak mempunyai pengaruh yang besar terhadap sistem pelumasan.                                                                                                        |   | Menaikkan supply tegangan listrik sehingga kebutuhan daya dari pompa terpenuhi<br>Buka katub masukan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                 |                                                    | Pompa bergetar dan mengeluarkan suara yang sangat bising | Penggerak pompa mendapatkan beban yang berlebih.<br>Poros kopling tidak lurus.<br>Adanya benda atau zat lain yang masuk ke dalam pompa<br>Daya yang terpakai melebihi batas pada pompa melebihi batas.<br>Terjadi kavitasi<br>Pondasi pada pompa yang kurang baik.                                      |                          | Pompa akan cepat mengalami kerusakan                              | Sistem pelumasan turbin uap akan mengalami fault karena pompa rusak akan berakibat tidak ada suppt minyak pada main oil tank sehingga menyebabkan bantalan cepat aus. |   | Tegangan listrik disesuaikan<br>Luruskan kembali poros koplingnya.<br>Saluran discharge dan suction dibersihkan<br>Daya yang disalurkan disesuaikan dengan kebutuhan dari pompa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                                                              |                                                                                                           |                         |                                                      |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tekanan mengalami fluktuasi atau turun naik                  | Terjadi kavitasi. Relief valve mengalami kerusakan. Adanya udara yang tinggal didalam pompa.              | PI (Pressure Indicator) | Aliran minyak tidak dapat mengalir ke Main oil tank. | Main oil tank tidak akan terdistribusi berakibat minyak di main oil tank cepat kotor dan menyebabkan bantalan cepat aus.                                               | Kavitasi dapat terjadi karena viskositas dari minyak yang terlalu tinggi maka ganti minyak dengan viskositas yang dibutuhkan dan jika terjadi karena adanya udara yang masuk maka perbaiki bagian yang memasukkan udara. Ganti atau perbaiki relief valve. Keluarkan udara yang ada di dalam pompa. |
| Pompa tidak berputar dengan baik                             | Pemasangan pompa tidak betul. Adanya kotoran yang masuk ke dalam pompa. Perakitan pompa yang tidak betul. |                         | Pompa cepat mengalami kerusakan.                     | Sistem pelumasan turbin uap akan mengalami fault karena pompa rusak akan berakibat pada minyak pada main oil tank cepat kotor sehingga menyebabkan bantalan cepat aus. | Luruskan kembali antara pompa dengan motor. Bersihkan kotoran yang masuk ke dalam pompa. Rakit kembali pompa tersebut.                                                                                                                                                                              |
| Pompa berputar tiba-tiba dan berhenti ketika sedang berputar | Adanya kotoran yang masuk ke dalam pompa. Terjadi perubahan bentuk atau deformasi karena panas.           |                         | Pompa cepat mengalami kerusakan.                     | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan.                                                             | Perbaiki apabila kerusakan pada pompa itu kecil dan ganti apabila kerusakannya sangat besar.                                                                                                                                                                                                        |
| Seal pompa terjadi kebocoran                                 | Seal tidak terpasang dengan benar. Seal terpasang dengan berlebihan.                                      |                         | Bantalan akan cepat mengalami keausan.               | Sistem pelumasan akan mengalami fault (kegagalan) dan akan menyebabkan aliran listrik mengalami kegagalan.                                                             | Rakit kembali seal itu pada pompa sehingga tidak akan terjadi kebocoran pada seal. Ganti seal tersebut dengan yang baru.                                                                                                                                                                            |



|                           |                                                                               |                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                              |                                                                                      |                                                                                                                              |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oil<br>Crculating<br>pump | Berfungsi untuk<br>mensirkulasika<br>n minyak dari<br>oil purifier<br>system. | Tekanan kurang                                                    | Impeler mengalami erosi,<br>korosi<br>Pompa berputar terbalik<br>Suction valve atau katub<br>masuk tertutup<br>Udara masuk ke dalam<br>pompa<br>Viskositas minyak terlalu<br>tinggi<br>Setting pada relief valve dan<br>pressure regulating valve<br>tidak benar<br>Terjadi kavitasi.<br>Terdapat kebocoran pada<br>pompa. | Pressure<br>indicator        | Aliran minyak tidak<br>dapat bersirkulasi ke<br>oil purifier system                  | Minyak tidak akan dapat<br>jernih.                                                                                           | B | Ganti impeler<br>Mengubah arah putaran dari pompa<br>dengan mengubah (membalik)<br>sambungan kabel.<br>Buka Suction valve<br>Periksa dan perbaiki bagian yang<br>terdapat udara masuk.<br>Ganti minyak tersebut dengan<br>viskositas yang cocok.<br>Seting kembali relief valve dan<br>pressure regulating valve.<br>Kavitasi dapat terjadi karena<br>viskositas dari minyak yang terlalu<br>tinggi maka ganti minyak dengan<br>viskositas yang dibutuhkan dan jika<br>terjadi karena adanya udara yang<br>masuk maka perbaiki bagian yang<br>kemasukan udara. |
|                           |                                                                               | Kapasitas Tidak<br>memenuhi                                       | Supply tegangan listrik<br>kurang<br>Saluran discharge dan<br>suction tersumbat                                                                                                                                                                                                                                            | Volt meter<br><br>Flow meter | Aliran minyak hanya<br>sedikit yang dapat<br>bersirkulasi ke oil<br>purifier system. | Efek yang ditimbulkan tidak<br>terlalu besar karena hanya<br>menghambat prose s<br>penjernihan (purifier)                    |   | Menaikkan supply tegangan listrik<br>sehingga kebutuhan daya dari<br>pompa terpenuhi.<br>Buka katub masukan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                           |                                                                               | Pompa bergetar dan<br>mengeluarkan<br>suara yang sangat<br>bising | Penggerak pompa<br>mendapatkan beban yang<br>berlebih<br>Poros kopling tidak lurus.<br>Adanya benda atau zat lain<br>yang masuk ke dalam pompa<br>Daya yang terpakai melebihi<br>batas pada pompa melebihi<br>batas.<br>Terjadi kavitasi<br>Pondasi pada pompa yang<br>kurang baik.                                        |                              | Pompa akan cepat<br>mengalami kerusakan                                              | Sistem pelumasan turbin uap<br>akan mengalami fault karena<br>pompa rusak akan berakibat<br>proses perjenihan tidak berjalan |   | Tegangan listrik disesuaikan<br>Luruskan kembali poros<br>koplingnya.<br>Saluran discharge dan suction<br>dibersihkan<br>Daya yang disalurkan disesuaikan<br>dengan kebutuhan dari pompa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |



|             |                                            |                                                              |                                                                                                              |                         |                                                                                                        |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |                                            | Tekanan mengalami fluktuasi atau turun naik                  | Terjadi kavitasi. Adanya udara yang tinggal didalam pompa.                                                   | PI (Pressure Indicator) | Aliran minyak tidak dapat mengalir ke storage polishing compartment ( bagian dari oil purifier system) | Efek yang ditimbulkan tidak terlalu besar karena hanya menghambat proses penjernihan (purifier).                                                                       | Kavitasi dapat terjadi karena viskositas dari minyak yang terlalu tinggi maka ganti minyak dengan viskositas yang dibutuhkan dan jika terjadi karena adanya udara yang masuk maka perbaiki bagian yang kemasukan udara. Ganti atau perbaiki relief valve. Keluarkan udara yang ada di dalam pompa. |
|             |                                            | Pompa tidak berputar dengan baik                             | Pemasangan pompa tidak betul<br>Adanya kotoran yang masuk ke dalam pompa<br>Perakitan pompa yang tidak betul |                         | Pompa cepat mengalami kerusakan.                                                                       | Sistem pelumasan turbin uap akan mengalami fault karena pompa rusak akan berakibat pada minyak pada main oil tank cepat kotor sehingga menyebabkan bantalan cepat aus. | Luruskan kembali antara pompa dengan motor.<br>Bersihkan kotoran yang masuk kedalam pompa.<br>Rakit kembali pompa tersebut.                                                                                                                                                                        |
|             |                                            | Pompa berputar tiba-tiba dan berhenti ketika sedang berputar | Adanya kotoran yang masuk ke dalam pompa<br>Terjadi perubahan bentuk atau deformasi karena panas             |                         | Pompa cepat mengalami kerusakan.                                                                       | Sistem pelumasan turbin uap akan mengalami fault karena pompa rusak akan berakibat pada minyak pada main oil tank cepat kotor sehingga menyebabkan bantalan cepat aus. | Perbaiki apabila kerusakan pada pompa itu kecil dan ganti apabila kerusakannya sangat besar.                                                                                                                                                                                                       |
|             |                                            | Seal pompa terjadi kebocoran                                 | Seal tidak terpasang dengan benar<br>Seal terpasang dengan berlebihan                                        |                         | Pompa tidak akan dapat melakukan fungsinya dengan sempurna.                                            | Minyak pada main oil tank cepat kotor.                                                                                                                                 | Rakit kembali seal itu pada pompa sehingga tidak akan terjadi kebocoran pada seal.<br>Ganti seal tersebut dengan yang baru.                                                                                                                                                                        |
| Globe valve | Berfungsi untuk menutup dan membuka aliran | Aliran tidak bisa keluar                                     | Valve tersumbat                                                                                              |                         | Tidak ada aliran yang melewati valve                                                                   | Sistem pelumasan akan mengalami failure.                                                                                                                               | B<br>Perbaiki katub atau ganti.                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                         |                                                                                           |                                                                 |                                                                                                                             |  |                                                                                                         |                                                                                |   |                                               |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------|
| Buterfly valve          | Berfungsi untuk menutup dan membuka aliran                                                | Terjadi kebocoran pada valve                                    | Terjadi kerusakan pada packing.<br>Kerusakan pada disk atau seats.                                                          |  | Kapasitas minyak pada main oil tank berkurang.                                                          | Sistem pelumasan akan mengalami failure                                        |   | Perbaiki katub bila mungkin atau ganti valve. |
|                         |                                                                                           | Human error                                                     | Katub belum terbuka atau tertutup                                                                                           |  | Pompa akan rusak, pengeringan dan supply pada tanki akan gagal.                                         | Sistem pelumasan akan mengalami failure                                        |   | Buka atau tutup katub.                        |
|                         |                                                                                           | Aliran tidak bisa keluar.                                       | Valve tersumbat.                                                                                                            |  | Tidak ada aliran yang melewati valve                                                                    | Sistem pelumasan akan mengalami failure.                                       | B | Perbaiki katub atau ganti.                    |
|                         |                                                                                           | Terjadi kebocoran pada valve                                    | Terjadi kerusakan pada packing.<br>Kerusakan pada disk atau seats.                                                          |  | Kapasitas minyak pada main oil tank berkurang.                                                          | Sistem pelumasan akan mengalami failure                                        |   | Perbaiki katub bila mungkin atau ganti valve. |
| Relief valve            | Berfungsi untuk menjaga komponen lain terhadap tekanan yang berlebih dari minyak fluida   | Human error                                                     | Katub belum terbuka atau tertutup                                                                                           |  | Pompa akan rusak, pengeringan dan supply pada tanki akan gagal.                                         | Sistem pelumasan akan mengalami failure.                                       |   | Buka atau tutup katub.                        |
|                         |                                                                                           | Fluida atau minyak yang ada dalam pipa tekanannya tidak turun.  | Spring rusak                                                                                                                |  | LP control valve E/H converter akan rusak                                                               | LP control valvemengalami failure sehingga listrik akan shut down              | B | Perbaiki atau ganti katub                     |
| Instrumen between panel | Berfungsi untuk menjaga tekanan pelumas pada EOP, AOP, FOP maupun sambungan putaran gear. | Tekanan pada EOP, AOP, FOP maupun sambungan putaran gear kurang | Kerusakan pada panel.<br>Kerusakan pada pressure indicator atau pressure switch sehingga tekanan pelumasan tidak diketahui. |  | Instrumen panel akan rusak<br>Tekanan pada pelumasan tidak akan terdeteksi oleh instrumen between panel | Beraing no 4 akan rusak dan berakibat sistem pelumasan akan mengalami failure. | B | Perbaiki panel dan PI atau PS                 |



|                                    |                                                                                                                                                                                                            |                                     |                                                                             |  |                                                                                                                                |                                                                                                                                |   |                                |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--------------------------------|
| Electrical Protective Device Panel | low bearing oil pressure trip berfungsi untuk menjaga tekanan aliran minyak yang mengalir pada bantalan bagian bawah agar tidak terjadi trip.                                                              | Tekanan aliran tidak terjaga        | Kerusakan pada panel<br>Kerusakan pada pressure indicator, pressure switch  |  | Electrical device panel akan rusak .<br>Tekanan pada pelumasan tidak akan terdeteksi oleh Electrical device panel.             | Bearing no 1 akan rusak dan berakibat sistem pelumasan akan mengalami failure.                                                 | B | Perbaiki panel dan PI atau PS. |
|                                    | Trust bearing wear trip berfungsi untuk menjaga gaya trust (dorong) dari poros terhadap trust bearing dengan cara menjaga besar tekanan minyak agar tidak melebihi dari gaya dorong yang telah ditentukan. | Tekanan aliran minyak tidak terjaga | Kerusakan pada panel.<br>Kerusakan pada pressure indicator, pressure switch |  | Electrical device panel akan mengalami kesalahan<br>Tekanan pada pelumasan tidak akan terdeteksi oleh Electrical device panel. | Gaya trust yang ditimbulkan oleh pompa maupun poros turbin tidak akan terkendali dan akan berakibat pada kerusakan pada poros. |   | Perbaiki panel dan PI atau PS. |



|                        |                                                                                                 |                                               |                                                |                            |                                                                                       |                                                                                                  |   |                                         |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------|
| Clean Oil Storage Tank | Berfungsi sebagai penampung dari minyak bersih yang akan didistribusikan ke main oil tank.      | Bocor                                         | Plug drain copot. Atau tidak kencang. Berkarat | Oil level gauge and switch | Distribusi minyak tidak akan sempurna karena kurangnya jumlah minyak yang dibutuhkan. | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena minyak tidak dapat terdistribusi pada semua bagian. | C | Perbaiki celan storage tank.            |
| Dirty Storage Tank     | Berfungsi sebagai penampung dari minyak kotor yang akan didistribusikan ke oil purifier system. | Bocor                                         | Plug drain copot. Atau tidak kencang. Berkarat | Oil level gauge and switch | Distribusi minyak tidak akan sempurna karena kurangnya jumlah minyak yang dibutuhkan. | Sistem pelumasan akan mengalami fault karena minyak tidak dapat terdistribusi pada semua bagian. | C | Perbaiki dirty oil storage tank.        |
| Filter                 | Berfungsi untuk menyaring kotoran.                                                              | Kotoran pada oil atau minyak tidak tersaring. | sobek ( rusak)                                 | Viscosimeter               | Oli akan kotor menyebabkan pompa rusak, bearing cepat aus.                            | Bantalan tidak akan terangkat.                                                                   | C | Ganti filter                            |
|                        |                                                                                                 | Aliran minyak tidak dapat mengalir            | Tersumbat oleh kotoran                         | Flowmeter                  | Pompa akan rusak karena menghisap udara                                               | Bantalan tidak akan terangkat                                                                    |   | Bersihkan elemen tersebut dari kotoran. |
| Air Filter             | Berfungsi untuk menyaring kotoran udara pada oil purifier system.                               | Minyak kotor                                  | Filter sobek                                   | -                          | Minyak pada oil purifier system akan cepat kotor.                                     | Tidak menimbulkan efek yang terlalu besar pada sistem pelumasan dan kontrol dan turbin uap.      | D | Bersihkan elemen tersebut dari kotoran. |

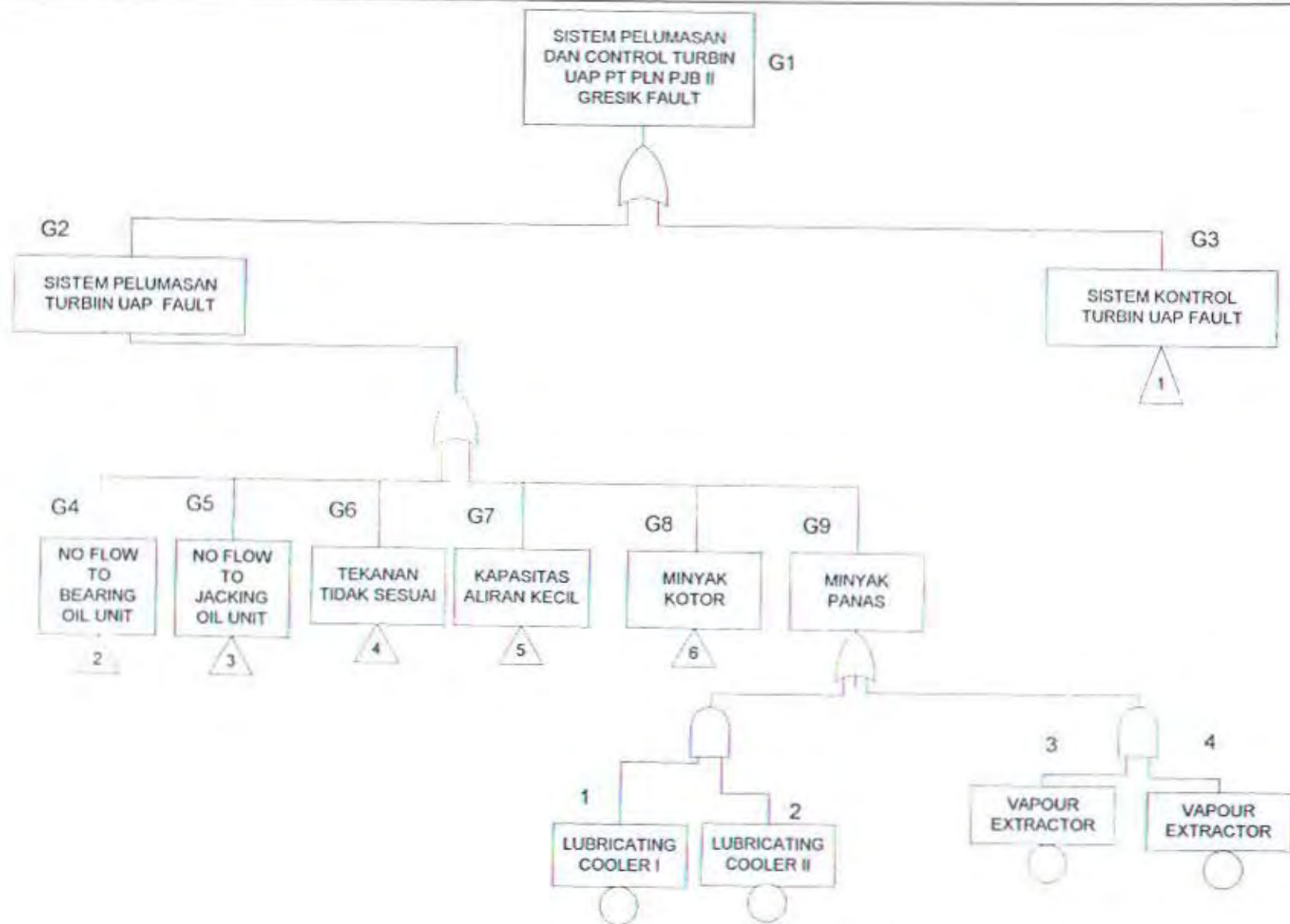
Berdasarkan analisa qualitative dengan menggunakan FME( C )A dapat memberikan input komponen pada sistem pelumasan dan kontrol turbin uap yang perlu mendapat perhatian khusus, yaitu komponen-komponen yang memiliki tingkat *severity ranking* ( tingkat resiko) paling tinggi ( A ) , diantaranya adalah Main Lube Oil Pump, Auxiliary Oil Pump (AOP) karena ketika komponen-komponen ini mengalami kerusakan maka sistem pelumasan dan kontrol turbin uap akan *shut down* (mati) dan perusahaan akan mengalami kerugian yang lebih besar. Analisa *qualitative* ini juga memberikan input efek komponen terhadap system maupun subsystem.

#### V.4. EVALUASI KEHANDALAN SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT. PLN PJB II SEKTOR GRESIK SECARA QUALITATIVE DENGAN FTA

Evaluasi kehandalan Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap dengan menggunakan FTA mempunyai beberapa keuntungan diantaranya adalah dapat memberikan informasi penyebab kegagalan Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap . Untuk mengetahui komponen-komponen yang dapat menyebabkan kegagalan suatu sistem dapat dilakukan dengan MOCUS ( *Method Obtain Cut Set*).

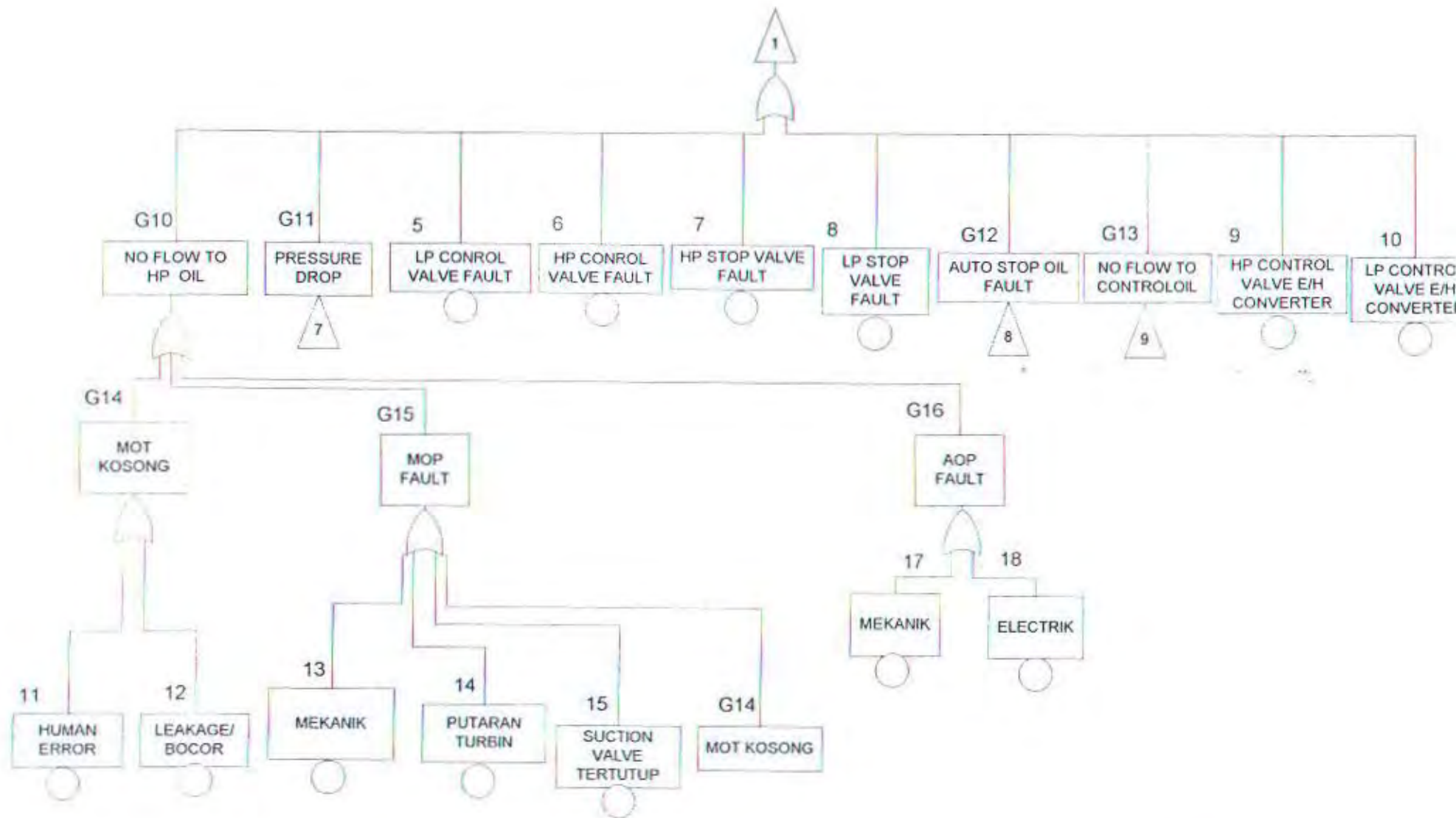
##### V.4.1. Method Obtain Cut Set ( MOCUS)

Metode ini digunakan untuk mendapat komponen-komponen yang dapat menimbulkan kesalahan maupun kegagalan pada Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap berdasarkan *fault tree analysis*.

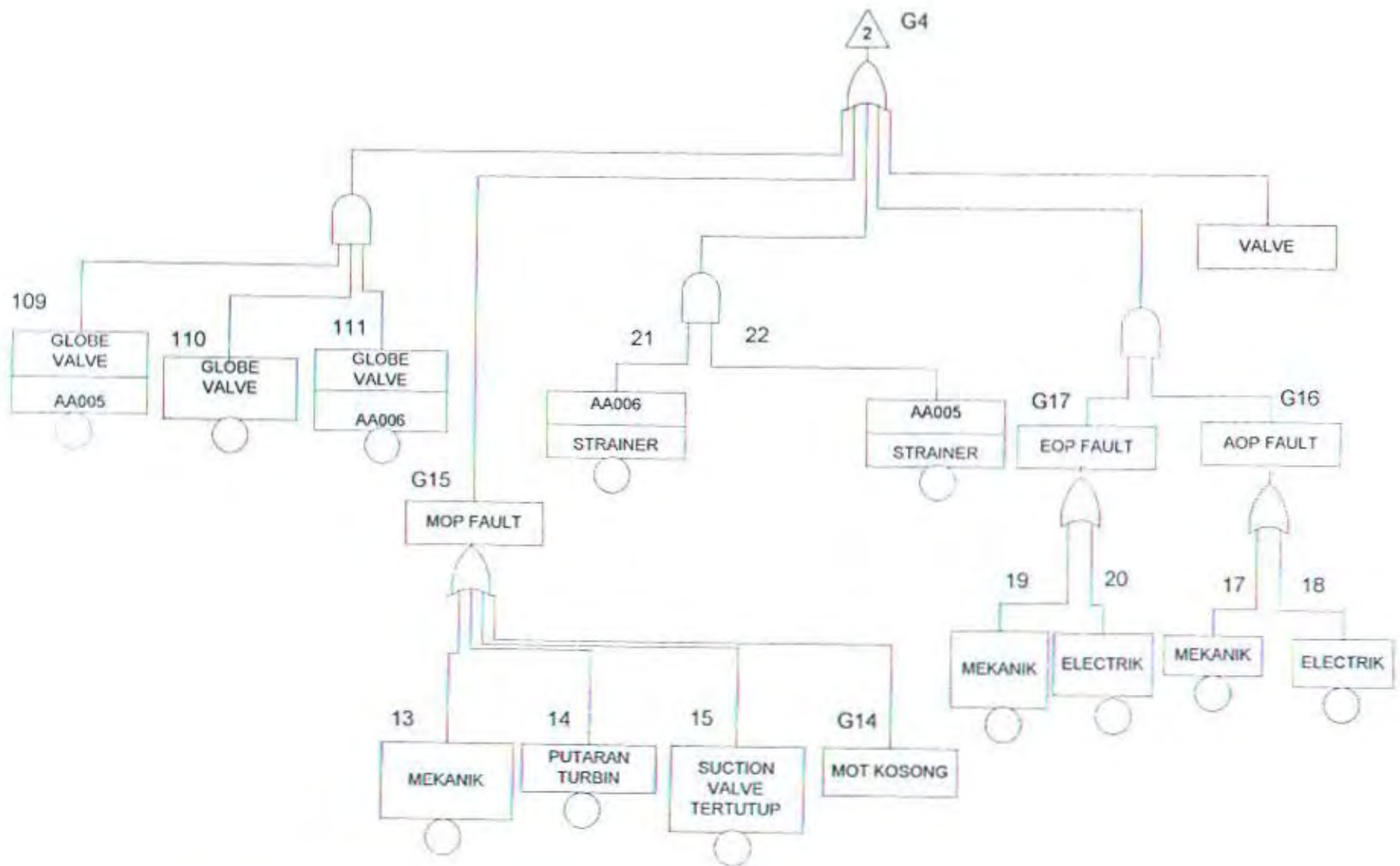


GB.5.6. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

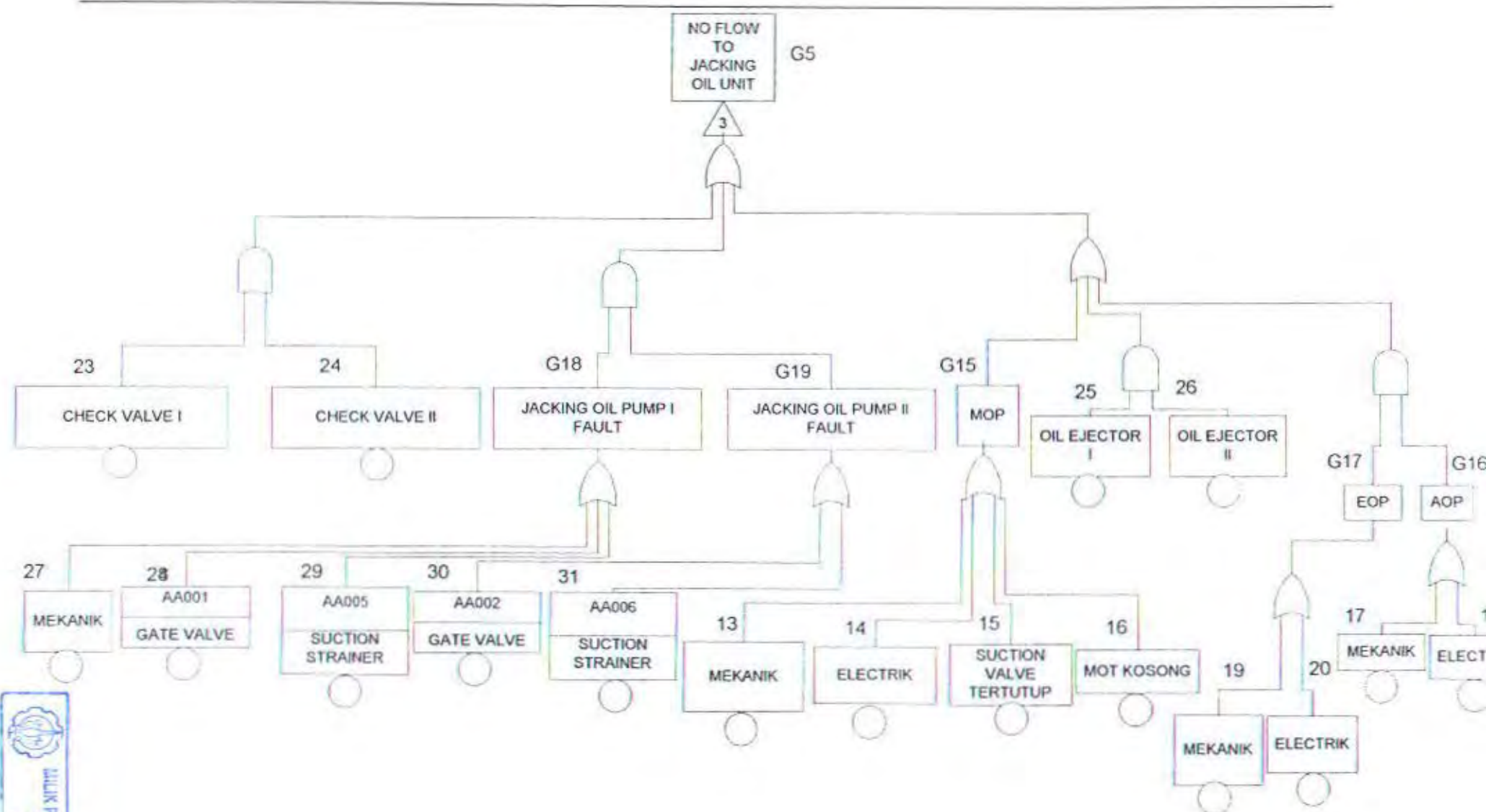




GB.5.7. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

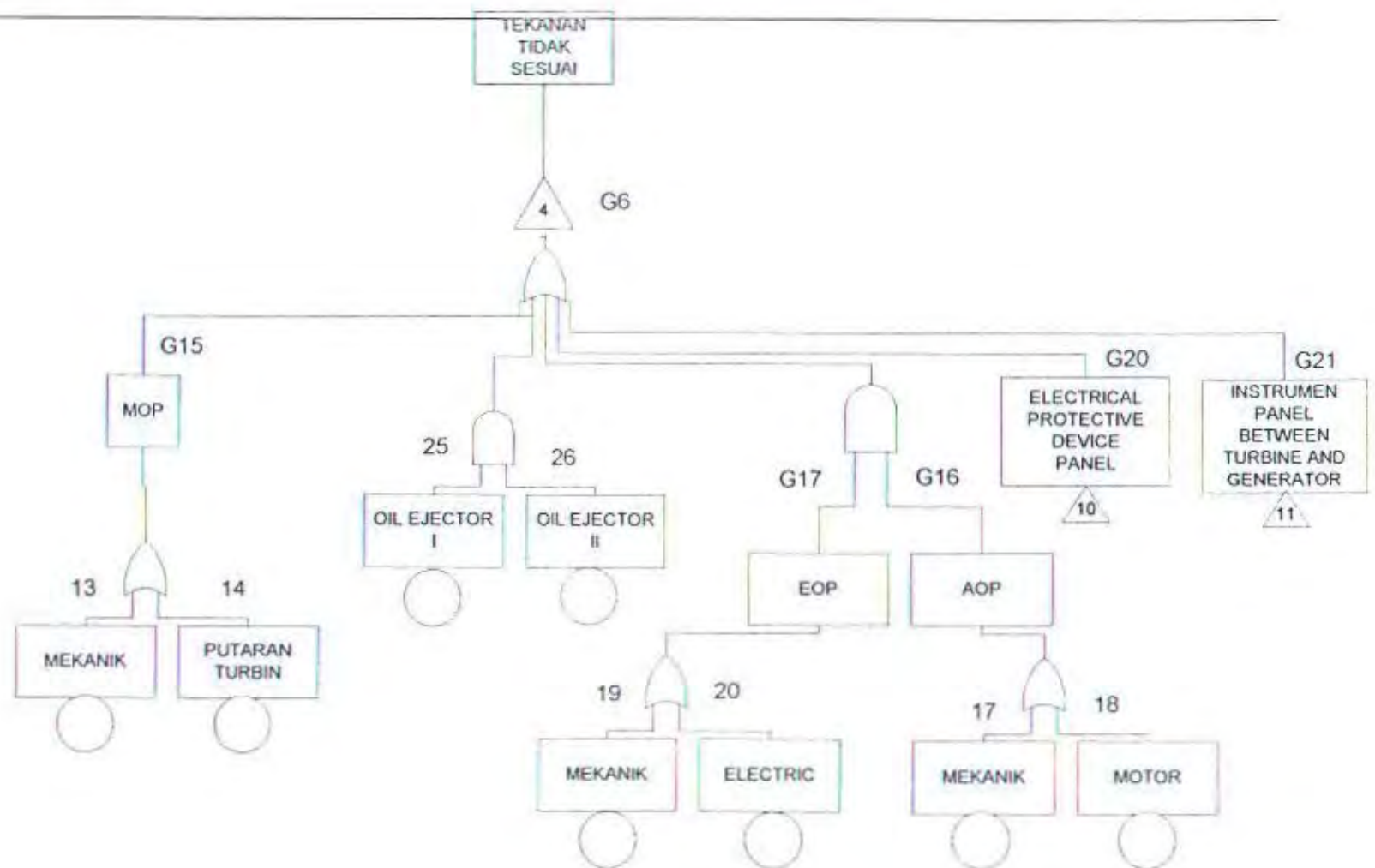


GB.5.8. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

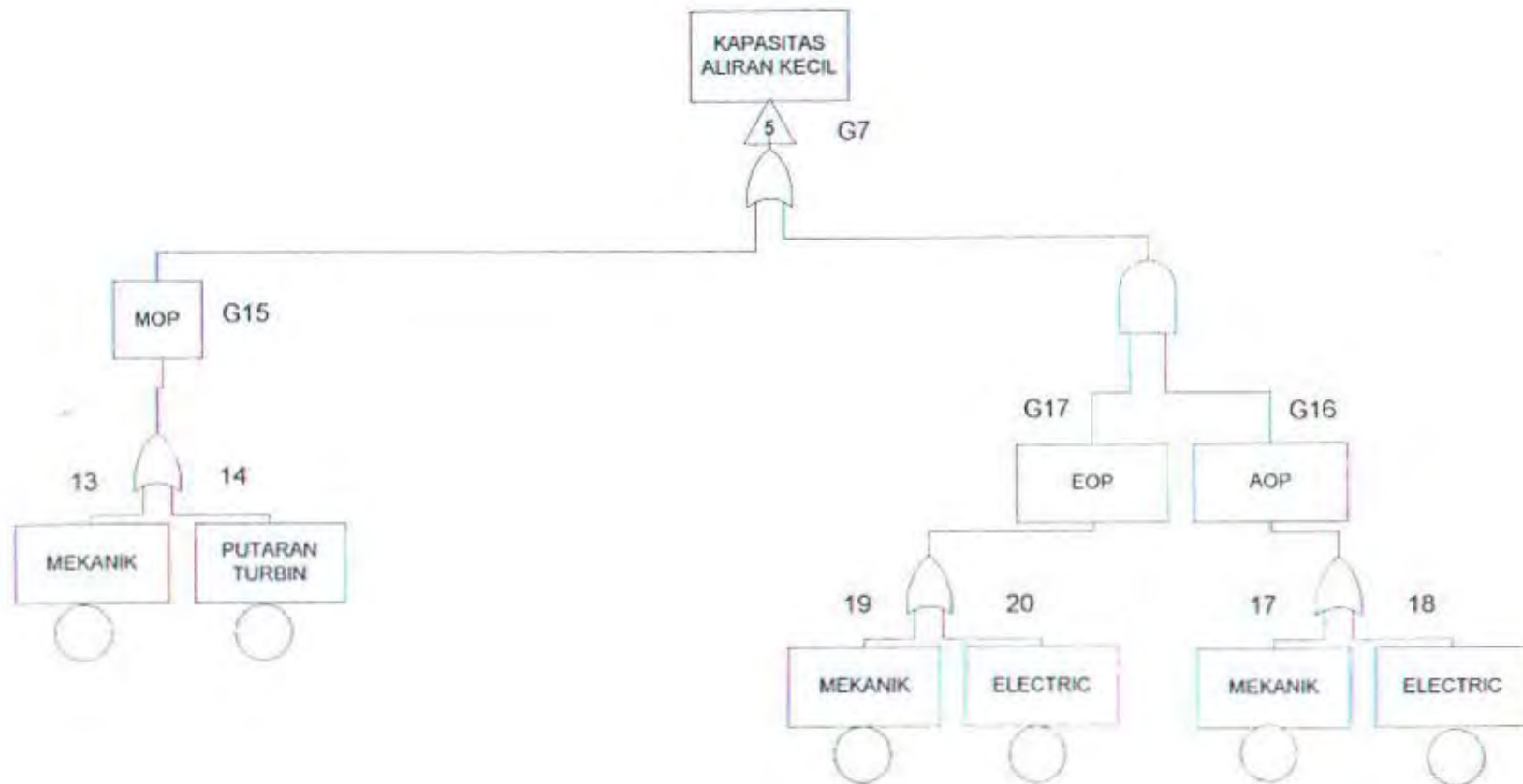


GB.5.9. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

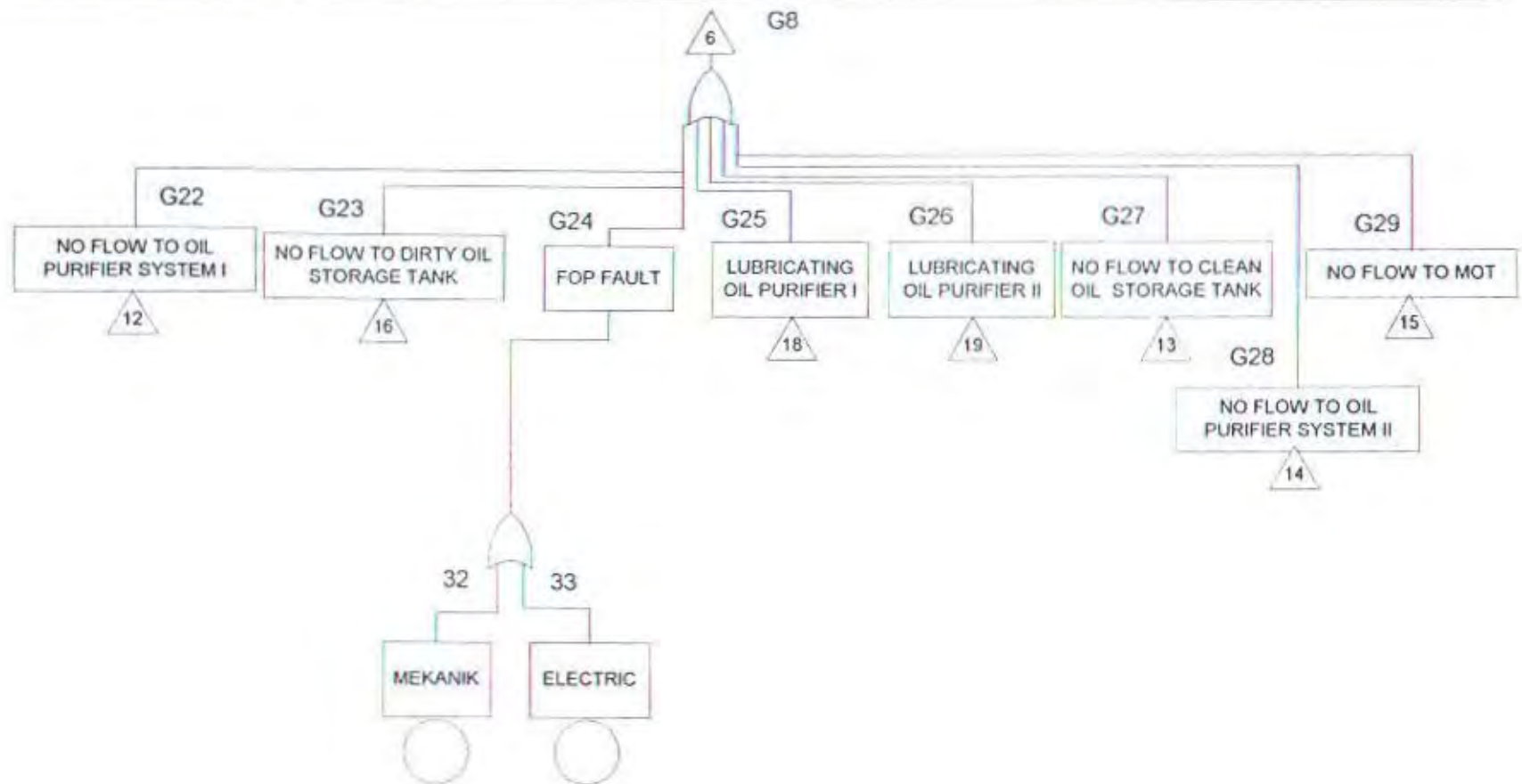




GB.5.10. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

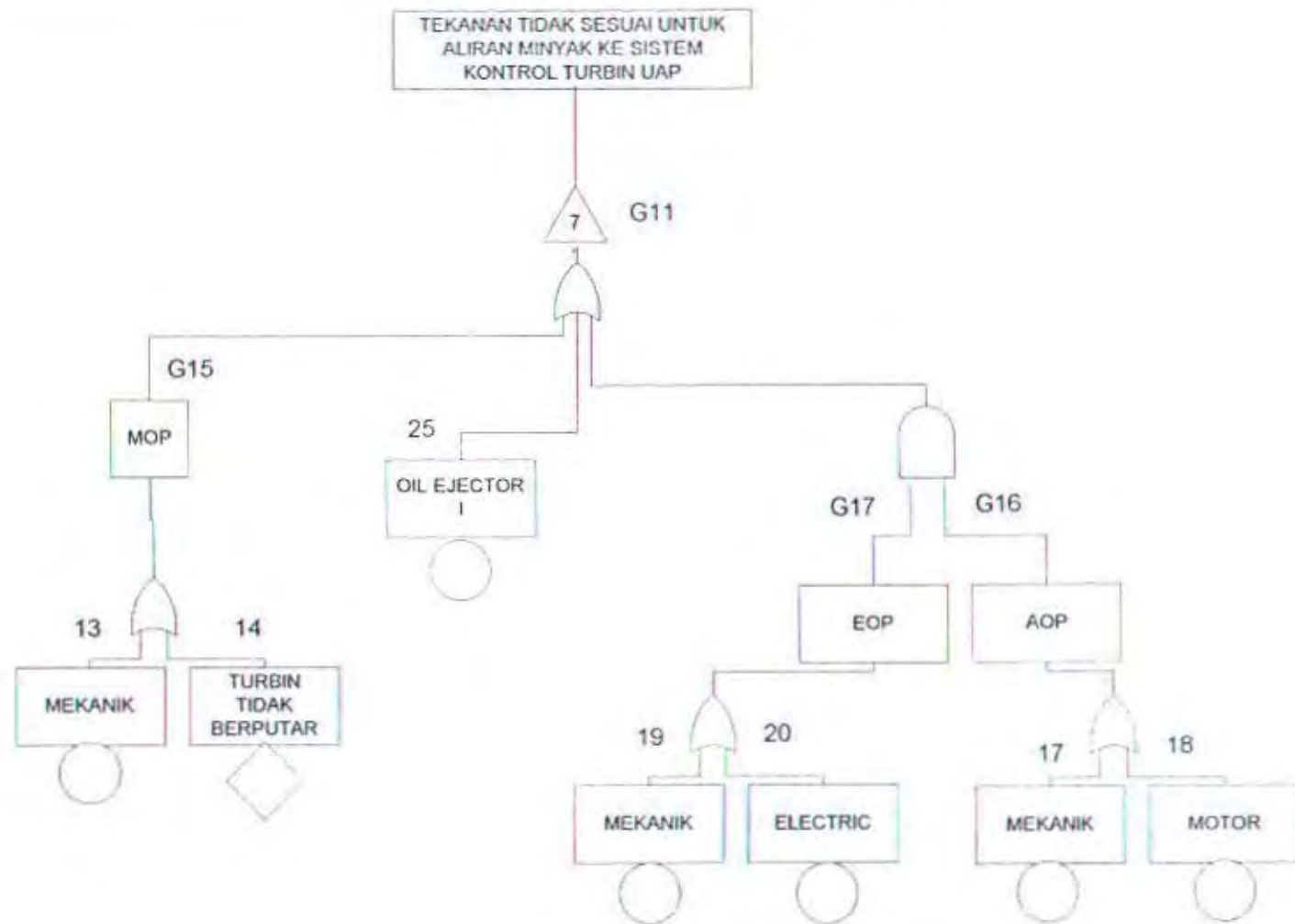


GB.5.11. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

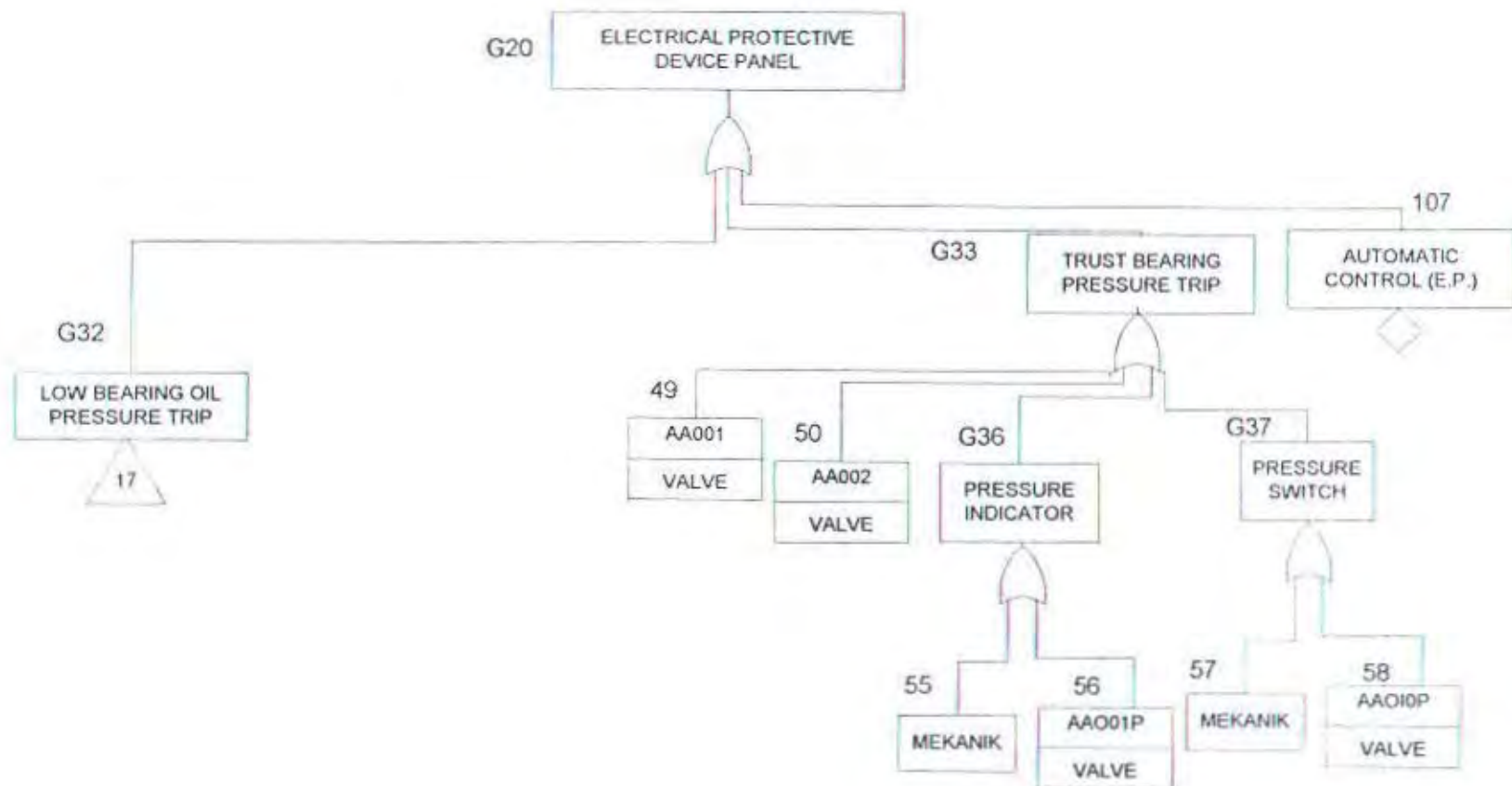


GB.5.12. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP(PURIFIER SYSTEM)  
PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

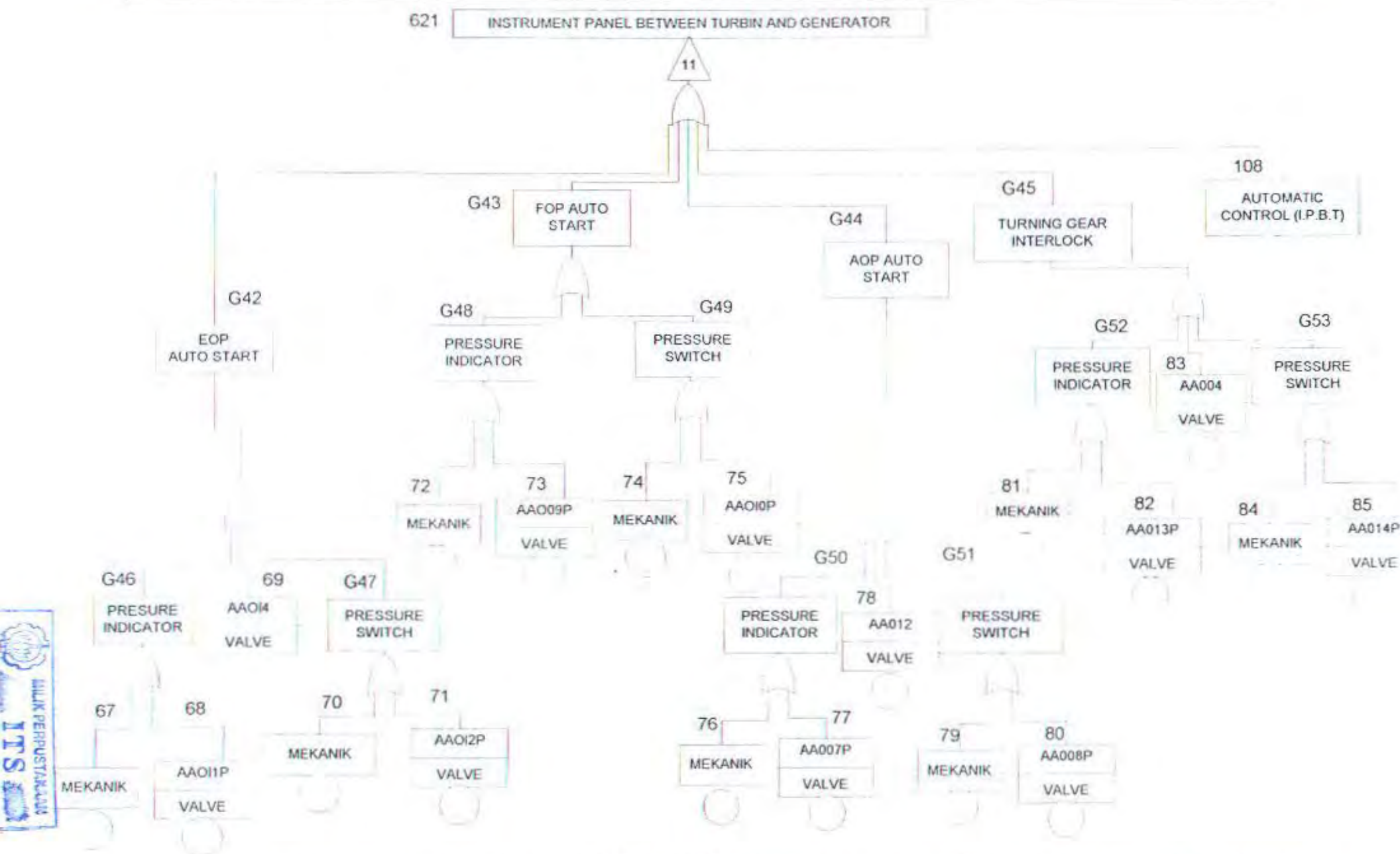




GB.5.13. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

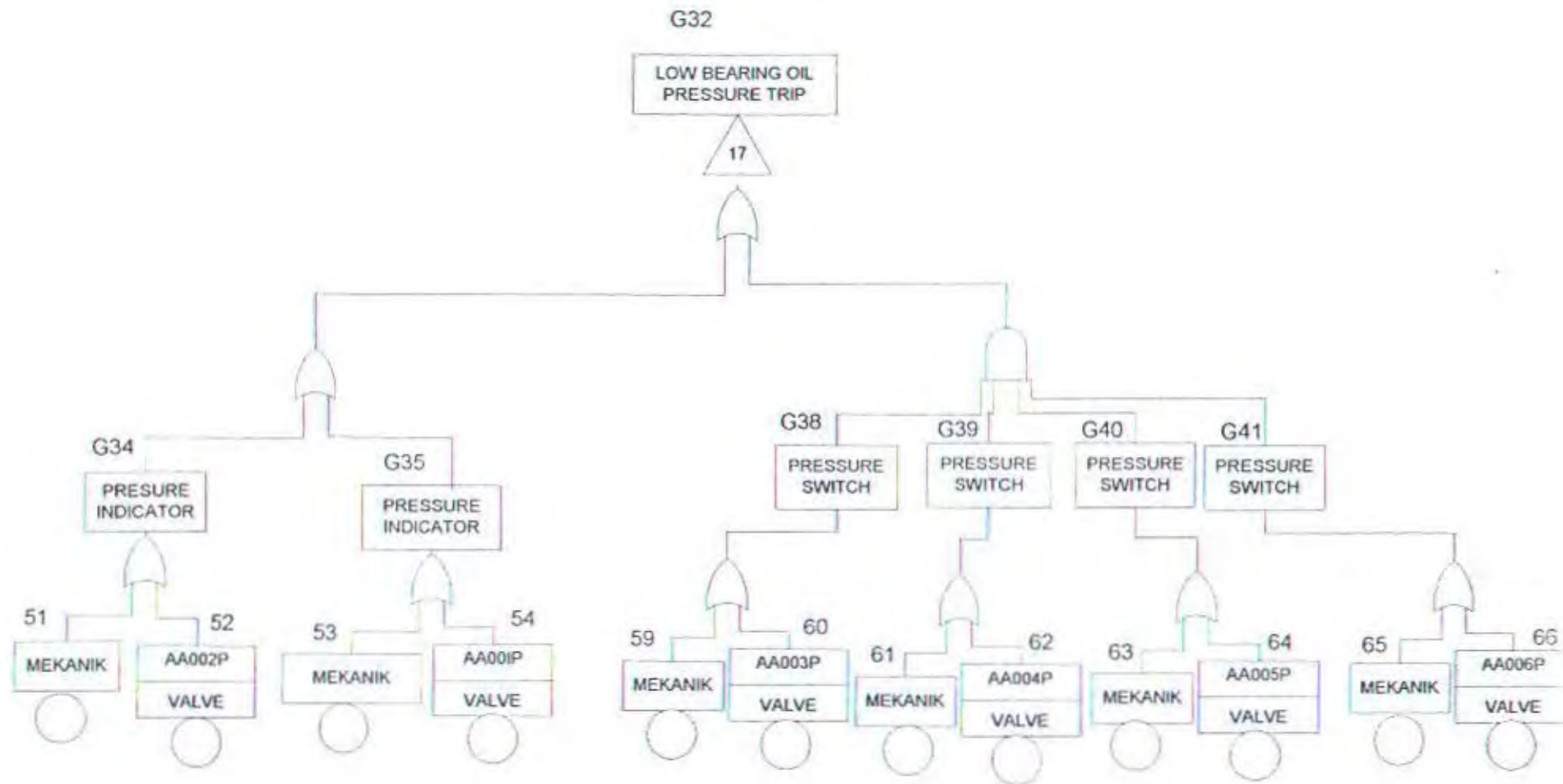


GB.5.14. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

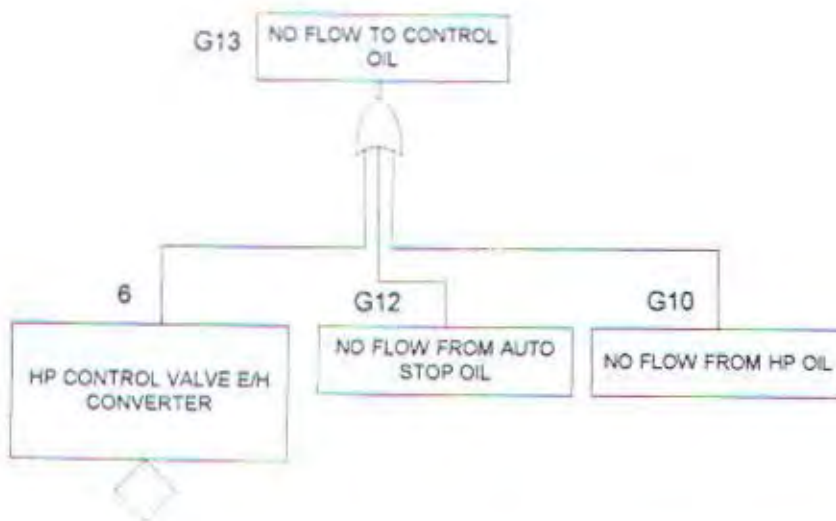
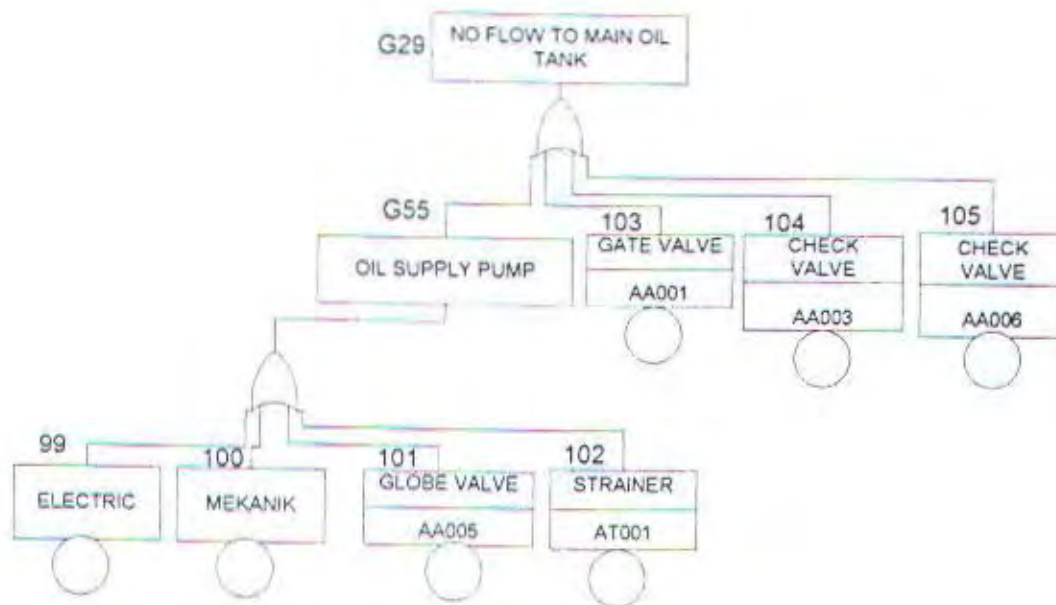


GB.5.15. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

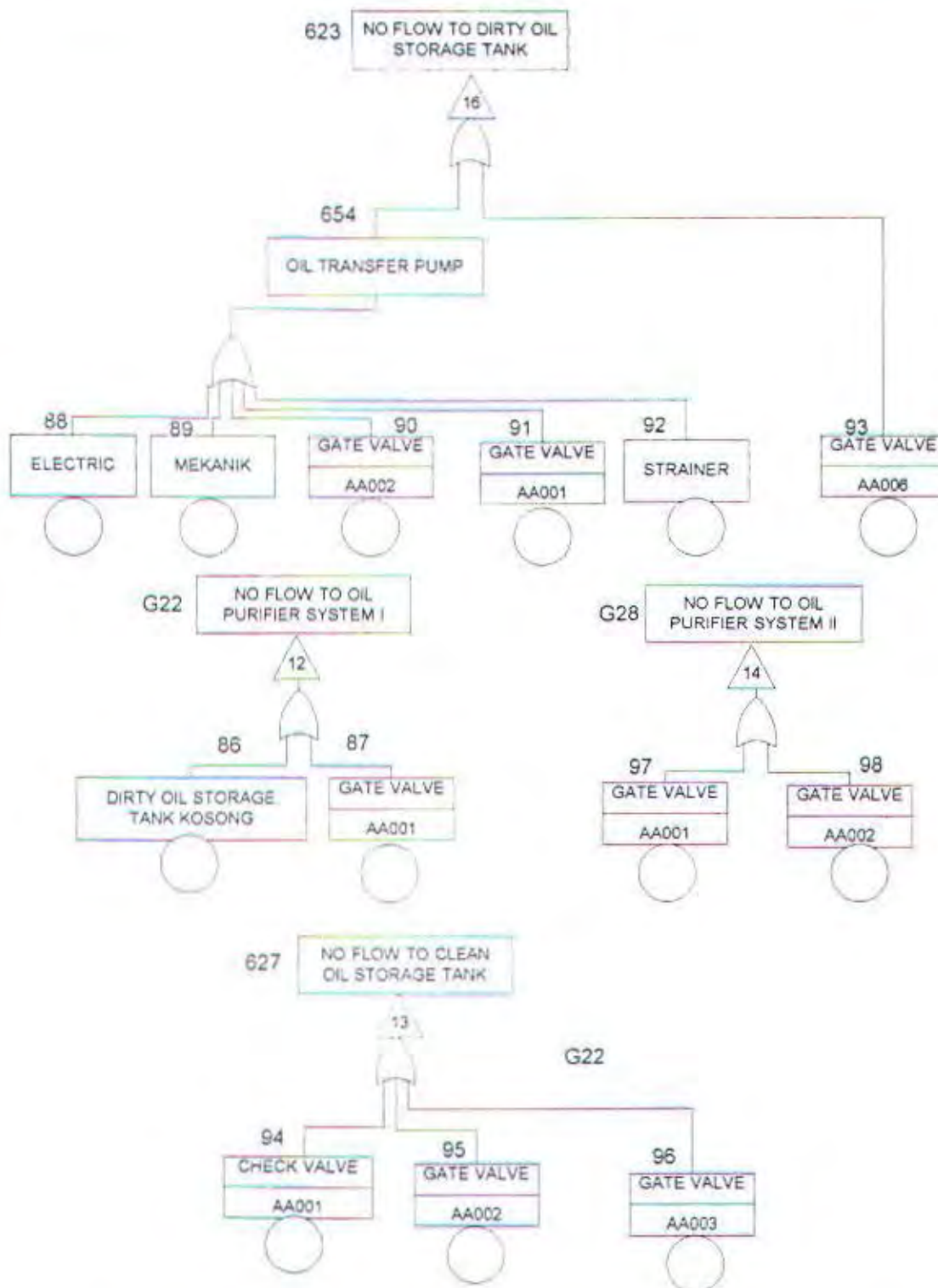




GB.5.16. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTORGRESIK

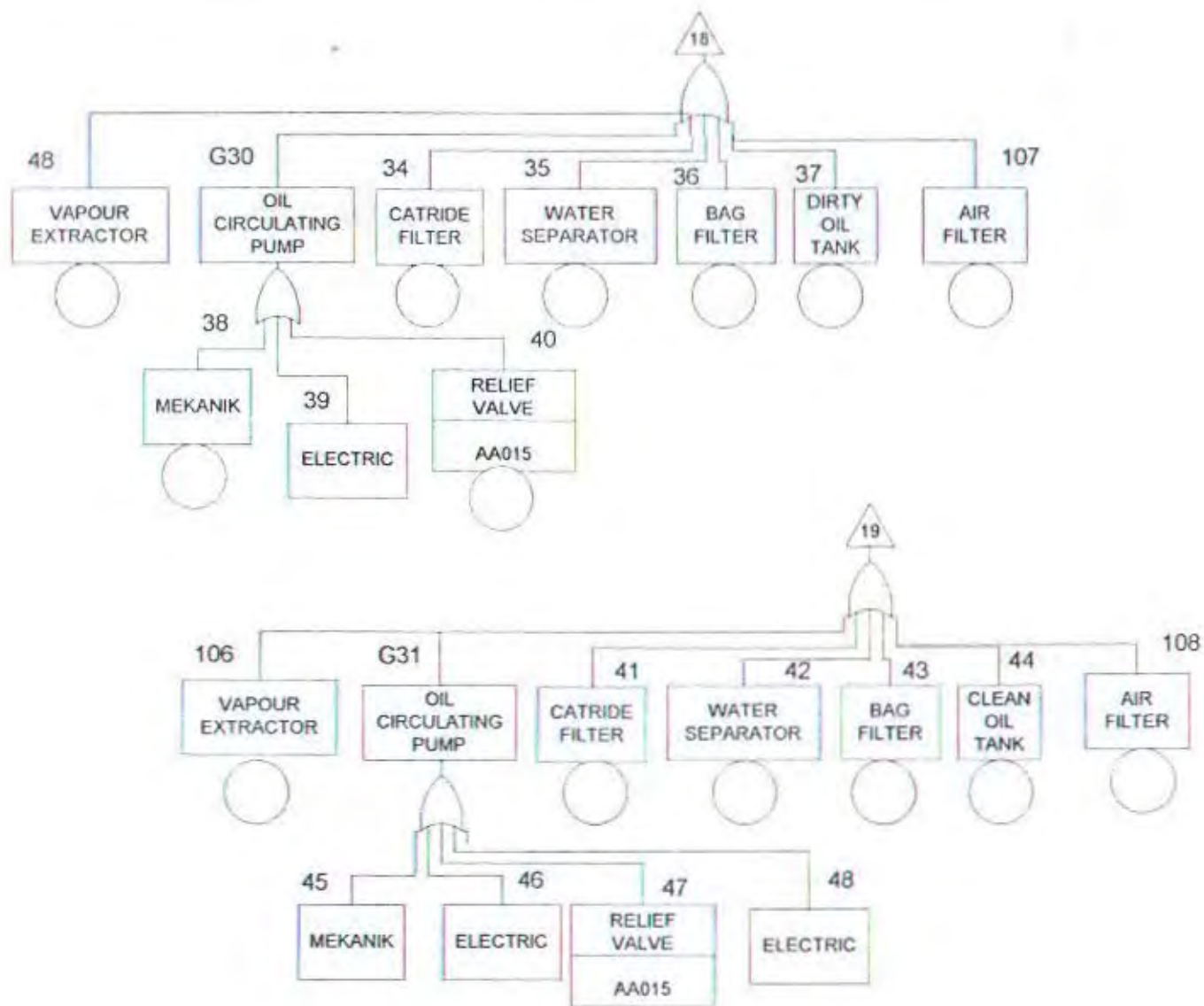


GB.5.17. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP  
PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

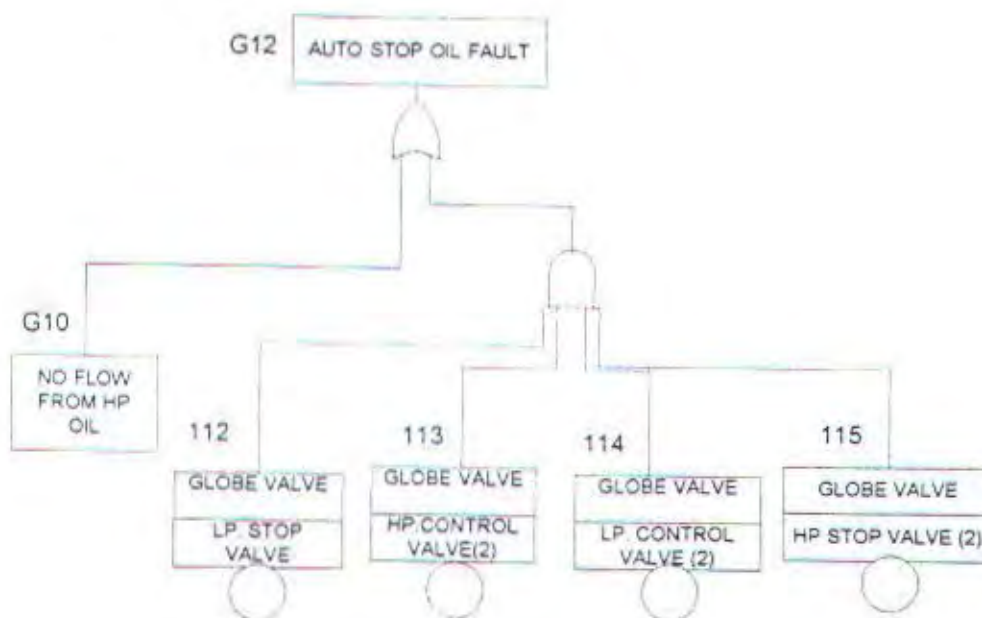


GB.5.18. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP  
PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK





GB.5.19. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK



GB.5.20. FAULT TREE ANALYSIS SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP  
PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

TABEL 5.2. METHOD OBTAIN CUT SET (MOCUS)

| G1 OR GATE | G4 OR GATE  | G5 OR GATE  | G7 OR GATE  |
|------------|-------------|-------------|-------------|
| G2         | G15         | 23,24       | 23,24       |
| G3         | 21,22       | G18,G19     | G18,G19     |
| G2 OR GATE | G16,G17     | G15         | G15         |
| G4         | 109,110,111 | 25,26       | 25,26       |
| G5         | G5          | G16,G17     | G16,G17     |
| G6         | G6          | 109,110,111 | 109,110,111 |
| G7         | G7          | 21,22       | 21,22       |
| G8         | G8          | G6          | G20         |
| G9         | 1           | G7          | G21         |
| G3         | 2           | G8          | G8          |
| G3 OR GATE | 3,4         | 1           | 1           |
| G4         | G10         | 2           | 2           |
| G5         | G11         | 3,4         | 3,4         |
| G6         | 5           | G10         | G10         |
| G7         | 6           | G11         | G11         |
| G8         | 7           | 5           | 5           |
| G9         | 8           | 6           | 6           |
| G10        | G12         | 7           | 7           |
| G11        | G13         | 8           | 8           |
| 5          | 9           | G12         | G12         |
| 6          | 10          | G13         | G13         |
| 7          |             | 9           | 9           |
| 8          |             | 10          | 10          |
| G12        |             | G6 OR GATE  | G8 OR GATE  |
| G13        |             | 23,24       | 23,24       |
| 9          |             | G18,G19     | G18,G19     |
| 10         |             | G15         | G15         |
| G9 OR GATE |             | 25,26       | 25,26       |
| G4         | 7           | G16,G17     | G16,G17     |
| G5         | 8           | 109,110,111 | 109,110,111 |
| G6         | G12         | 21,22       | 21,22       |
| G7         | G13         | G20         | G20         |
| G8         | 9           | G21         | G21         |
| 1          | 10          | G7          | G22         |
| 2          |             | G8          | G23         |
| 3,4        |             | 1           | G24         |
| G10        |             | 2           | G25         |
| G11        |             | 3,4         | G26         |
| 5          |             | G10         | G27         |
| 6          |             | G11         | G28         |



| G10 OR GATE | G11 OR GATE | G12 OR GATE     | G13 OR GATE     | G14 OR GATE     |
|-------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 23,24       | 23,24       | 23,24           | 23,24           | 23,24           |
| G18,G19     | G18,G19     | G18,G19         | G18,G19         | G18,G19         |
| G15         | G15         | G15             | G15             | G15             |
| 25,26       | 25,26       | 25,26           | 25,26           | 25,26           |
| G16,G17     | G16,G17     | G16,G17         | G16,G17         | G16,G17         |
| 109,110,111 | 109,110,111 | 109,110,111     | 109,110,111     | 109,110,111     |
| 21,22       | 21,22       | 21,22           | 21,22           | 21,22           |
| G20         | G20         | G20             | G20             | G20             |
| G21         | G21         | G21             | G21             | G21             |
| G22         | G22         | G22             | G22             | G22             |
| G23         | G23         | G23             | G23             | G23             |
| G24         | G24         | G24             | G24             | G24             |
| G25         | G25         | G25             | G25             | G25             |
| G26         | G26         | G26             | G26             | G26             |
| G27         | G27         | G27             | G27             | G27             |
| G28         | G28         | G28             | G28             | G28             |
| G29         | G29         | G29             | G29             | G29             |
| 1           | 1           | 1               | 1               | 1               |
| 2           | 2           | 2               | 2               | 2               |
| 3,4         | 3,4         | 3,4             | 3,4             | 3,4             |
| G14         | G14         | G14             | G14             | 11              |
| G16         | G16         | G16             | G16             | 12              |
| G11         | 25          | 25              | 25              | G16             |
| 5           | 5           | 5               | 5               | 25              |
| 6           | 6           | 6               | 6               | 5               |
| 7           | 7           | 7               | 7               | 6               |
| 8           | 8           | 8               | 8               | 7               |
| G12         | G12         | 112,113,114,115 | 9               | 8               |
| G13         | G13         | G13             | 10              | 9               |
| 9           | 9           | 9               | 112,113,114,115 | 10              |
| 10          | 10          | 10              |                 | 112,113,114,115 |

| G15 OR GATE     | G16 OR GATE     | G17 OR GATE     | G18 OR GATE     |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 23,24           | 23,24           | 23,24           | 23,24           |
| G18,G19         | G18,G19         | G18,G19         | 27,G19          |
| 13              | 13              | 13              | 28,G19          |
| 14              | 14              | 14              | 29,G19          |
| 15              | 15              | 15              | 13              |
| 25,26           | 25,26           | 25,26           | 14              |
| G16,G17         | 17,G17          | 17,19           | 15              |
| 109,110,111     | 18,G17          | 17,20           | 25,26           |
| 21,22           | 109,110,111     | 18,19           | 17,19           |
| G20             | 21,22           | 18,20           | 17,20           |
| G21             | G20             | 109,110,111     | 18,19           |
| G22             | G21             | 21,22           | 18,20           |
| G23             | G22             | G20             | 109,110,111     |
| G24             | G23             | G21             | 21,22           |
| G25             | G24             | G22             | G20             |
| G26             | G25             | G23             | G21             |
| G27             | G26             | G24             | G22             |
| G28             | G27             | G25             | G23             |
| G29             | G28             | G26             | G24             |
| 1               | G29             | G27             | G25             |
| 2               | 1               | G28             | G26             |
| 3,4             | 2               | G29             | G27             |
| 11              | 3,4             | 1               | G28             |
| 12              | 11              | 2               | G29             |
| G16             | 12              | 3,4             | 1               |
| 25              | 17              | 11              | 2               |
| 5               | 18              | 12              | 3,4             |
| 6               | 25              | 17              | 11              |
| 7               | 5               | 18              | 12              |
| 8               | 6               | 25              | 17              |
| 9               | 7               | 5               | 18              |
| 10              | 8               | 6               | 25              |
| 112,113,114,115 | 9               | 7               | 5               |
|                 | 10              | 8               | 6               |
|                 | 112,113,114,115 | 9               | 7               |
|                 |                 | 10              | 8               |
|                 |                 | 112,113,114,115 | 9               |
|                 |                 |                 | 10              |
|                 |                 |                 | 112,113,114,115 |

| G19 OR GATE     | G20 OR GATE     | G21 OR GATE     | G22 OR GATE     |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 23,24           | 23,24           | 23,24           | 23,24           |
| 27,30           | 27,30           | 27,30           | 27,30           |
| 27,31           | 27,31           | 27,31           | 27,31           |
| 28,30           | 28,30           | 28,30           | 28,30           |
| 28,31           | 28,31           | 28,31           | 28,31           |
| 29,30           | 29,30           | 29,30           | 29,30           |
|                 | 109,110,111     | 109,110,111     | 109,110,111     |
| 109,110,111     | 29,31           | 29,31           | 29,31           |
| 13              | 13              | 13              | 13              |
| 14              | 14              | 14              | 14              |
| 15              | 15              | 15              | 15              |
| 25,26           | 25,26           | 25,26           | 25,26           |
| 17,19           | 17,19           | 17,19           | 17,19           |
| 17,20           | 17,20           | 17,20           | 17,20           |
| 18,19           | 18,19           | 18,19           | 18,19           |
| 18,20           | 18,20           | 18,20           | 18,20           |
| 21,22           | 107             | 107             | 107             |
| G20             | 21,22           | 21,22           | 21,22           |
| G21             | G32             | G32             | G32             |
| G22             | G33             | G33             | G33             |
| G23             | G21             | G42             | G42             |
| G24             | G22             | G43             | G43             |
| G25             | G23             | G44             | G44             |
| G26             | G24             | G45             | G45             |
| G27             | G25             | 108             | 108             |
| G28             | G26             | G22             | 86              |
| G29             | G27             | G23             | 87              |
| 1               | G28             | G24             | G23             |
| 2               | G29             | G25             | G24             |
| 3,4             | 1               | G26             | G25             |
| 11              | 2               | G27             | G26             |
| 12              | 3,4             | G28             | G27             |
| 17              | 11              | G29             | G28             |
| 18              | 12              | 1               | G29             |
| 25              | 17              | 2               | 1               |
| 5               | 18              | 3,4             | 2               |
| 6               | 25              | 11              | 3,4             |
| 7               | 5               | 12              | 11              |
| 8               | 6               | 17              | 12              |
| 9               | 7               | 18              | 17              |
| 10              | 8               | 25              | 18              |
| 112,113,114,115 | 9               | 5               | 25              |
|                 | 10              | 6               | 5               |
|                 | 112,113,114,115 | 7               | 6               |
|                 |                 | 8               | 7               |
|                 |                 | 9               | 8               |
|                 |                 | 10              | 9               |
|                 |                 |                 | 10              |
|                 |                 | 112,113,114,115 | 112,113,114,115 |



| G23 OR GATE     | G24 OR GATE     | G25 OR GATE     | G26 OR GATE     |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 23,24           | 23,24           | 23,24 7         | 23,24 12        |
| 27,30           | 27,30           | 27,30 8         | 27,30 17        |
| 27,31           | 27,31           | 27,31 9         | 27,31 18        |
| 28,30           | 28,30           | 28,30 10        | 28,30 25        |
| 28,31           | 28,31           | 28,31 6         | 28,31 5         |
| 29,30           | 29,30           | 29,30 116       | 29,30 6         |
| 29,31           | 29,31           | 29,31           | 29,31 7         |
| 13              | 13              | 13              | 13 8            |
| 14              | 14              | 14              | 14 9            |
| 15              | 15              | 15              | 15 10           |
| 25,26           | 25,26           | 25,26           | 25,26 116       |
| 17,19           | 17,19           | 17,19           | 17,19 117       |
| 17,20           | 17,20           | 17,20           | 17,20           |
| 18,19           | 18,19           | 18,19           | 18,19           |
| 18,20           | 18,20           | 18,20           | 18,20           |
| 107             | 107             | 107             | 107             |
| 21,22           | 21,22           | 21,22           | 21,22           |
| G32             | G32             | G32             | G32             |
| G33             | G33             | G33             | G33             |
| G42             | G42             | G42             | G42             |
| G43             | G43             | G43             | G43             |
| G44             | G44             | G44             | G44             |
| G45             | G45             | G45             | G45             |
| 86              | 86              | 86              | 86              |
| 108             | 108             | 108             | 108             |
| 87              | 87              | 87              | 87              |
| G54             | G54             | G54             | G54             |
| 93              | 93              | 93              | 93              |
| G24             | 32              | 32              | 32              |
| G25             | 33              | 33              | 33              |
| G26             | G25             | G30             | G30             |
| G27             | G26             | 34              | 34              |
| G28             | G27             | 35              | 35              |
| G29             | G28             | 36              | 36              |
| 1               | G29             | 37              | 37              |
| 2               | 1               | 48              | 48              |
| 3,4             | 2               | G26             | 106             |
| 11              | 3,4             | G27             | G31             |
| 12              | 11              | G28             | 41              |
| 17              | 12              | G29             | 42              |
| 18              | 17              | 1               | 43              |
| 25              | 18              | 2               | 44              |
| 5               | 25              | 3,4             | G27             |
| 6               | 5               | 11              | G28             |
| 7               | 6               | 12              | G29             |
| 8               | 7               | 17              | 1               |
| 9               | 8               | 18              | 2               |
| 10              | 9               | 25              | 3,4             |
| 109,110,111     | 10              | 5               | 11              |
| 112,113,114,115 | 109,110,111     | 109,110,111     | 109,110,111     |
|                 | 112,113,114,115 | 112,113,114,115 | 112,113,114,115 |

| G27 OR GATE     |     | G28 OR GATE     |     | G29 OR GATE     |     | G30 OR GATE     |     |
|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
| 23,24           | 3,4 | 23,24           | 2   | 23,24           | 104 | 23,24           | G55 |
| 27,30           | 11  | 27,30           | 3,4 | 27,30           | 105 | 27,30           | 103 |
| 27,31           | 12  | 27,31           | 11  | 27,31           | 1   | 27,31           | 104 |
| 28,30           | 17  | 28,30           | 12  | 28,30           | 2   | 28,30           | 105 |
| 28,31           | 18  | 28,31           | 17  | 28,31           | 3,4 | 28,31           | 1   |
| 29,30           | 25  | 29,30           | 18  | 29,30           | 11  | 29,30           | 2   |
| 29,31           | 5   | 29,31           | 25  | 29,31           | 12  | 29,31           | 3,4 |
| 13              | 6   | 13              | 5   | 13              | 17  | 13              | 11  |
| 14              | 7   | 14              | 6   | 14              | 18  | 14              | 12  |
| 15              | 8   | 15              | 7   | 15              | 25  | 15              | 17  |
| 25,26           | 9   | 25,26           | 8   | 25,26           | 5   | 25,26           | 18  |
| 17,19           | 10  | 17,19           | 9   | 17,19           | 6   | 17,19           | 25  |
| 17,20           | 1   | 17,20           | 10  | 17,20           | 7   | 17,20           | 5   |
| 18,19           | 2   | 18,19           | 97  | 18,19           | 8   | 18,19           | 6   |
| 18,20           | 116 | 18,20           | 98  | 18,20           | 9   | 18,20           | 7   |
| 107             | 117 | 107             | G29 | 107             | 10  | 107             | 8   |
| 21,22           |     | 21,22           | 1   | 21,22           | 97  | 21,22           | 9   |
| G32             |     | G32             |     | G32             | 98  | G32             | 10  |
| G33             |     | G33             |     | G33             | G55 | G33             | 95  |
| G42             |     | G42             |     | G42             | 103 | G42             | 96  |
| G43             |     | G43             |     | G43             |     | G43             | 97  |
| G44             |     | G44             |     | G44             |     | G44             | 98  |
| G45             |     | G45             |     | G45             |     | G45             |     |
| 86              |     | 86              |     | 86              |     | 86              |     |
| 108             |     | 108             |     | 108             |     | 108             |     |
| 87              |     | 87              |     | 87              |     | 87              |     |
| G54             |     | G54             |     | G54             |     | G54             |     |
| 93              |     | 93              |     | 93              |     | 93              |     |
| 32              |     | 32              |     | 32              |     | 32              |     |
| 33              |     | 33              |     | 33              |     | 33              |     |
| G30             |     | G30             |     | G30             |     | 38              |     |
| 34              |     | 34              |     | 34              |     | 39              |     |
| 35              |     | 35              |     | 35              |     | 40              |     |
| 36              |     | 36              |     | 36              |     | 34              |     |
| 37              |     | 37              |     | 37              |     | 35              |     |
| 48              |     | 48              |     | 48              |     | 48              |     |
| G31             |     | G31             |     | G31             |     | 36              |     |
| 106             |     | 106             |     | 106             |     | 106             |     |
| 41              |     | 41              |     | 41              |     | 37              |     |
| 42              |     | 42              |     | 42              |     | G31             |     |
| 43              |     | 43              |     | 43              |     | 41              |     |
| 44              |     | 44              |     | 44              |     | 42              |     |
| 94              |     | 94              |     | 94              |     | 43              |     |
| 95              |     | 95              |     | 95              |     | 44              |     |
| 96              |     | 96              |     | 96              |     | 94              |     |
| G28             |     | 109,110,111     |     | 109,110,111     |     | 109,110,111     |     |
| G29             |     | 112,113,114,115 |     | 112,113,114,115 |     | 112,113,114,115 |     |
| 109,110,111     |     | 116             |     | 116             |     | 116             |     |
| 112,113,114,115 |     | 117             |     | 117             |     | 117             |     |

| G31 OR GATE     |     | G32 OR GATE     |     | G33 OR GATE     |     | G34 OR GATE     |     |
|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
| 23,24           | 96  | 23,24           | 94  | 23,24           | 42  | 23,24           | 41  |
| 27,30           | 97  | 27,30           | 95  | 27,30           | 43  | 27,30           | 42  |
| 27,31           | 98  | 27,31           | 96  | 27,31           | 44  | 27,31           | 43  |
| 28,30           | G55 | 28,30           | 97  | 28,30           | 94  | 28,30           | 44  |
| 28,31           | 103 | 28,31           | 98  | 28,31           | 95  | 28,31           | 94  |
| 29,30           | 104 | 29,30           | G55 | 29,30           | 96  | 29,30           | 95  |
| 29,31           | 105 | 29,31           | 103 | 29,31           | 97  | 29,31           | 96  |
| 13              | 1   | 13              | 104 | 13              | 98  | 13              | 97  |
| 14              | 2   | 14              | 105 | 14              | G55 | 14              | 98  |
| 15              | 3,4 | 15              | 1   | 15              | 103 | 15              | G55 |
| 25,26           | 11  | 25,26           | 2   | 25,26           | 104 | 25,26           | 103 |
| 17,19           | 12  | 17,19           | 3,4 | 17,19           | 105 | 17,19           | 104 |
| 17,20           | 17  | 17,20           | 11  | 17,20           | 1   | 17,20           | 105 |
| 18,19           | 18  | 18,19           | 12  | 18,19           | 2   | 18,19           | 1   |
| 18,20           | 25  | 18,20           | 17  | 18,20           | 3,4 | 18,20           | 2   |
| 107             | 5   | 107             | 18  | 107             | 11  | 107             | 3,4 |
| 21,22           | 6   | 21,22           | 25  | 21,22           | 12  | 21,22           | 11  |
| G32             | 7   | G34             | 5   | G34             | 17  | 51              | 12  |
| G33             | 8   | G35             | 6   | G35             | 18  | 52              | 17  |
| G42             | 9   | G38,G39,G40,G41 | 7   | G38,G39,G40,G4  | 25  | G35             | 18  |
| G43             | 10  | G33             | 8   | 1               |     |                 |     |
| G44             | 43  | G42             | 9   | 49              | 5   | G38,G39,G40,G4  | 25  |
| G45             | 44  | G43             | 10  | 50              | 6   | 1               |     |
| 86              | 94  | G44             | 41  | G36             | 7   | 49              | 5   |
| 108             | 95  | 108             | 42  | 637             | 8   | 50              | 6   |
| 87              |     | G45             | 43  | 108             | 9   | G36             | 7   |
| G54             |     | 86              | 44  | G42             | 10  | 108             | 8   |
| 93              |     | 87              |     | G43             | 46  | 637             | 9   |
| 32              |     | G54             |     | G44             | 47  | G42             | 10  |
| 33              |     | 93              |     | G45             | 48  | G43             | 45  |
| 38              |     | 32              |     | 86              | 41  | G44             | 46  |
| 39              |     | 33              |     | 87              |     | G45             | 47  |
| 40              |     | 38              |     | G54             |     | 86              | 48  |
| 34              |     | 39              |     | 93              |     | 87              |     |
| 35              |     | 40              |     | 32              |     | G54             |     |
| 48              |     | 48              |     | 33              |     | 93              |     |
| 36              |     | 34              |     | 48              |     | 32              |     |
| 106             |     | 106             |     | 38              |     | 48              |     |
| 37              |     | 35              |     | 33              |     | 33              |     |
| 45              |     | 36              |     | 106             |     | 106             |     |
| 46              |     | 37              |     | 39              |     | 38              |     |
| 47              |     | 45              |     | 40              |     | 39              |     |
| 48              |     | 46              |     | 34              |     | 40              |     |
| 41              |     | 47              |     | 35              |     | 34              |     |
| 42              |     | 48              |     | 36              |     | 35              |     |
| 109,110,111     |     | 109,110,111     |     | 37              |     | 36              |     |
| 112,113,114,115 |     | 112,113,114,115 |     | 45              |     | 37              |     |
| 116             |     | 116             |     | 109,110,111     |     | 109,110,111     |     |
| 117             |     | 117             |     | 112,113,114,115 |     | 112,113,114,115 |     |
|                 |     |                 |     | 116             |     | 116             |     |
|                 |     |                 |     | 117             |     | 117             |     |



| G35 OR GATE     |     | G36 OR GATE     |     | G37 OR GATE     |     | G38 OR GATE     |     |
|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
| 23,24           | 46  | 23,24           | 45  | 23,24           | 37  | 23,24           | 36  |
| 27,30           | 47  | 27,30           | 46  | 27,30           | 45  | 27,30           | 37  |
| 27,31           | 48  | 27,31           | 47  | 27,31           | 46  | 27,31           | 45  |
| 28,30           | 41  | 28,30           | 48  | 28,30           | 47  | 28,30           | 46  |
| 28,31           | 42  | 28,31           | 41  | 28,31           | 48  | 28,31           | 47  |
| 29,30           | 43  | 29,30           | 42  | 29,30           | 41  | 29,30           | 48  |
| 29,31           | 44  | 29,31           | 43  | 29,31           | 42  | 29,31           | 41  |
| 13              | 94  | 13              | 44  | 13              | 43  | 13              | 42  |
| 14              | 95  | 14              | 94  | 14              | 44  | 14              | 43  |
| 15              | 96  | 15              | 95  | 15              | 94  | 15              | 44  |
| 25,26           | 97  | 25,26           | 96  | 25,26           | 95  | 25,26           | 94  |
| 17,19           | 98  | 17,19           | 97  | 17,19           | 96  | 17,19           | 95  |
| 17,20           | G55 | 17,20           | 98  | 17,20           | 97  | 17,20           | 96  |
| 18,19           | 103 | 18,19           | G55 | 18,19           | 98  | 18,19           | 97  |
| 18,20           | 104 | 18,20           | 103 | 18,20           | G55 | 18,20           | 98  |
| 107             | 105 | 107             | 104 | 107             | 103 | 107             | G55 |
| 21,22           | 1   | 21,22           | 105 | 21,22           | 104 | 21,22           | 103 |
| 51              | 2   | 51              | 1   | 51              | 105 | 51              | 104 |
| 52              | 3,4 | 52              | 2   | 52              | 1   | 52              | 105 |
| 53              | 11  | 53              | 3,4 | 53              | 2   | 53              | 1   |
| 54              | 12  | 54              | 11  | 54              | 3,4 | 54              | 2   |
| G38,G39,G40,G41 | 17  | G38,G39,G40,G   | 12  | G38,G39,G40,G4  | 11  | 59,G39,G40,G41  | 3,4 |
|                 |     | 41              |     | 1               |     |                 |     |
| 49              | 18  | 49              | 17  | 49              | 12  | 60,G39,G40,G41  | 11  |
| 50              | 25  | 50              | 18  | 50              | 17  | 49              | 12  |
| 108             | 5   | 108             | 25  | 108             | 18  | 108             | 17  |
| G36             | 6   | 55              | 5   | 55              | 25  | 50              | 18  |
| 637             | 7   | 56              | 6   | 56              | 5   | 55              | 25  |
| G42             | 8   | 637             | 7   | 57              | 6   | 56              | 5   |
| G43             | 9   | G42             | 8   | 58              | 7   | 57              | 6   |
| G44             | 10  | G43             | 9   | G42             | 8   | 58              | 7   |
| G45             | 35  | G44             | 10  | G43             | 9   | G42             | 8   |
| 86              | 36  | G45             | 34  | G44             | 10  | G43             | 9   |
| 87              | 37  | 86              | 35  | G45             | 40  | G44             | 10  |
| G54             | 45  | 87              | 36  | 86              | 34  | G45             | 39  |
| 93              |     | G54             | 37  | 87              | 35  | 86              | 40  |
| 48              |     | 48              |     | 48              | 36  | 48              | 34  |
| 32              |     | 93              |     | G54             |     | 87              | 35  |
| 106             |     | 106             |     | 106             |     | 106             |     |
| 33              |     | 32              |     | 93              |     | G54             |     |
| 38              |     | 33              |     | 32              |     | 93              |     |
| 39              |     | 38              |     | 33              |     | 32              |     |
| 40              |     | 39              |     | 38              |     | 33              |     |
| 34              |     | 40              |     | 39              |     | 38              |     |
| 109,110,111     |     | 109,110,111     |     | 109,110,111     |     | 109,110,111     |     |
| 112,113,114,115 |     | 112,113,114,115 |     | 112,113,114,115 |     | 112,113,114,115 |     |
| 116             |     | 116             |     | 116             |     | 116             |     |
| 117             |     | 117             |     | 117             |     | 117             |     |

| G39 OR GATE     |     | G40 OR GATE     |     | G41 OR GATE     |     |     | G42 OR GATE     |     |     |
|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|
| 23,24           | 34  | 23,24           | 33  | 23,24           | 49  | 25  | 23,24           | 69  | 9   |
| 27,30           | 35  | 27,30           | 38  | 27,30           | 50  | 5   | 27,30           | G47 | 10  |
| 27,31           | 36  | 27,31           | 39  | 27,31           | 55  | 6   | 27,31           | G43 | 49  |
| 28,30           | 37  | 28,30           | 40  | 28,30           | 56  | 7   | 28,30           | G44 | 50  |
| 28,31           | 45  | 28,31           | 34  | 28,31           | 57  | 8   | 28,31           | G45 | 55  |
| 29,30           | 46  | 29,30           | 35  | 29,30           | 58  | 9   | 29,30           | 86  | 56  |
| 29,31           | 47  | 29,31           | 36  | 29,31           | G42 | 10  | 29,31           | 87  | 57  |
| 13              | 48  | 13              | 37  | 13              | G43 | 49  | 13              | G54 | 58  |
| 14              | 41  | 14              | 45  | 14              | G44 | 50  | 14              | 93  | G46 |
| 15              | 42  | 15              | 46  | 15              | G45 | 55  | 15              | 32  |     |
| 25,26           | 43  | 25,26           | 47  | 25,26           | 86  | 56  | 25,26           | 33  |     |
| 17,19           | 44  | 17,19           | 48  | 17,19           | 87  | 57  | 17,19           | 38  |     |
| 17,20           | 94  | 17,20           | 41  | 17,20           | G54 | 58  | 17,20           | 39  |     |
| 18,19           | 95  | 18,19           | 42  | 18,19           | 93  | G42 | 18,19           | 40  |     |
| 18,20           | 96  | 18,20           | 43  | 18,20           | 32  |     | 18,20           | 34  |     |
| 107             | 97  | 107             | 44  | 107             | 33  |     | 107             | 35  |     |
| 21,22           | 98  | 21,22           | 94  | 21,22           | 38  |     | 21,22           | 36  |     |
| 51              | G55 | 51              | 95  | 51              | 39  |     | 51              | 37  |     |
| 52              | 103 | 52              | 96  | 52              | 40  |     | 52              | 45  |     |
| 53              | 104 | 53              | 97  | 53              | 34  |     | 53              | 46  |     |
| 54              | 105 | 54              | 98  | 54              | 35  |     | 54              | 47  |     |
| 59,61,G40,G41   | 1   | 59,61,63,G41    | G55 | 59,61,63,65     | 36  |     | 59,61,63,65     | 48  |     |
| 59,62,G40,G41   | 2   | 59,61,64,G41    | 103 | 59,61,63,66     | 37  |     | 59,61,63,66     | 41  |     |
| 60,61,G40,G41   | 3,4 | 59,62,63,G41    | 104 | 59,61,64,65     | 45  |     | 59,61,64,65     | 42  |     |
| 108             | 11  | 108             | 105 | 108             | 46  |     | 108             | 43  |     |
| 60,62,G40,G41   | 12  | 59,62,64,G41    | 1   | 59,61,64,66     | 47  |     | 59,61,64,66     | 44  |     |
| 49              | 17  | 60,61,63,G41    | 2   | 59,62,63,65     | 48  |     | 59,62,63,65     | 94  |     |
| 50              | 18  | 60,61,64,G41    | 3,4 | 59,62,63,66     | 41  |     | 59,62,63,66     | 95  |     |
| 55              | 25  | 60,62,63,G41    | 11  | 59,62,64,65     | 42  |     | 59,62,64,65     | 96  |     |
| 56              | 5   | 60,62,64,G41    | 12  | 59,62,64,66     | 43  |     | 59,62,64,66     | 97  |     |
| 57              | 6   | 49              | 17  | 60,61,63,65     | 44  |     | 60,61,63,65     | 98  |     |
| 58              | 7   | 50              | 18  | 60,61,63,66     | 94  |     | 60,61,63,66     | G55 |     |
| G42             | 8   | 55              | 25  | 60,61,64,65     | 95  |     | 60,61,64,65     | 103 |     |
| G43             | 9   | 56              | 5   | 60,61,64,66     | 96  |     | 60,61,64,66     | 104 |     |
| G44             | 10  | 57              | 6   | 60,62,63,65     | 97  |     | 60,62,63,65     | 105 |     |
| 48              | 87  | 48              | 7   | 48              | 98  |     | 48              | 1   |     |
| G45             | G54 | 58              | 8   | 60,62,63,66     | G55 |     | 60,62,63,66     | 2   |     |
| 106             | 93  | 106             | 9   | 106             | 103 |     | 106             | 3,4 |     |
| 86              | 32  | G42             | 10  | 60,62,64,65     | 104 |     | 60,62,64,65     | 11  |     |
| 109,110,111     | 33  | 109,110,111     | G43 | 60,62,64,66     | 105 |     | 60,62,64,66     | 12  |     |
| 112,113,114,115 | 38  | 112,113,114,115 | G44 | 109,110,111     | 1   |     | 109,110,111     | 17  |     |
| 116             | 39  | 116             | G45 | 112,113,114,115 | 2   |     | 112,113,114,115 | 18  |     |
| 117             | 40  | 117             | 86  | 116             | 3,4 |     | 116             | 25  |     |
|                 |     |                 | 87  | 117             | 11  |     | 117             | 5   |     |
|                 |     |                 | G54 |                 | 12  |     |                 | 6   |     |
|                 |     |                 | 93  |                 | 17  |     |                 | 7   |     |
|                 |     |                 | 32  |                 | 18  |     |                 | 8   |     |



| G43 OR GATE     |     |     | G44 OR GATE     |     |     | G45 OR GATE     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|
| 23,24           | 69  | 8   | 23,24           | 69  | 6   | 23,24           | 69  | 25  |
| 27,30           | G47 | 9   | 27,30           | G47 | 7   | 27,30           | G47 | 5   |
| 27,31           | G48 | 10  | 27,31           | G48 | 8   | 27,31           | G48 | 6   |
| 28,30           | G49 | 49  | 28,30           | G49 | 9   | 28,30           | G49 | 7   |
| 28,31           | G44 | 50  | 28,31           | G50 | 10  | 28,31           | G50 | 8   |
| 29,30           | G45 | 55  | 29,30           | 78  | 49  | 29,30           | 78  | 9   |
| 29,31           | 86  | 56  | 29,31           | G51 | 50  | 29,31           | G51 | 10  |
| 13              | 87  | 57  | 13              | G45 | 55  | 13              | G52 | 49  |
| 14              | G54 | 58  | 14              | 86  | 56  | 14              | 83  | 50  |
| 15              | 93  | G46 | 15              | 87  | 57  | 15              | G53 | 55  |
| 25,26           | 32  |     | 25,26           | G54 | 58  | 25,26           | 86  | 56  |
| 17,19           | 33  |     | 17,19           | 93  | G46 | 17,19           | 87  | 57  |
| 17,20           | 38  |     | 17,20           | 32  |     | 17,20           | G54 | 58  |
| 18,19           | 39  |     | 18,19           | 33  |     | 18,19           | 93  | G46 |
| 18,20           | 40  |     | 18,20           | 38  |     | 18,20           | 32  |     |
| 107             | 34  |     | 107             | 39  |     | 107             | 33  |     |
| 21,22           | 35  |     | 21,22           | 40  |     | 21,22           | 38  |     |
| 51              | 36  |     | 51              | 34  |     | 51              | 39  |     |
| 52              | 37  |     | 52              | 35  |     | 52              | 40  |     |
| 53              | 45  |     | 53              | 36  |     | 53              | 34  |     |
| 54              | 46  |     | 54              | 37  |     | 54              | 35  |     |
| 59,61,63,65     | 47  |     | 59,61,63,65     | 45  |     | 59,61,63,65     | 36  |     |
| 59,61,63,66     | 48  |     | 59,61,63,66     | 46  |     | 59,61,63,66     | 37  |     |
| 59,61,64,65     | 41  |     | 59,61,64,65     | 47  |     | 59,61,64,65     | 45  |     |
| 108             | 42  |     | 108             | 48  |     | 108             | 46  |     |
| 59,61,64,66     | 43  |     | 59,61,64,66     | 41  |     | 59,61,64,66     | 47  |     |
| 59,62,63,65     | 44  |     | 59,62,63,65     | 42  |     | 59,62,63,65     | 48  |     |
| 59,62,63,66     | 94  |     | 59,62,63,66     | 43  |     | 59,62,63,66     | 41  |     |
| 59,62,64,65     | 95  |     | 59,62,64,65     | 44  |     | 59,62,64,65     | 42  |     |
| 59,62,64,66     | 96  |     | 59,62,64,66     | 94  |     | 59,62,64,66     | 43  |     |
| 60,61,63,65     | 97  |     | 60,61,63,65     | 95  |     | 60,61,63,65     | 44  |     |
| 60,61,63,66     | 98  |     | 60,61,63,66     | 96  |     | 60,61,63,66     | 94  |     |
| 60,61,64,65     | G55 |     | 60,61,64,65     | 97  |     | 60,61,64,65     | 95  |     |
| 60,61,64,66     | 103 |     | 60,61,64,66     | 98  |     | 60,61,64,66     | 96  |     |
| 60,62,63,65     | 104 |     | 60,62,63,65     | G55 |     | 60,62,63,65     | 97  |     |
| 48              | 105 |     | 48              | 103 |     | 48              | 98  |     |
| 60,62,63,66     | 1   |     | 60,62,63,66     | 104 |     | 60,62,63,66     | G55 |     |
| 106             | 2   |     | 106             | 105 |     | 106             | 103 |     |
| 60,62,64,65     | 3,4 |     | 60,62,64,65     | 1   |     | 60,62,64,65     | 104 |     |
| 60,62,64,66     | 11  |     | 60,62,64,66     | 2   |     | 60,62,64,66     | 105 |     |
| 109,110,111     | 12  |     | 109,110,111     | 3,4 |     | 109,110,111     | 1   |     |
| 112,113,114,115 | 17  |     | 112,113,114,115 | 11  |     | 112,113,114,115 | 2   |     |
| 116             | 18  |     | 116             | 12  |     | 116             | 3,4 |     |
| 117             | 25  |     | 117             | 17  |     | 117             | 11  |     |
|                 | 5   |     |                 | 18  |     |                 | 12  |     |
|                 | 6   |     |                 | 25  |     |                 | 17  |     |
|                 | 7   |     |                 | 5   |     |                 | 18  |     |



| G46 OR GATE     |     |    | G47 OR GATE     |     |    | G48 OR GATE     |     |    |
|-----------------|-----|----|-----------------|-----|----|-----------------|-----|----|
| 23,24           | 68  | 18 | 23,24           | 68  | 17 | 23,24           | 68  | 12 |
| 27,30           | 69  | 25 | 27,30           | 69  | 18 | 27,30           | 69  | 17 |
| 27,31           | G47 | 5  | 27,31           | 70  | 25 | 27,31           | 70  | 18 |
| 28,30           | G48 | 6  | 28,30           | 71  | 5  | 28,30           | 71  | 25 |
| 28,31           | G49 | 7  | 28,31           | G48 | 6  | 28,31           | 72  | 5  |
| 29,30           | G50 | 8  | 29,30           | G49 | 7  | 29,30           | 73  | 6  |
| 29,31           | 78  | 9  | 29,31           | G50 | 8  | 29,31           | G49 | 7  |
| 13              | G51 | 10 | 13              | 78  | 9  | 13              | G50 | 8  |
| 14              | G52 | 49 | 14              | G51 | 10 | 14              | 78  | 9  |
| 15              | 83  | 50 | 15              | G52 | 49 | 15              | G51 | 10 |
| 25,26           | G53 | 55 | 25,26           | 83  | 50 | 25,26           | G52 | 49 |
| 17,19           | 86  | 56 | 17,19           | G53 | 55 | 17,19           | 83  | 50 |
| 17,20           | 87  | 57 | 17,20           | 86  | 56 | 17,20           | G53 | 55 |
| 18,19           | G54 | 58 | 18,19           | 87  | 57 | 18,19           | 86  | 56 |
| 18,20           | 93  | 67 | 18,20           | G54 | 58 | 18,20           | 87  | 57 |
| 107             | 32  |    | 107             | 93  | 67 | 107             | G54 | 58 |
| 21,22           | 33  |    | 21,22           | 32  |    | 21,22           | 93  | 67 |
| 51              | 38  |    | 51              | 33  |    | 51              | 32  |    |
| 52              | 39  |    | 52              | 38  |    | 52              | 33  |    |
| 53              | 40  |    | 53              | 39  |    | 53              | 38  |    |
| 54              | 34  |    | 54              | 40  |    | 54              | 39  |    |
| 59,61,63,65     | 35  |    | 59,61,63,65     | 34  |    | 59,61,63,65     | 40  |    |
| 59,61,63,66     | 36  |    | 59,61,63,66     | 35  |    | 59,61,63,66     | 34  |    |
| 59,61,64,65     | 37  |    | 59,61,64,65     | 36  |    | 59,61,64,65     | 35  |    |
| 108             | 45  |    | 108             | 37  |    | 108             | 36  |    |
| 59,61,64,66     | 46  |    | 59,61,64,66     | 45  |    | 59,61,64,66     | 37  |    |
| 59,62,63,65     | 47  |    | 59,62,63,65     | 46  |    | 59,62,63,65     | 45  |    |
| 59,62,63,66     | 48  |    | 59,62,63,66     | 47  |    | 59,62,63,66     | 46  |    |
| 59,62,64,65     | 41  |    | 59,62,64,65     | 48  |    | 59,62,64,65     | 47  |    |
| 59,62,64,66     | 42  |    | 59,62,64,66     | 41  |    | 59,62,64,66     | 48  |    |
| 60,61,63,65     | 43  |    | 60,61,63,65     | 42  |    | 60,61,63,65     | 41  |    |
| 60,61,63,66     | 44  |    | 60,61,63,66     | 43  |    | 60,61,63,66     | 42  |    |
| 60,61,64,65     | 94  |    | 60,61,64,65     | 44  |    | 60,61,64,65     | 43  |    |
| 60,61,64,66     | 95  |    | 60,61,64,66     | 94  |    | 60,61,64,66     | 44  |    |
| 60,62,63,65     | 96  |    | 60,62,63,65     | 95  |    | 60,62,63,65     | 94  |    |
| 48              | 97  |    | 48              | 96  |    | 48              | 95  |    |
| 60,62,63,66     | 98  |    | 60,62,63,66     | 97  |    | 60,62,63,66     | 96  |    |
| 106             | G55 |    | 106             | 98  |    | 106             | 97  |    |
| 60,62,64,65     | 103 |    | 60,62,64,65     | G55 |    | 60,62,64,65     | 98  |    |
| 60,62,64,66     | 104 |    | 60,62,64,66     | 103 |    | 60,62,64,66     | G55 |    |
| 109,110,111     | 105 |    | 109,110,111     | 104 |    | 109,110,111     | 103 |    |
| 112,113,114,115 | 1   |    | 112,113,114,115 | 105 |    | 112,113,114,115 | 104 |    |
| 116             | 2   |    | 116             | 1   |    | 116             | 105 |    |
| 117             | 3,4 |    | 117             | 2   |    | 117             | 1   |    |
|                 | 11  |    |                 | 3,4 |    |                 | 2   |    |
|                 | 12  |    |                 | 11  |    |                 | 3,4 |    |
|                 | 17  |    |                 | 12  |    |                 | 11  |    |

| G49 OR GATE     |     |    | G50 OR GATE     |     |     | G51 OR GATE     |     |     |
|-----------------|-----|----|-----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|
| 23,24           | 68  | 11 | 23,24           | 68  | 3,4 | 23,24           | 68  | 2   |
| 27,30           | 69  | 12 | 27,30           | 69  | 11  | 27,30           | 69  | 3,4 |
| 27,31           | 70  | 17 | 27,31           | 70  | 12  | 27,31           | 70  | 11  |
| 28,30           | 71  | 18 | 28,30           | 71  | 17  | 28,30           | 71  | 12  |
| 28,31           | 72  | 25 | 28,31           | 72  | 18  | 28,31           | 72  | 17  |
| 29,30           | 73  | 5  | 29,30           | 73  | 25  | 29,30           | 73  | 18  |
| 29,31           | 74  | 6  | 29,31           | 74  | 5   | 29,31           | 74  | 25  |
| 13              | 75  | 7  | 13              | 75  | 6   | 13              | 75  | 5   |
| 14              | G50 | 8  | 14              | 76  | 7   | 14              | 76  | 6   |
| 15              | 78  | 9  | 15              | 77  | 8   | 15              | 77  | 7   |
| 25,26           | G51 | 10 | 25,26           | 78  | 9   | 25,26           | 78  | 8   |
| 17,19           | G52 | 49 | 17,19           | G51 | 10  | 17,19           | 79  | 9   |
| 17,20           | 83  | 50 | 17,20           | G52 | 49  | 17,20           | 80  | 10  |
| 18,19           | G53 | 55 | 18,19           | 83  | 50  | 18,19           | G52 | 49  |
| 18,20           | 86  | 56 | 18,20           | G53 | 55  | 18,20           | 83  | 50  |
| 107             | 87  | 57 | 107             | 86  | 56  | 107             | G53 | 55  |
| 21,22           | G54 | 58 | 21,22           | 87  | 57  | 21,22           | 86  | 56  |
| 51              | 93  | 67 | 51              | G54 | 58  | 51              | 87  | 57  |
| 52              | 32  |    | 52              | 93  | 67  | 52              | G54 | 58  |
| 53              | 33  |    | 53              | 32  |     | 53              | 93  | 67  |
| 54              | 38  |    | 54              | 33  |     | 54              | 32  |     |
| 59,61,63,65     | 39  |    | 59,61,63,65     | 38  |     | 59,61,63,65     | 33  |     |
| 59,61,63,66     | 40  |    | 59,61,63,66     | 39  |     | 59,61,63,66     | 38  |     |
| 59,61,64,65     | 34  |    | 59,61,64,65     | 40  |     | 59,61,64,65     | 39  |     |
| 108             | 35  |    | 108             | 34  |     | 108             | 40  |     |
| 59,61,64,66     | 36  |    | 59,61,64,66     | 35  |     | 59,61,64,66     | 34  |     |
| 59,62,63,65     | 37  |    | 59,62,63,65     | 36  |     | 59,62,63,65     | 35  |     |
| 59,62,63,66     | 45  |    | 59,62,63,66     | 37  |     | 59,62,63,66     | 36  |     |
| 59,62,64,65     | 46  |    | 59,62,64,65     | 45  |     | 59,62,64,65     | 37  |     |
| 59,62,64,66     | 47  |    | 59,62,64,66     | 46  |     | 59,62,64,66     | 45  |     |
| 60,61,63,65     | 48  |    | 60,61,63,65     | 47  |     | 60,61,63,65     | 46  |     |
| 60,61,63,66     | 41  |    | 60,61,63,66     | 48  |     | 60,61,63,66     | 47  |     |
| 60,61,64,65     | 42  |    | 60,61,64,65     | 41  |     | 60,61,64,65     | 48  |     |
| 60,61,64,66     | 43  |    | 60,61,64,66     | 42  |     | 60,61,64,66     | 41  |     |
| 60,62,63,65     | 44  |    | 60,62,63,65     | 43  |     | 60,62,63,65     | 42  |     |
| 48              | 94  |    | 48              | 44  |     | 48              | 43  |     |
| 60,62,63,66     | 95  |    | 60,62,63,66     | 94  |     | 60,62,63,66     | 44  |     |
| 106             | 96  |    | 106             | 95  |     | 106             | 94  |     |
| 60,62,64,65     | 97  |    | 60,62,64,65     | 96  |     | 60,62,64,65     | 95  |     |
| 60,62,64,66     | 98  |    | 60,62,64,66     | 97  |     | 60,62,64,66     | 96  |     |
| 109,110,111     | G55 |    | 109,110,111     | 98  |     | 109,110,111     | 97  |     |
| 112,113,114,115 | 103 |    | 112,113,114,115 | G55 |     | 112,113,114,115 | 98  |     |
| 116             | 104 |    | 116             | 103 |     | 116             | G55 |     |
| 117             | 105 |    | 117             | 104 |     | 117             | 103 |     |
| 1               |     |    |                 | 105 |     |                 | 104 |     |
| 2               |     |    |                 | 1   |     |                 | 105 |     |
| 3,4             |     |    |                 | 2   |     |                 | 1   |     |



| G52 OR GATE     |     |     | G53 OR GATE     |     |     | G54 OR GATE     |    |     |
|-----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----------------|----|-----|
| 23,24           | 68  | 1   | 23,24           | 68  | 105 | 23,24           | 68 | 98  |
| 27,30           | 69  | 2   | 27,30           | 69  | 1   | 27,30           | 69 | G55 |
| 27,31           | 70  | 3,4 | 27,31           | 70  | 2   | 27,31           | 70 | 103 |
| 28,30           | 71  | 11  | 28,30           | 71  | 3,4 | 28,30           | 71 | 104 |
| 28,31           | 72  | 12  | 28,31           | 72  | 11  | 28,31           | 72 | 105 |
| 29,30           | 73  | 17  | 29,30           | 73  | 12  | 29,30           | 73 | 1   |
| 29,31           | 74  | 18  | 29,31           | 74  | 17  | 29,31           | 74 | 2   |
| 13              | 75  | 25  | 13              | 75  | 18  | 13              | 75 | 3,4 |
| 14              | 76  | 5   | 14              | 76  | 25  | 14              | 76 | 11  |
| 15              | 77  | 6   | 15              | 77  | 5   | 15              | 77 | 12  |
| 25,26           | 78  | 7   | 25,26           | 78  | 6   | 25,26           | 78 | 17  |
| 17,19           | 79  | 8   | 17,19           | 79  | 7   | 17,19           | 79 | 18  |
| 17,20           | 80  | 9   | 17,20           | 80  | 8   | 17,20           | 80 | 25  |
| 18,19           | 81  | 10  | 18,19           | 81  | 9   | 18,19           | 81 | 5   |
| 18,20           | 82  | 49  | 18,20           | 82  | 10  | 18,20           | 82 | 6   |
| 107             | 83  | 50  | 107             | 83  | 49  | 107             | 83 | 7   |
| 21,22           | G53 | 55  | 21,22           | 84  | 50  | 21,22           | 84 | 8   |
| 51              | 86  | 56  | 51              | 85  | 55  | 51              | 85 | 9   |
| 52              | 87  | 57  | 52              | 86  | 56  | 52              | 86 | 10  |
| 53              | G54 | 58  | 53              | 87  | 57  | 53              | 87 | 49  |
| 54              | 93  | 67  | 54              | G54 | 58  | 54              | 88 | 50  |
| 59,61,63,65     | 32  |     | 59,61,63,65     | 93  | 67  | 59,61,63,65     | 89 | 55  |
| 59,61,63,66     | 33  |     | 59,61,63,66     | 32  |     | 59,61,63,66     | 90 | 56  |
| 59,61,64,65     | 38  |     | 59,61,64,65     | 33  |     | 59,61,64,65     | 91 | 57  |
| 108             | 39  |     | 108             | 38  |     | 108             | 92 | 58  |
| 59,61,64,66     | 40  |     | 59,61,64,66     | 39  |     | 59,61,64,66     | 93 | 67  |
| 59,62,63,65     | 34  |     | 59,62,63,65     | 40  |     | 59,62,63,65     | 32 |     |
| 59,62,63,66     | 35  |     | 59,62,63,66     | 34  |     | 59,62,63,66     | 33 |     |
| 59,62,64,65     | 36  |     | 59,62,64,65     | 35  |     | 59,62,64,65     | 38 |     |
| 59,62,64,66     | 37  |     | 59,62,64,66     | 36  |     | 59,62,64,66     | 39 |     |
| 60,61,63,65     | 45  |     | 60,61,63,65     | 37  |     | 60,61,63,65     | 40 |     |
| 60,61,63,66     | 46  |     | 60,61,63,66     | 45  |     | 60,61,63,66     | 34 |     |
| 60,61,64,65     | 47  |     | 60,61,64,65     | 46  |     | 60,61,64,65     | 35 |     |
| 60,61,64,66     | 48  |     | 60,61,64,66     | 47  |     | 60,61,64,66     | 36 |     |
| 60,62,63,65     | 41  |     | 60,62,63,65     | 48  |     | 60,62,63,65     | 37 |     |
| 48              | 42  |     | 48              | 41  |     | 48              | 45 |     |
| 60,62,63,66     | 43  |     | 60,62,63,66     | 42  |     | 60,62,63,66     | 46 |     |
| 106             | 44  |     | 106             | 43  |     | 106             | 47 |     |
| 60,62,64,65     | 94  |     | 60,62,64,65     | 44  |     | 60,62,64,65     | 48 |     |
| 60,62,64,66     | 95  |     | 60,62,64,66     | 94  |     | 60,62,64,66     | 41 |     |
| 109,110,111     | 96  |     | 109,110,111     | 95  |     | 109,110,111     | 42 |     |
| 112,113,114,115 | 97  |     | 112,113,114,115 | 96  |     | 112,113,114,115 | 43 |     |
| 116             | 98  |     | 116             | 97  |     | 116             | 44 |     |
| 117             | G55 |     | 117             | 98  |     | 117             | 94 |     |
|                 | 103 |     |                 | G55 |     |                 | 95 |     |
|                 | 104 |     |                 | 103 |     |                 | 96 |     |
|                 | 105 |     |                 | 104 |     |                 | 97 |     |



| G55 OR GATE     |    |     | MINIMAL CUT SET |             |                 |
|-----------------|----|-----|-----------------|-------------|-----------------|
| 23,24           | 68 | 98  | 1,2             | 72          | 59,61,64,66     |
| 27,30           | 69 | 99  | 5               | 73          | 59,62,63,65     |
| 27,31           | 70 | 100 | 6               | 74          | 59,62,63,66     |
| 28,30           | 71 | 101 | 7               | 75          | 59,62,64,65     |
| 28,31           | 72 | 102 | 8               | 76          | 59,62,64,66     |
| 29,30           | 73 | 103 | 9               | 77          | 60,61,63,65     |
| 29,31           | 74 | 104 | 10              | 78          | 60,61,63,66     |
| 13              | 75 | 105 | 11              | 79          | 60,61,64,65     |
| 14              | 76 | 1   | 12              | 80          | 60,61,64,66     |
| 15              | 77 | 2   | 13              | 81          | 60,62,63,65     |
| 25,26           | 78 | 3,4 | 14              | 82          | 60,62,63,66     |
| 17,19           | 79 | 11  | 15              | 83          | 60,62,64,65     |
| 17,20           | 80 | 12  | 17              | 84          | 60,62,64,66     |
| 18,19           | 81 | 17  | 18              | 85          | 107             |
| 18,20           | 82 | 18  | 25              | 86          | 108             |
| 107             | 83 | 25  | 32              | 87          | 109,110,111     |
| 21,22           | 84 | 5   | 33              | 88          | 112,113,114,115 |
| 51              | 85 | 6   | 34              | 89          | 116             |
| 52              | 86 | 7   | 35              | 90          | 117             |
| 53              | 87 | 8   | 36              | 91          |                 |
| 54              | 88 | 9   | 37              | 92          |                 |
| 59,61,63,65     | 89 | 10  | 38              | 93          |                 |
| 59,61,63,66     | 90 | 49  | 39              | 94          |                 |
| 59,61,64,65     | 91 | 50  | 40              | 95          |                 |
| 108             | 92 | 55  | 41              | 96          |                 |
| 59,61,64,66     | 93 | 56  | 42              | 97          |                 |
| 59,62,63,65     | 32 | 57  | 43              | 98          |                 |
| 59,62,63,66     | 33 | 58  | 44              | 99          |                 |
| 59,62,64,65     | 38 | 67  | 45              | 100         |                 |
| 59,62,64,66     | 39 |     | 46              | 101         |                 |
| 60,61,63,65     | 40 |     | 47              | 102         |                 |
| 60,61,63,66     | 34 |     | 48              | 103         |                 |
| 60,61,64,65     | 35 |     | 49              | 104         |                 |
| 60,61,64,66     | 36 |     | 50              | 105         |                 |
| 60,62,63,65     | 37 |     | 51              | 106         |                 |
| 48              | 45 |     | 52              | 21,22       |                 |
| 60,62,63,66     | 46 |     | 53              | 23,24       |                 |
| 106             | 47 |     | 54              | 27,30       |                 |
| 60,62,64,65     | 48 |     | 55              | 27,31       |                 |
| 60,62,64,66     | 41 |     | 56              | 28,30       |                 |
| 109,110,111     | 42 |     | 57              | 28,31       |                 |
| 112,113,114,115 | 43 |     | 58              | 29,30       |                 |
| 116             | 44 |     | 67              | 29,31       |                 |
| 117             | 94 |     | 68              | 3,4         |                 |
|                 | 95 |     | 69              | 59,61,63,65 |                 |
|                 | 96 |     | 70              | 59,61,63,66 |                 |
|                 | 97 |     | 71              | 59,61,64,65 |                 |

TABEL 5.3. KODE DAN NAMA KOMPONEN

| KODE KOMPONEN | NAMA/ BAGIAN KOMPONEN             |
|---------------|-----------------------------------|
| 1             | LUBRICATING COOLER I              |
| 2             | LUBRICATING COOLER II             |
| 5             | LP CONTROL VALVE                  |
| 6             | HP CONTROL VALVE                  |
| 7             | HP STOP VALVE                     |
| 8             | LP STOP VALVE                     |
| 9             | HP CONTROL VALVE E/H CONVERTER    |
| 10            | LP CONTROL VALVE E/H CONVERTER    |
| 11            | HUMAN ERROR (MOT)                 |
| 12            | MOT LEAKAGE                       |
| 13            | MEKANIK (MOP)                     |
| 14            | ELECTRIK (MOP)                    |
| 15            | SUCTION VALVE                     |
| 17            | AOP (MEKANIK)                     |
| 18            | AOP(ELEKTRIK)                     |
| 21            | STRAINER (AA006)                  |
| 22            | STRAINER (AA005)                  |
| 23            | CHECK VALVE I                     |
| 24            | CHECK VALVE II                    |
| 25            | OIL EJECTOR I                     |
| 27            | JACKING OIL PUMP I (MEKANIK)      |
| 28            | GATE VALVE ( AA001)               |
| 29            | SUCTION STRAINER (AA005)          |
| 30            | GATE VALVE (AA002)                |
| 31            | SUCTION STRAINER (AA006)          |
| 32            | FOP (MEKANIK)                     |
| 33            | FOP(ELECTRIC)                     |
| 34            | CATRIDE FILTER                    |
| 35            | WATER SEPARATOR                   |
| 36            | BAG FILTER                        |
| 37            | DIRTY OIL TANK                    |
| 38            | OIL CIRCULATING PUMP (MEKANIK)    |
| 39            | OL CIRCULATING PUMP ( ELECTRIK)   |
| 40            | RELIEF VALVE (AA0A5)              |
| 41            | CATRIDE FILTER                    |
| 42            | WATER SEPARATOR                   |
| 43            | BAG FILTER                        |
| 44            | CLEAN OIL TANK                    |
| 45            | OIL CIRCULATING PUMP (MEKANIK)    |
| 46            | OL CIRCULATING PUMP ( ELECTRIK)   |
| 47            | RELIEF VALVE (AA0A5)              |
| 48            | VAPOUR EXTRACTOR (OIL PURIFIER I) |
| 49            | GLOBE VALVE (AA001)               |
| 50            | GLOBE VALVE (AA002)               |



|    |                              |
|----|------------------------------|
| 51 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK) |
| 52 | GLOBE VALVE (AA002P)         |
| 53 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK) |
| 54 | GLOBE VALVE (AA001P)         |
| 55 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK) |
| 56 | GLOBE VALVE (AA001P)         |
| 57 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)    |
| 58 | GLOBE VALVE (AA002P)         |
| 59 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)    |
| 60 | GLOBE VALVE (AA003P)         |
| 61 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)    |
| 62 | GLOBE VALVE (AA004P)         |
| 63 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)    |
| 64 | GLOBE VALVE (AA005P)         |
| 65 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)    |
| 66 | GLOBE VALVE (AA006P)         |
| 67 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK) |
| 68 | GLOBE VALVE (AA011P)         |
| 69 | GLOBE VALVE (AA014)          |
| 70 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)    |
| 71 | GLOBE VALVE (AA012P)         |
| 72 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK) |
| 73 | GLOBE VALVE (AA009P)         |
| 74 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)    |
| 75 | GLOBE VALVE (AA010)          |
| 76 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK) |
| 77 | GLOBE VALVE (AA007P)         |
| 78 | GLOBE VALVE (AA012)          |
| 79 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)    |
| 80 | GLOBE VALVE (AA008P)         |
| 81 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK) |
| 82 | GLOBE VALVE (AA013P)         |
| 83 | GLOBE VALVE (AA004)          |
| 84 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)    |
| 85 | GLOBE VALVE (AA014P)         |
| 86 | DIRTY OIL TANK               |
| 87 | GATE VALVE (AA001)           |
| 88 | OIL TRANSFER PUMP (ELECTRIK) |
| 89 | OIL TRANSFER PUMP (MEKANIK)  |
| 90 | GATE VALVE (AA002)           |
| 91 | GATE VALVE ( AA001)          |
| 92 | STRAINER                     |
| 93 | GATE VALVE (AA006)           |
| 94 | CHECK VALVE (AA001)          |
| 95 | GATE VALVE (AA002)           |
| 96 | GATE VALVE (AA003)           |
| 97 | GATE VALVE (AA001)           |
| 98 | GATE VALVE (AA002)           |



|     |                                           |
|-----|-------------------------------------------|
| 99  | OIL SUPPLY PUMP (ELECTRIK)                |
| 100 | OIL SUPPLY PUMP (MEKANIK)                 |
| 101 | GLOBE VALVE (AA005)                       |
| 102 | STRAINER (AT001)                          |
| 103 | GATE VALVE (AA001)                        |
| 104 | CHECK VALVE (AA003)                       |
| 105 | CHECK VALVE (AA006)                       |
| 106 | VAPOUR EXTRACTOR (OIL PURIFIER II)        |
| 107 | AUTOMATIC CONTROL (ELECTRICAL PROTECTIVE) |
| 108 | AUTOMATIC CONTROL (INSTRUMEN PANEL)       |
| 109 | GLOBE VALVE (AA005)                       |
| 110 | GLOBE VALVE (MOTOR)                       |
| 111 | GLOBE VALVE (AA006)                       |
| 112 | GLOBE VALVE (L.P. STOP VALVE)             |
| 113 | GLOBE VALVE (H.P. CONTROL VALVE (2))      |
| 114 | GLOBE VALVE (L.P. CONTROL VALVE (2))      |
| 115 | GLOBE VALVE (H.P. STOP VALVE)             |
| 116 | AIR FILTER (OIL PURIFIER I)               |
| 117 | AIR FILTER (OIL PURIFIER II)              |

Analisa secara qualitative dengan FTA ( *Fault Tree Analysis*) menghasilkan 134 komponen yang menyebabkan kesalahan pada Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT, PLN PJB II PLTGU Sektor Gresik, yaitu pada kolom minimal cut set.

#### V.4. EVALUASI KEHANDALAN SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT. PLN PJB II SEKTOR GRESIK SECARA QUANTITATIVE DENGAN FTA

Evaluasi kehandalan secara quantitative ini akan menghasilkan peluang kegagalan dari sistem. Nilai keandalan, MTTF sistem dapat dihitung dari nilai peluang kegagalan sistem tersebut. Komponen yang memiliki *failure rate* (laju kegagalan ) paling rendah pada tabel minimal cut set dianalisa apakah komponen tersebut termasuk komponen yang kritis atau tidak dengan membandingkan hasil evaluasi qualitative dengan FMEA .

TABEL 5.4.MIN CUT SET DAN PROBABILITAS DARI SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP  
PT PLN PJB II PLTGU SEKTOR GRESIK

| MIN CUTSET<br>KOMPONEN | NAMA/BAGIAN KOMPONEN            | FAILURE RATE |          |   |   | FAILURE RATE<br>TOTAL |
|------------------------|---------------------------------|--------------|----------|---|---|-----------------------|
|                        |                                 | 1            | 2        | 3 | 4 |                       |
| 1,2                    | LUBRICATING OIL COOLER I,II     | 1.94E-07     | 1.94E-07 |   |   | 1.94E-07              |
| 5                      | LP CONTROL VALVE                | 6.31E-10     |          |   |   | 6.31E-10              |
| 6                      | HP CONTROL VALVE                | 6.31E-10     |          |   |   | 6.31E-10              |
| 7                      | HP STOP VALVE                   | 6.31E-10     |          |   |   | 6.31E-10              |
| 8                      | LP STOP VALVE                   | 6.31E-10     |          |   |   | 6.31E-10              |
| 9                      | HP CONTROL VALVE E/H CONVERTER  | 6.31E-10     |          |   |   | 6.31E-10              |
| 10                     | LP CONTROL VALVE E/H CONVERTER  | 6.31E-10     |          |   |   | 6.31E-10              |
| 11                     | MINYAK                          | 1.63E-05     |          |   |   | 1.63E-05              |
| 12                     | MOT LEAKAGE                     | 1.62E-06     |          |   |   | 1.62E-06              |
| 13                     | MEKANIK (MOP)                   | 3.41E-06     |          |   |   | 3.41E-06              |
| 14                     | ELECTRIK (MOP)                  | 2.97E-07     |          |   |   | 2.97E-07              |
| 15                     | SUCTION VALVE                   | 2.15E-07     |          |   |   | 2.15E-07              |
| 17                     | AOP (MEKANIK)                   | 1.74E-06     |          |   |   | 1.74E-06              |
| 18                     | AOP(ELEKTRIK)                   | 2.97E-07     |          |   |   | 2.97E-07              |
| 25                     | OIL EJECTOR I                   | 4.64E-10     |          |   |   | 4.64E-10              |
| 32                     | FOP (MEKANIK)                   | 1.74E-06     |          |   |   | 1.74E-06              |
| 33                     | FOP(ELECTRIC)                   | 2.97E-07     |          |   |   | 2.97E-07              |
| 34                     | CATRIDE FILTER                  | 3.23E-06     |          |   |   | 3.23E-06              |
| 35                     | WATER SEPARATOR                 | 9.30E-11     |          |   |   | 9.30E-11              |
| 36                     | BAG FILTER                      | 4.60E-06     |          |   |   | 4.60E-06              |
| 37                     | DIRTY OIL TANK                  | 1.62E-06     |          |   |   | 1.62E-06              |
| 38                     | OIL CIRCULATING PUMP (MEKANIK)  | 1.74E-06     |          |   |   | 1.74E-06              |
| 39                     | OL CIRCULATING PUMP ( ELECTRIK) | 2.97E-07     |          |   |   | 2.97E-07              |
| 40                     | RELIEF VALVE (AAOA5)            | 6.31E-10     |          |   |   | 6.31E-10              |
| 41                     | CATRIDE FILTER                  | 3.23E-06     |          |   |   | 3.23E-06              |
| 42                     | WATER SEPARATOR                 | 9.30E-11     |          |   |   | 9.30E-11              |
| 43                     | BAG FILTER                      | 1.03E-08     |          |   |   | 1.03E-08              |
| 44                     | CLEAN OIL TANK                  | 1.62E-06     |          |   |   | 1.62E-06              |
| 45                     | OIL CIRCULATING PUMP (MEKANIK)  | 1.74E-06     |          |   |   | 1.74E-06              |



|    |                                 |          |  |  |  |          |
|----|---------------------------------|----------|--|--|--|----------|
| 46 | OL CIRCULATING PUMP (ELECTRIK)  | 2.97E-07 |  |  |  | 2.97E-07 |
| 47 | RELIEF VALVE (AA0A5)            | 6.31E-10 |  |  |  | 6.31E-10 |
| 48 | VAPOUR EXTRACTOR (OIL PURIFIER) | 3.23E-06 |  |  |  | 3.23E-06 |
| 49 | GLOBE VALVE (AA001)             | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 50 | GLOBE VALVE (AA002)             | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 51 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK)    | 3.74E-06 |  |  |  | 3.74E-06 |
| 52 | GLOBE VALVE (AA002P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 53 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK)    | 3.74E-06 |  |  |  | 3.74E-06 |
| 54 | GLOBE VALVE (AA001P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 55 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK)    | 3.74E-06 |  |  |  | 3.74E-06 |
| 56 | GLOBE VALVE (AA001P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 57 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)       | 9.35E-06 |  |  |  | 9.35E-06 |
| 58 | GLOBE VALVE (AA002P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 67 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK)    | 3.74E-06 |  |  |  | 3.74E-06 |
| 68 | GLOBE VALVE (AA011P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 69 | GLOBE VALVE (AA014)             | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 70 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)       | 9.35E-06 |  |  |  | 9.35E-06 |
| 71 | GLOBE VALVE (AA012P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 72 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK)    | 3.74E-06 |  |  |  | 3.74E-06 |
| 73 | GLOBE VALVE (AA009P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 74 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)       | 9.35E-06 |  |  |  | 9.35E-06 |
| 75 | GLOBE VALVE (AA010)             | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 76 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK)    | 3.74E-06 |  |  |  | 3.74E-06 |
| 77 | GLOBE VALVE (AA007P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 78 | GLOBE VALVE (AA012)             | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 79 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)       | 9.35E-06 |  |  |  | 9.35E-06 |
| 80 | GLOBE VALVE (AA008P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 81 | PRESSURE INDICATOR (MEKANIK)    | 9.35E-06 |  |  |  | 9.35E-06 |
| 82 | GLOBE VALVE (AA013P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 83 | GLOBE VALVE (AA004)             | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 84 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK)       | 9.35E-06 |  |  |  | 9.35E-06 |
| 85 | GLOBE VALVE (AA014P)            | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 86 | DIRTY OIL TANK                  | 1.62E-06 |  |  |  | 1.62E-06 |
| 87 | GATE VALVE (AA001)              | 2.15E-07 |  |  |  | 2.15E-07 |
| 88 | OIL TRANSFER PUMP (ELECTRIK)    | 2.97E-07 |  |  |  | 2.97E-07 |
| 89 | OIL TRANSFER PUMP (MEKANIK)     | 1.74E-06 |  |  |  | 1.74E-06 |



|             |                                                                |          |          |          |          |            |
|-------------|----------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 90          | GATE VALVE (AA002)                                             | 2.15E-07 |          |          |          | 2.15E-07   |
| 91          | GATE VALVE ( AA001)                                            | 2.15E-07 |          |          |          | 2.15E-07   |
| 92          | STRAINER                                                       | 1.00E-07 |          |          |          | 1.00E-07   |
| 93          | GATE VALVE (AA006)                                             | 2.15E-07 |          |          |          | 2.15E-07   |
| 94          | CHECK VALVE (AA001)                                            | 1.70E-06 |          |          |          | 1.70E-06   |
| 95          | GATE VALVE (AA002)                                             | 2.15E-07 |          |          |          | 2.15E-07   |
| 96          | GATE VALVE (AA003)                                             | 2.15E-07 |          |          |          | 2.15E-07   |
| 97          | GATE VALVE (AA001)                                             | 2.15E-07 |          |          |          | 2.15E-07   |
| 98          | GATE VALVE (AA002)                                             | 2.15E-07 |          |          |          | 2.15E-07   |
| 99          | OIL SUPPLY PUMP (ELECTRIK)                                     | 2.97E-07 |          |          |          | 2.97E-07   |
| 100         | OIL SUPPLY PUMP (MEKANIK)                                      | 1.74E-06 |          |          |          | 1.74E-06   |
| 101         | GLOBE VALVE (AA005)                                            | 2.15E-07 |          |          |          | 2.15E-07   |
| 102         | STRAINER (AT001)                                               | 1.00E-07 |          |          |          | 1.00E-07   |
| 103         | GATE VALVE (AA001)                                             | 2.15E-07 |          |          |          | 2.15E-07   |
| 104         | CHECK VALVE (AA003)                                            | 1.70E-06 |          |          |          | 1.70E-06   |
| 105         | CHECK VALVE (AA006)                                            | 1.70E-06 |          |          |          | 1.70E-06   |
| 106         | VAPOUR EXTRACTOR (OIL PURIFIER)                                | 3.23E-06 |          |          |          | 3.23E-06   |
| 21,22       | STRAINER(AA006),STRAINER(AA005)                                | 4.60E-06 | 4.60E-06 |          |          | 2.12E-11   |
| 23,24       | CHECK VALVE I,II                                               | 1.70E-06 | 1.70E-06 |          |          | 2.89E-12   |
| 27,30       | JOP I (MEKANIK),GATE VALVE(AA002)                              | 1.74E-06 | 2.15E-07 |          |          | 3.74E-13   |
| 27,31       | JOP I (MEKANIK),STRAINER(AA002)                                | 1.74E-06 | 1.00E-07 |          |          | 1.74E-13   |
| 28,30       | GATE VALVE(AA001),GATE VALVE(AA002)                            | 2.15E-07 | 2.15E-07 |          |          | 4.62E-14   |
| 28,31       | GATE VALVE(AA001),STRAINER(AA002)                              | 2.15E-07 | 1.00E-07 |          |          | 2.15E-14   |
| 29,30       | STRAINER(AA005),GATE VALVE(AA002)                              | 1.00E-07 | 2.15E-07 |          |          | 2.15E-14   |
| 29,31       | STRAINER(AA005),STRAINER(AA006)                                | 1.00E-07 | 1.00E-07 |          |          | 1.00E-14   |
| 3,4         | VAPOUR EXTRACTOR I,II                                          | 1.12E-06 | 1.12E-06 |          |          | 1.2544E-12 |
| 59,61,63,65 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK) I,II,III,IV                          | 9.35E-06 | 9.35E-06 | 9.35E-06 | 9.35E-06 | 7.63E-21   |
| 59,61,63,66 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK) I,II,III,GLOBE VALVE                 | 9.35E-06 | 9.35E-06 | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 1.76E-22   |
| 59,61,64,65 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK) I,II,GLOBE VALVE, PS III             | 9.35E-06 | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 1.76E-22   |
| 59,61,64,66 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK) I,II,GLOBE VALVE I,II                | 9.35E-06 | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 4.04E-24   |
| 59,62,63,65 | PRESSURE SWITCH I (MEKANIK) ,GLOBE VALVE I,PS II, III          | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 9.35E-06 | 1.76E-22   |
| 59,62,63,66 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK) ,GLOBE VALVE I,PS II, GLOBE VALVE II | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 4.04E-24   |
| 59,62,64,65 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK) ,GLOBE VALVE I,II,PS II              | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 4.04E-24   |
| 59,62,64,66 | PRESSURE SWITCH (MEKANIK) ,GLOBE VALVE I,II,III                | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 9.29E-26   |
| 60,61,63,65 | GLOBE VALVE I,PRESSURE SWITCH I,GLOBE VALVE II, PS II          | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 9.29E-26   |
| 60,61,63,66 | GLOBE VALVE I,PRESSURE SWITCH I,II, GLOBE VALVE II             | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 9.29E-26   |
| 60,61,64,65 | GLOBE VALVE I,PRESSURE SWITCH I,GLOBE VALVE II, PS II          | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 4.04E-24   |

|                 |                                                             |          |          |          |          |          |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 60,61,64,66     | GLOBE VALVE I,PRESSURE SWITCH I,GLOBE VALVE II, PS II       | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 9.29E-26 |
| 60,62,63,65     | GLOBE VALVE I,II,PRESSURE SWITCH I,II                       | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 9.29E-26 |
| 60,62,63,66     | GLOBE VALVE I,II,PRESSURE SWITCH,GLOBE VALVE III            | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 2.15E-07 | 9.29E-26 |
| 60,62,64,65     | GLOBE VALVE I,II,III,PRESSURE SWITCH                        | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 9.35E-06 | 9.29E-26 |
| 60,62,64,66     | GLOBE VALVE I,II,III,IV                                     | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.14E-27 |
| 107             | AUTOMATIC CONTROL                                           | 1.00E-05 |          |          |          | 1.00E-05 |
| 108             | AUTOMATIC CONTROL                                           | 1.00E-05 |          |          |          | 1.00E-05 |
| 109,110,111     | GLOBE VALVE (AA005),GLOBE VALVE (AA006),GLOBE VALVE (MOTOR) | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.14E-27 |
| 112,113,114,115 | GLOBE VALVE I,II,III,IV                                     | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.15E-07 | 2.14E-27 |
| 116             | AIR FILTER                                                  | 1.03E-08 |          |          |          | 1.03E-08 |
| 117             | AIR FILTER                                                  | 1.03E-08 |          |          |          | 1.03E-08 |

NILAI PROBABILITAS KEGAGALAN SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP PT PLN PJB II GRESIK

1.66E-04



Tabel 5.4, terlihat bahwa Automatic control untuk *Instrument panel between turbine and Generator*, Automatic control untuk *Electrical Protective device panel* dan minyak yang menguap mempunyai failure rate yang paling besar. Pada Tabel. FMEA kehabisan minyak (MOT ) ternyata memiliki *severity level* ( tingkat resiko) yang tinggi, untuk itu kapasitas minyak pada *main oil tank* (tangi minyak utama) harus selalu diperiksa.

Probabilitas kegagalan Sitem pelumasan dan Kontrol turbin uap adalah  $1.66 \times 10^{-4}$  artinya pada waktu (t) 6020 jam sistem tersebut terjadi kesalahan. Kesalahan yang paling mungkin terjadi pada komponen Automatic Control pada *Instrument Between Turbin and Generator* , Automatic Control untuk *Electrical Protective Device Panel* dan kapasitas minyak pada *main oil tank* (tangi minyak utama) berkurang.



## **BAB VI**

### **SISTEM PERAWATAN BERBASIS KEHANDALAN**

## BAB VI

### SISTEM PERAWATAN BERBASIS KEANDALAN

#### VI.1. Umum

Sistem perawatan dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu bersifat *corrective maintenance* dan *preventif maintenance* (Roy Billinton and Ronald N. Allan). *Corrective maintenance* dapat diartikan sistem perawatan yang dilaksanakan berdasarkan waktu kerusakan (MTTF) dari suatu komponen, ketika salah satu komponen mengalami kerusakan sebelum jadwal *maintenance* (perawatan) maka langsung dilakukan perawatan atau perbaikan. *Preventive maintenance* dapat diartikan sistem perawatan yang harus dilakukan pada t (waktu) tertentu untuk menjaga kondisi *performance* (kinerja) dan kehandalan sistem supaya tetap konstan. *Preventive maintenance* dapat meliputi *cleaning*, *adjusting*, *lubricating* dan sebagainya. Agar dapat mengoptimalkan *preventive replacement* harus mengetahui beberapa hal diantaranya adalah (Patrick D. T.O' Connor) :

- Waktu kegagalan berdasarkan parameter distribusi untuk bentuk kegagalan utama
- Efek semua bentuk kegagalan sistem
- Biaya kegagalan
- Biaya penjadualan *maintenance* (perawatan)

## VI.2. PENGAMBILAN LANGKAH SISTEM PERAWATAN BERDASARKAN MTTF, MTTR, AVAILABILITY DAN UNAVAILABILITY

Perawatan berbasis kehandalan dari sistem ini hanya berdasarkan nilai MTTF dari tiap-tiap komponen yang terdapat pada Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT PLN PJB II PLTGU Sektor Gresik. Waktu rata-rata kerusakan ini didapatkan dari laju kegagalan (failure rate) dari komponen. Nilai MTTF ini dijadikan sebagai landasan atau dasar untuk menentukan pada saat kapan komponen akan mengalami kerusakan. Nilai MTTF yang diambil berdasarkan data primer komponen Sistem Pelumasan dan Kontrol turbin Uap.

### VI.2.1. PENGHITUNGAN MTTF KOMPONEN SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP

Kalkulasi MTTF (*mean Time to failure*) dapat diformulasikan berdasarkan distribusi yang dipakai, yaitu distribusi Weibull. Penghitungan MTTF hanya terbatas pada komponen yang rusak serta sistem pelumasan dan kontrol turbin uap. Perhitungan MTTF dari komponen tersebut adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{MTTF}_V &= \alpha \times \Gamma \times (1/\beta + 1) \\ &= 19879,1 \times \Gamma \times \left[ \frac{1}{2,7103} + 1 \right] \end{aligned}$$



$$= 19879.1 \times 0.89$$

$$= 17692.4 \text{ hrs} \approx 17692 \text{ hrs}$$

$$MTTF_M = \alpha \times \Gamma \times (1/\beta + 1)$$

$$= 10444.7 \times \Gamma \times \left[ \frac{1}{1.66123} + 1 \right]$$

$$= 19879.1 \times 0.893515$$

$$= 9332.496 \text{ hrs} \approx 9332 \text{ hrs}$$

$$MTTF_C = \alpha \times \Gamma \times (1/\beta + 1)$$

$$= 17680.4 \times \Gamma \times \left[ \frac{1}{1.89425} + 1 \right]$$

$$= 19879.1 \times 0.888$$

$$= 15700.19 \text{ hrs} \approx 15700 \text{ hrs}$$

Nila MTTFs ( MTTF sistem pelumasan dan Kontrol Turbin Uap dihitung dengan menggunakan FTA) adalah 6020 jam , artinya pada 6020 jam terjadi kesalahan pada Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap. Alokasi maintenace berdasarkan probabilitas kegagalan komponen yang paling besar.

dimana :

$\alpha$  = scale parameter

$\beta$  = shape parameter

$MTTF_V$  = Waktu rata-rata kegagalan Vapour Extractor (Oil Purifier)

$MTTF_M$  = Waktu rata-rata kegagalan level minyak pada Main Oil Tank

$MTTF_C$  = Waktu rata-rata kegagalan Catridge Filter (Oil Purifier)

$MTTF_V$  bernilai 17692 hrs mempunyai arti bahwa pada waktu 17692 jam operasi komponen vapour extractor mengalami kegagalan atau rusak.

$MTTF_M$  bernilai 9332 hrs mempunyai arti bahwa level atau isi dari minyak pada main oil tank berkurang pada 9332 jam operasi yang akan mengakibatkan sistem pelumasan dan kontrol turbin uap pada PT PLN PJB II akan mengalami kerusakan apabila tidak diisi kembali.

$MTTF_c$  bernilai 15700 hrs mempunyai arti bahwa catride filter akan mengalami kerusakan pada 15700 jam operasi dan akan berakibat minyak cepat kotor. Minyak kotor ini akan memberikan akibat cepat ausnya bantalan dan poros pada turbin uap atau generator. Pengambilan langkah untuk perawatan selain mempertimbangkan MTTF dari komponen juga perlu mempertimbangkan *Availability* ( peluang ketersediaan komponen ), *unavailability* ( peluang ketidaktersediaan suatu komponen ) dan MTTR ( waktu rata-rata perbaikan)

#### VI.2.1. PENGHITUNGAN AVAILABILITY , UNAVAILABILITY DAN MTTR KOMPONEN SISTEM PELUMASAN DAN KONTROL TURBIN UAP

Penghitungan *availability* dan *unavailability* suatu komponen tergantung pada nilai MTTF dan MTTR dari komponen. Tabel 6.1. memperlihatkan nilai MTTF , MTTR komponen yang rusak pada Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap.

Tabel 6.1. Tabel Nilai MTTF dan MTTR Komponen Sistem Pelumasan dan Kontrol Turbin Uap PT PLN PJB II Gresik

| Komponen                         | MTTF  | MTTR (2 Crew ) | KETERANGAN                                                                              |
|----------------------------------|-------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Vapour Extractor                 | 17692 | 2161           | Waktu untuk menunggu komponen ada $\pm$ 3 bulan (2160 jam) dan waktu memperbaiki 1 jam. |
| Catride Filter                   | 15700 | 8              |                                                                                         |
| Volume Minyak pada Main Oil Tank | 9332  | 0.5            |                                                                                         |

Perhitungan *Availability* dan *Unavailability* dari komponen tersebut adalah sebagai berikut :

$$A_v = \frac{17692}{17692 + 2161} = 0.879192963$$

$$U_{Av} = 1 - 0.879192963 = 0.120807036$$

$$A_c = \frac{15700}{15700 + 8} = 0.999490705$$

$$U_{Ac} = 1 - 0.999490705 = 5.09295 \times 10^{-4}$$

$$A_m = \frac{9332}{9332 + 0.5} = 0.999946423$$

$$U_{Am} = 1 - 0.999946423 = 5.3576213 \times 10^{-5}$$



Dimana :

$A_v$  = Peluang ketersediaan komponen Vapour Extractor ( oil purifier system)

$U_{Av}$  = Peluang tidak tersedianya komponen Vapour Extractor (oil purifier system)

$A_c$  = Peluang ketersediaan komponen Catridge Filter

$U_{Av}$  = Peluang tidak tersedianya komponen Catridge Filter

$A_m$  = Peluang ketersediaan minyak untuk main oil tank

$U_{Av}$  = Peluang tidak tersedianya minyak untuk main oil tank

Berdasarkan nilai availability dan unavailability dapat disimpulkan bahwa vapour extractor yang mempunyai nilai peluang tidak ketersediaan paling besar, yaitu 0.120807036, artinya komponen ini mempunyai nilai peluang ketidaktersediaan ( unavailable) 2137 jam keika terjadi kerusakan komponen (pada  $t = 17692$  jam) , sehingga perlu waktu penyediaan komponen yang lebih cepat untuk memperkecil nilai peluang ketidatersediaan ( unavalabiity).

## **BAB VII**

### **ANALISA EKONOMI PERAWATAN BERBASIS KEHANDALAN**

## BAB VII

### ANALISA EKONOMI PERAWATAN BERBASIS KEHANDALAN

#### VI.1. Umum

Strategi *Preventive Maintenance* (Perawatan yang bersifat pencegahan) berpengaruh besar terhadap besar biaya dari maintenance komponen atau sistem. Pengambilan keputusan maintenance yang berbasis kehandalan dipengaruhi oleh bentuk grafik *hazart rate* (laju kerusakan) komponen. Jika satu komponen memiliki nilai *hazart rate* yang selalu turun dengan fungsi waktu ( *Patrick .D.T. O'Connor*), *replacement* (penggantian) dari komponen akan menaikkan peluang kegagalan. Apabila suatu komponen memiliki memiliki bentuk kurva *hazart rate* yang konstan *replacement schedule* atau *maintenance* (perawatan) tidak akan mempunyai pengaruh pada peluang kegagalan. Jenis komponen yang mempunyai *hazart rate* yang cenderung naik (*wear out*) penjadualan perawatan akan menurunkan peluang kegagalan.( *Patrick. D.T. O'Connor*)

#### VI.2. STRATEGI MAINTENANCE

Berdasarkan teori kehandalan dalam mengadakan keputusan untuk penjadualan perawatan yang perlu dipertimbangkan adalah :

- Waktu kegagalan suatu komponen
- Efek semua bentuk kegagalan komponen



- Biaya memperbaiki komponen bila terjadi kegagalan.
- Biaya penjadualan maintenance.

### VII.2.1. Analisa Biaya Perawatan

Analisa biaya maintenance terhadap suatu sistem komponen dapat dibuat model, hal-hal yang mempengaruhi diantaranya adalah :

- $C_p$ , biaya *preventive replacement* (pencegahan penggantian komponen)
- $C_f$ , biaya *failure replacement* (penggantian kompone karena kegagalan)
- $F(t)$ , fungsi padat peluang terhadap waktu kegagalan komponen

Total biaya replacement padat waktu ( $t$ ) tertentu dapat diformulasikan sebagai berikut :

$C(tp)$  = Total replacement cost yang diharapkan / panjang waktu operasi  
 = Cost preventive dalam jangka waktu tertentu

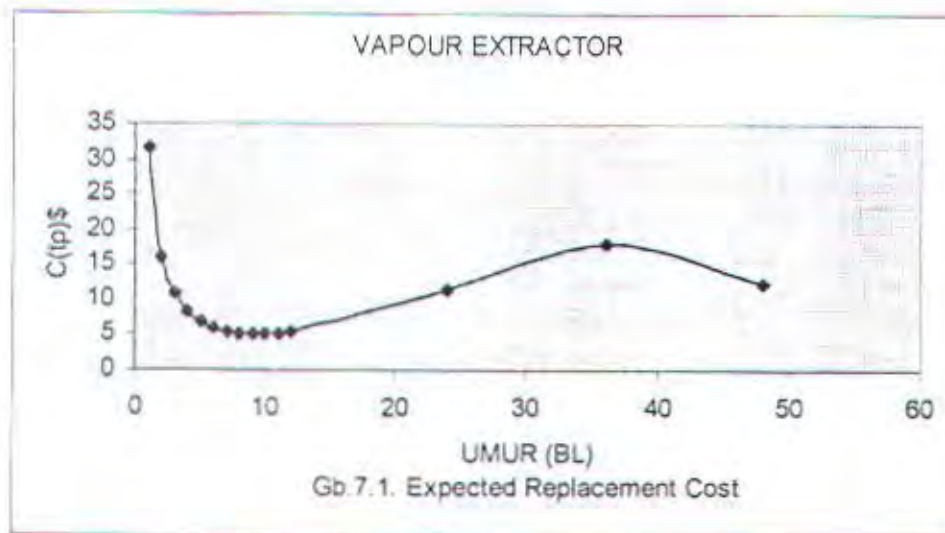
$$C(tp) = C_p \cdot R(tp) + C_f(1-R(tp)) / ((tp \times R(tp) + \int_0^{tp} t f(t) dt)$$

Tabel .7.1. Tabel Biaya Preventive dan Kegagalan Komponen

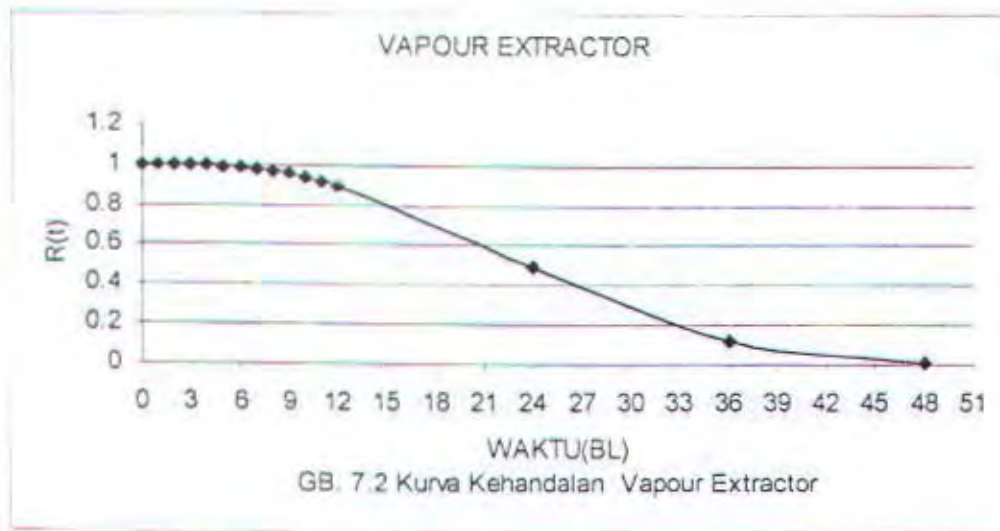
| KOMPONEN/SISTEM                    | $C_p$ ( 1 th) | $C_f$  |
|------------------------------------|---------------|--------|
| VAPOUR EXTRACTOR<br>(Oil Purifier) | 31.5456 \$    | 322 \$ |
| CATRIDE FILTER                     | 31.5456 \$    | 240 \$ |

Tabel 7.2. Biaya Pencegahan dan kegagalan Vapour Extractor

| WAKTU (BL) | $C_p$   | $C_f$ | $C$         | $tf(t)$     | $C(tp)$     |
|------------|---------|-------|-------------|-------------|-------------|
| 0          | 0       | 0     | 0           | 0           |             |
| 1          | 31.5456 | 322   | 31.58168566 | 0.000683712 | 31.56402642 |
| 2          | 31.5456 | 322   | 31.78168404 | 0.004474606 | 15.86823782 |
| 3          | 31.5456 | 322   | 32.25350269 | 0.013428113 | 10.72929254 |
| 4          | 31.5456 | 322   | 33.08719298 | 0.029284407 | 8.255175785 |
| 5          | 31.5456 | 322   | 34.3618163  | 0.053615658 | 6.865310984 |
| 6          | 31.5456 | 322   | 36.1473359  | 0.08788132  | 6.031772054 |
| 7          | 31.5456 | 322   | 38.50505356 | 0.133457338 | 5.527781744 |
| 8          | 31.5456 | 322   | 41.48741181 | 0.191654063 | 5.239747694 |
| 9          | 31.5456 | 322   | 45.13748632 | 0.263728286 | 5.104565872 |
| 10         | 31.5456 | 322   | 49.48833896 | 0.350891816 | 5.084516964 |
| 11         | 31.5456 | 322   | 54.56234098 | 0.454317884 | 5.155837026 |
| 12         | 31.5456 | 322   | 61.41008532 | 0.59705433  | 5.404287508 |
| 24         | 31.5456 | 322   | 179.2108693 | 3.907468178 | 11.41033526 |
| 36         | 31.5456 | 322   | 287.5147304 | 11.72615389 | 17.96923644 |
| 48         | 31.5456 | 322   | 319.2148869 | 25.57272728 | 12.26193698 |

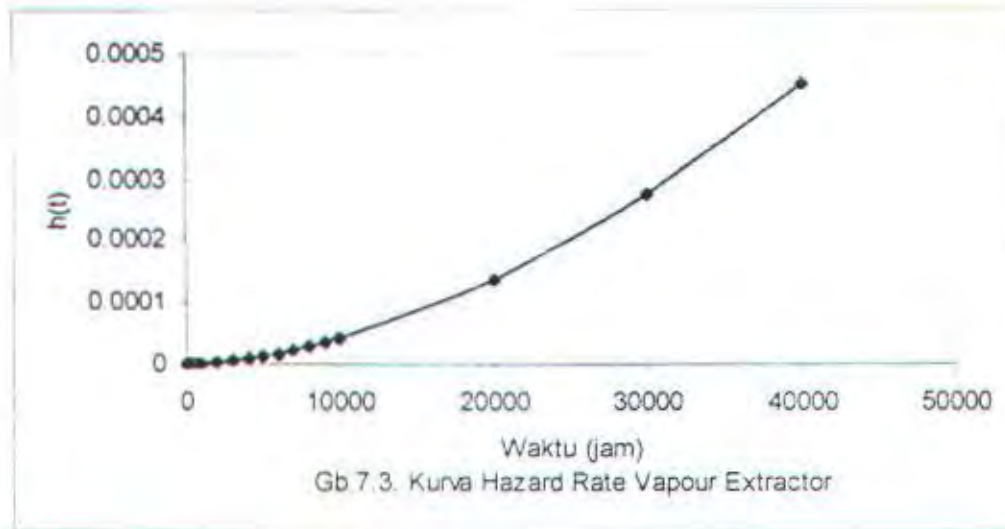


Gambar 7.1. memperlihatkan biaya replacement komponen yang paling minimum dilakukan ketika pada bulan 10. Pengambilan keputusan untuk mengadakan *maintenance* (perawatan) bukan hanya dilihat pada biaya yang paling rendah tetapi juga kondisi komponen tersebut. Kondisi komponen tersebut pada 10 bulan masih dalam kondisi bagus ( nilai keandalan 98 %) , hal ini dapat dilihat pada kurva kehandalan komponen.



Gambar 7.2. memperlihatkan bahwa komponen tidak pernah mengalami kerusakan pada  $t = 6$  bulan ( nilai keandalan adalah 1 ) , pada  $t = 10$  bulan ( kondisi *expected replacement* paling minimum) nilai keandalan komponen adalah 93 % . Pada  $t = 24$  bulan nilai keandalan komponen adalah 50 % kemungkinan komponen mengalami kerusakan adalah besar karena nilai MTTF komponen ini adalah 15700 jam ( kurang lebih 2 tahun). Nilai keandalan komponen akan turun sampai pada  $t = 48$  bulan (4 th) nilai keandalan komponen adalah 0.

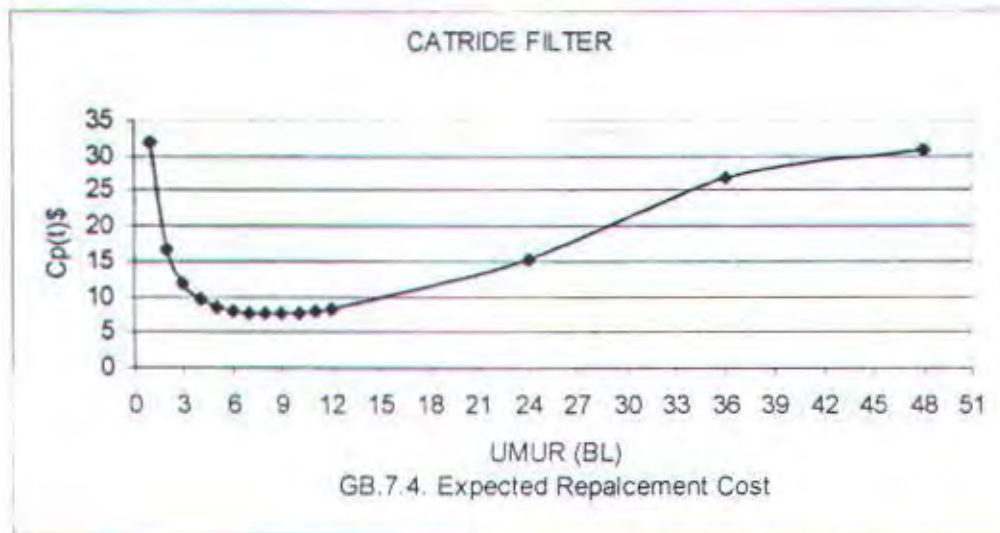




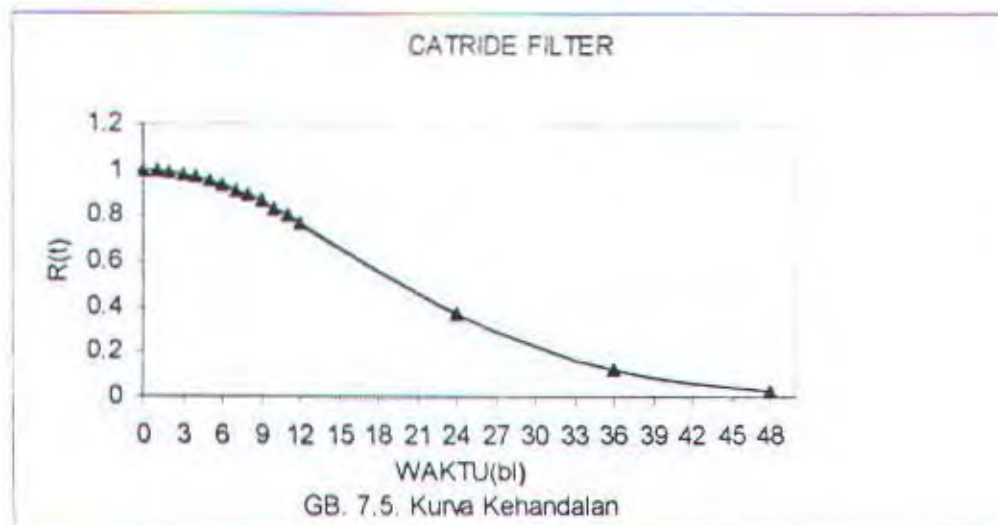
Gambar 7.3. menunjukkan bahwa kurva hazard rate makin lama makin besar sebanding dengan lama waktu ( wear out type). Vapour extractor mulai menunjukkan bahawa urutan kegagalan sudah mulai pada  $t=0$ . Penjadualan *preventive maintenace* yang baik akan mengurangi peluang kegagalan komponen.

Tabel 7.2. Biaya Pencegahan dan kegagalan Catride Filter.

| WAKTU (BL) | Cp (\$) | Cf (\$) | C           | tf(t)       | C(tp) (\$)  |
|------------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|
| 0          | 0       | 0       | 0           | 0           |             |
| 1          | 31.5456 | 240     | 32.02968026 | 0.004078881 | 31.97351415 |
| 2          | 31.5456 | 240     | 33.33939525 | 0.01516237  | 16.68678542 |
| 3          | 31.5456 | 240     | 35.39302387 | 0.032683454 | 11.8875735  |
| 4          | 31.5456 | 240     | 38.13607582 | 0.056362876 | 9.704084908 |
| 5          | 31.5456 | 240     | 41.51900576 | 0.086013167 | 8.566288605 |
| 6          | 31.5456 | 240     | 45.49271304 | 0.121493771 | 7.953201708 |
| 7          | 31.5456 | 240     | 50.00713513 | 0.162692663 | 7.643142515 |
| 8          | 31.5456 | 240     | 55.01089056 | 0.209516975 | 7.526486895 |
| 9          | 31.5456 | 240     | 60.45137767 | 0.261887567 | 7.5433315   |
| 10         | 31.5456 | 240     | 66.27509758 | 0.319735609 | 7.658595774 |
| 11         | 31.5456 | 240     | 72.42809231 | 0.383000288 | 7.850723429 |
| 12         | 31.5456 | 240     | 79.9508388  | 0.463582815 | 8.261893156 |
| 24         | 31.5456 | 240     | 161.9408322 | 1.723270279 | 15.11987116 |
| 36         | 31.5456 | 240     | 214.9114664 | 3.71461891  | 26.70570315 |
| 48         | 31.5456 | 240     | 234.5891651 | 6.405889857 | 30.65794776 |

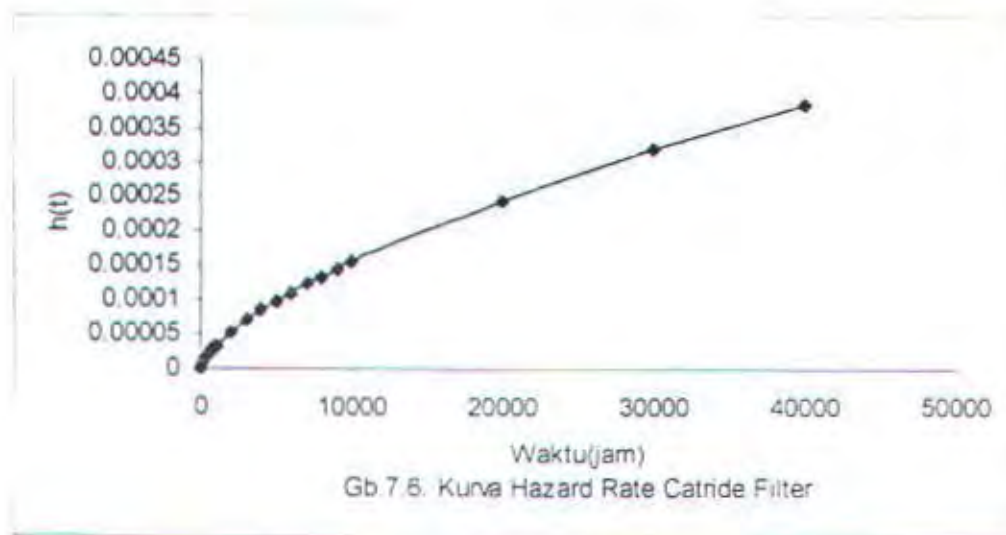


Gambar 7.4. memperlihatkan biaya replacement komponen yang paling minimum dilakukan ketika pada bulan 8. Pengambilan keputusan untuk mengadakan maintenance bukan hanya dilihat pada biaya yang paling rendah tetapi juga kondisi komponen tersebut. Kondisi komponen tersebut pada t 8 bulan masih dalam kondisi bagus ( nilai keandalan 88 % ) , hal ini dapat dilihat pada kurva kehandalan komponen (gambar 7.5.).



Gambar 7.5. memperlihatkan bahwa komponen tidak pernah mengalami kerusakan pada  $t = 0$  bulan ( nilai keandalan adalah 1) , pada  $t$  6 bulan ( kondisi expected replacement paling minimum) nilai kehandalan komponen adalah 88 % . Pada  $t$  24 bulan nilai kehandalan komponen adalah 50 % kemungkinan komponen mengalami kerusakan adalah besar karena nilai MTTF komponen ini adalah 17692 jam ( kurang lebih 2 tahun).

Gambar 7.6. menunjukkan bahwa kurva hazard rate makin lama makin besar sebanding dengan lama waktu ( wear out type). Vapour extractor mulai menunjukkan bahawa urutan kegagalan sudah mulai pada  $t = 0$ . Penjadualan *preventive maintenance* yang baik akan mengurangi peluang kegagalan komponen.





## **BAB VIII**

### **KESIMPULAN**

## BAB VIII

### KESIMPULAN

Dari evaluasi reliability Sistem Pelumasan dan Kontrol turbin Uap PT PLN PJB II Sektor Gresik dengan menggunakan penilaian *qualitative dan quantitative* dapat dibuat beberapa kesimpulan yaitu :

- ❑ Berdasarkan evaluasi secara *qualitative* dengan FME ( C ) A yang perlu mendapatkan perhatian secara khusus adalah komponen yang memiliki severity ranking paling besar (Catastropic) , yaitu Main Lube Oil Pump , Auxiliary Oil Pump.
- ❑ Evaluasi secara *qualitative dan quantitative* dengan FTA memberikan input komponen-komponen pada sistem pelumasan dan Kontrol Turbin Uap yang dapat menimbulkan kesalahan. Komponen-komponen yang dapat menimbulkan kesalahan berjumlah 134 komponen dan yang perlu mendapat perhatian khusus adalah Automatic control untuk *Instrument panel between turbin and generator*, Automatic control untuk *electrical prorectice device panel*, dan kapasitas minyak pada Main oil tank. Probabilitas kegagalan sistem ini adalah  $1,66 \times 10^{-4}$  , artinya pada waktu (t) 6020 jam sistem terjadi kesalahan, sehingga perlu adanya inspeksi terhadap sistem pelumasan dan Kontrol Turbin Uap. Alokasi maintenance dilakukan berdasarkan tingkat probailitas kegagalan komponen yang paling besar.

- Kapasitas minyak akan selalu berkurang pada  $t$  (waktu) 9332 jam, sehingga perlu diisi kembali pada waktu ( $t$ ) sebelum terjadi kekurangan kapasitas minyak yang lebih besar karena akan berakibat pada kegagalan pada sistem pelumas atau komponen yang lain
- Catridge filter akan mengalami kerusakan setiap waktu ( $t$ ) 15700 jam sehingga komponen tersebut perlu dilakukan preventive maintenance. Catridge Filter merupakan komponen yang bersifat *consumable* (tidak bisa diperbaiki) untuk itu pada waktu ( $t$ ) 15700 jam komponen ini perlu diganti.
- Vapour extractor (oil Purifier) akan mengalami kerusakan pada waktu ( $t$ ) 17692 jam yang perlu diperhatikan adalah peluang tidak tersedianya (Unavailability) komponen ini ketika terjadi kerusakan relatif besar, yaitu 0,120807036, sehingga penyediaan komponen yang lebih cepat untuk memperkecil nilai peluang ketiadaktersediaan (unavailability). *Preventive Replacement* yang optimal dilakukan ketika pada  $t$  10 bulan dengan biaya 5.08 \$ (1 \$ =15.000) Maintenance untuk vapour extractor dapat dilakukan setiap 10 bulan sekali.



## DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR PUSTAKA

1. Roy Billinton & Ronald N. Allan, *Reliability Evaluation Of Engineering Systems*, Plenum Press, New York and London, 1992
2. Ronald T. Anderson, Lewis Neri, *Reliability Centered Maintenance*, Elsevier Applied Science, London & New York, 1992
3. D.C. Bridges, B.Sc,C.Eng.M.I.Mar.E.,M.I.Mech.E., *The Application of Reliability to the Design Ships' Machinery*, Trans IMarE, Vol 86, 1974
4. Roger D. Leitch, *Reliability Analysis For Engineers*, Oxford University Press, New York, 1995
5. Patrick D.T. O'Connor, *Practical Reliability Engineering Third Edition*, John Willey & Sons Ltd, Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore, 1991
6. A.K.S. Jardine PhD, MSc, MEMechE, MIProdE, *Maintenance, Replacement, and Reliability*, Pitman Publishing
7. H.C. Wilkinson, B.Sc., M.A., C.Eng., M.I.Mar.E. & D.F. Kilborn, B.Sc., *The Design of Ship Machinery Installations, with Particular Reference to Reliability, Maintenance and Cost*, Proceeding of Conference, 1971
8. John B. Woodward, *The Mission Reliability Of Ship Propulsion*, Trans IMarE

9. JD Andrews, BSc, PhD, CEng, MIMechE, FRSS, AFIMA, Optimal safety system design using fault tree analysis, Leicestershire
10. Ketut Buda Artana, Ir,MSc, The Use of Reliability Theory in Selection of Marine Machinery and Maintenance Policies.
11. D. Kiborn, B.Sc, A Introduction to the Use of Reliability Analysis in Ship Engineering System, Wallsend Reseach Atation, Wallsend, Nothumberland, 1970
12. HJH Wassell B.Sc,Reliability of engineeng Products, Oxford University Press



LAMPIRAN





## LEMBAR KEMAJUAN Pengerjaan Tugas Akhir (TN 1701)

Nama : TRINA PIONA  
NRP : 520110000  
Judul Tugas Akhir : ANALISA KAPAL JALAN EVOLUSI  
KONSTRUKSI DAN PERLOMASAN PADA  
KONSTRUKSI TUGAS UAP PE. DAN 1300 PE. 700  
10.700 600.  
Dosen Pembimbing : 1) Ir. Ketut Buda Ariana, MSc  
2) Ir. Rini L. Widiyanti, MSc

| No. | Tanggal | Kegiatan                       | Paraf Dosen |
|-----|---------|--------------------------------|-------------|
| 1   | 7/1/98  | KELOMPOK                       |             |
| 2   | 12/1/98 | BAB I (ANALISA KAPAL JALAN)    |             |
| 3   | 12/5/98 | BAB II (ANALISA KAPAL JALAN)   |             |
| 4   | 15/5/98 | BAB III (ANALISA KAPAL JALAN)  |             |
| 5   | 15/6/98 | BAB IV (ANALISA KAPAL JALAN)   |             |
| 6   | 8/7/98  | BAB V (ANALISA KAPAL JALAN)    |             |
| 7   | 13/7/98 | BAB VI (ANALISA KAPAL JALAN)   |             |
| 8   | 20/7/98 | BAB VII (ANALISA KAPAL JALAN)  |             |
| 9   | 29/7/98 | BAB VIII (ANALISA KAPAL JALAN) |             |
| 10  | 3/8/98  | BAB IX (ANALISA KAPAL JALAN)   |             |
| 11  | 7/8/98  | BAB X (ANALISA KAPAL JALAN)    |             |
| 12  | 10/3/98 | TRANSKRIPSI UNTUK PRESENTASI   |             |
|     |         |                                |             |
|     |         |                                |             |

### Catatan:

1. Mahasiswa siap / tidak siap / dibatalkan \*) untuk diujikan.
2. Catatan lain yang dianggap perlu :

Surabaya, 10 - 8 - 1998  
Dosen Pembimbing,

Ir. Ketut Buda Ariana, MSc  
NIP. 132 125 668



LAMPIRAN : TABEL KOLMOGOROV-SMIRNOV UNTUK SAMPEL TUNGGAL

| Uji satu-sisi                 | p=0.90                  | 0.95                    | 0.975                   | 0.99                    | 0.995                   |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Uji dua-sisi                  | p=0.80                  | 0.90                    | 0.95                    | 0.98                    | 0.99                    |
| n=1                           | .900                    | .950                    | .975                    | .990                    | .995                    |
| 2                             | .684                    | .776                    | .842                    | .900                    | .929                    |
| 3                             | .565                    | .636                    | .708                    | .785                    | .829                    |
| 4                             | .493                    | .565                    | .624                    | .689                    | .734                    |
| 5                             | .447                    | .509                    | .563                    | .627                    | .669                    |
| 6                             | .410                    | .468                    | .519                    | .577                    | .617                    |
| 7                             | .381                    | .436                    | .483                    | .538                    | .576                    |
| 8                             | .358                    | .410                    | .454                    | .507                    | .542                    |
| 9                             | .339                    | .387                    | .430                    | .480                    | .513                    |
| 10                            | .323                    | .369                    | .409                    | .457                    | .489                    |
| 11                            | .308                    | .352                    | .391                    | .437                    | .468                    |
| 12                            | .296                    | .338                    | .375                    | .419                    | .449                    |
| 13                            | .285                    | .325                    | .361                    | .404                    | .432                    |
| 14                            | .275                    | .314                    | .349                    | .390                    | .418                    |
| 15                            | .266                    | .304                    | .338                    | .377                    | .404                    |
| 16                            | .258                    | .295                    | .327                    | .366                    | .392                    |
| 17                            | .250                    | .286                    | .318                    | .355                    | .381                    |
| 18                            | .244                    | .279                    | .309                    | .346                    | .371                    |
| 19                            | .237                    | .271                    | .301                    | .337                    | .361                    |
| 20                            | .232                    | .265                    | .294                    | .329                    | .352                    |
| 21                            | .226                    | .259                    | .287                    | .321                    | .344                    |
| 22                            | .221                    | .253                    | .281                    | .314                    | .337                    |
| 23                            | .216                    | .247                    | .275                    | .307                    | .330                    |
| 24                            | .212                    | .242                    | .269                    | .301                    | .323                    |
| 25                            | .208                    | .238                    | .264                    | .295                    | .317                    |
| 26                            | .204                    | .233                    | .259                    | .290                    | .311                    |
| 27                            | .200                    | .229                    | .254                    | .284                    | .305                    |
| 28                            | .197                    | .225                    | .250                    | .279                    | .300                    |
| 29                            | .193                    | .221                    | .246                    | .275                    | .295                    |
| 30                            | .190                    | .218                    | .242                    | .270                    | .290                    |
| 31                            | .187                    | .214                    | .238                    | .266                    | .285                    |
| 32                            | .184                    | .211                    | .234                    | .262                    | .281                    |
| 33                            | .182                    | .208                    | .231                    | .258                    | .277                    |
| 34                            | .179                    | .205                    | .227                    | .254                    | .273                    |
| 35                            | .177                    | .202                    | .224                    | .251                    | .269                    |
| 36                            | .174                    | .199                    | .221                    | .247                    | .265                    |
| 37                            | .172                    | .196                    | .218                    | .244                    | .262                    |
| 38                            | .170                    | .194                    | .215                    | .241                    | .258                    |
| 39                            | .168                    | .191                    | .213                    | .238                    | .255                    |
| 40                            | .165                    | .189                    | .210                    | .235                    | .252                    |
| Aproksimasi<br>untuk $n > 40$ | $\frac{1.07}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1.22}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1.36}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1.52}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1.63}{\sqrt{n}}$ |

Sumber: L. H. Miller, Table of Percentage Points of Kolmogorov Statistics " J. Amer. Statist. Assoc., 51 (1956), 111-121



#### 4-3 TURBINE VALVES

##### (1) H.P. Stop Valve —

The turbine has two identical H.P. stop valves, which are driven by on-off control of servomotors.

C00-525A shows the arrangement of the H.P. stop valve and its servomotor.

Testing switch for smooth closing of the valve while unit is in operation is provided in the central control room.

##### (2) H.P. Governing Valves

The turbine has two identical H.P. governing valves for speed control at starting, which are controlled by individual hydraulic servomotor.

Assembly of H.P. Governing valve are shown C00-526

The steam valve is a ring sealed plug type valve mounted on the shouldered valve stem. The diameters of upper seat and lower seat of the valve are so designed as to balance the steam pressure force acting on the valve. Thus the valve can be open and closed easily at any pressure.

When in the closed position, as shown, the load of the compression spring acting through the pin and valve stem holds the valve tightly on its seat.



The valve stem packing consists of a closely fitting bushing provided with a suitable leakoff opening which should be connected to a zone of lower pressure as determined by the operating steam conditions.

A shoulder is formed on the valve stem, and it seats on the lower end of the valve stem bushing when the valve is in its fully open position. This arrangement prevents steam leakage along the stem while the unit is in operation with governing valves fully open.

The steam strainer cylindrical in shape fits around the valve. It fits around the body at the top and is clamped at the top between.

Testing switch for smooth closing of the valve while unit is in operation is provided in the central control room.

### (3) L.P. Stop Valve

The turbine has two identical L.P. stop valves, which are driven by on-off control of servomotor.

C00-525B shows the arrangement of the L.P. stop valve and its servomotor.

Testing switch for smooth closing of the valve while unit is in operation is provided in the central control room.





#### (4) L.P. Governing Valves

The turbine has two identical L.P. governing valves, which are controlled by individual hydraulic servomotor. Assembly of L.P. Governing valve are shown C00-526B.

The steam valve is a ring sealed plug type valve mounted on the shouldered valve stem. The diameters of upper seat and lower seat of the valve are so designed as to balance the steam pressure force acting on the valve. Thus the valve can be open and closed easily at any pressure.

When in the closed position, as shown, the load of the compression spring acting through the pin and valve stem holds the valve tightly on its seat.

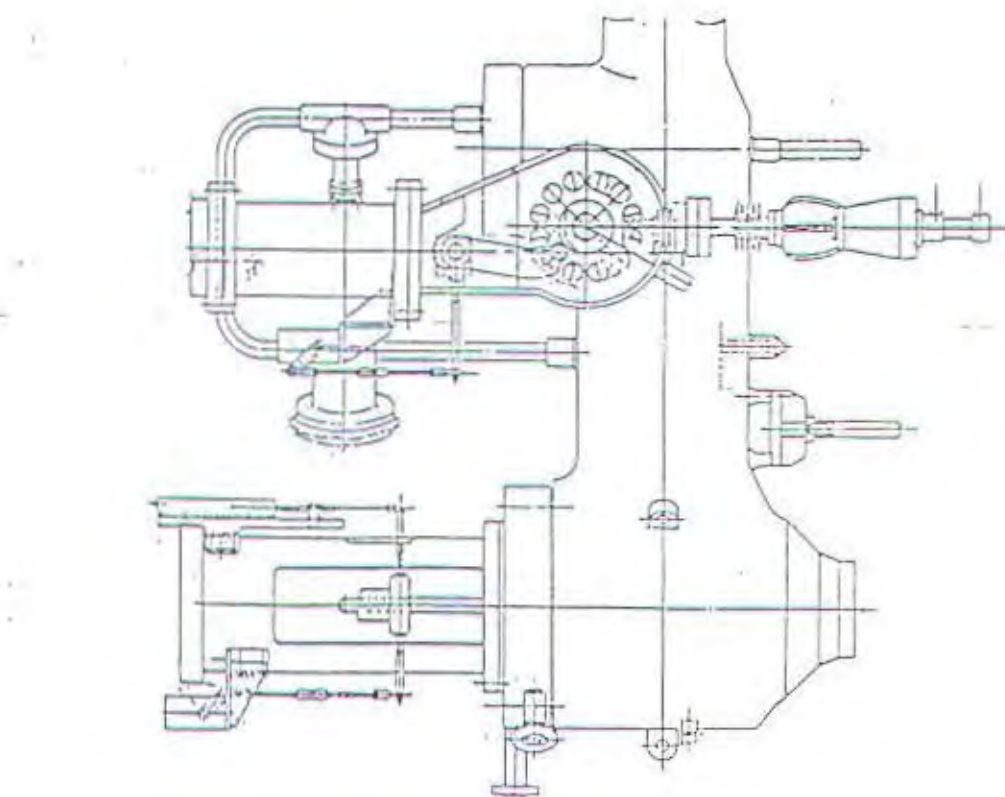
The valve stem packing consists of a closely fitting bushing provided with a suitable leakoff opening which should be connected to a zone of lower pressure as determined by the operating steam conditions.

A shoulder is formed on the valve stem, and it seats on the lower end of the valve stem bushing when the valve is in its fully open position. This arrangement prevent steam leakage along the stem while the unit is in operation with governing valves fully open.

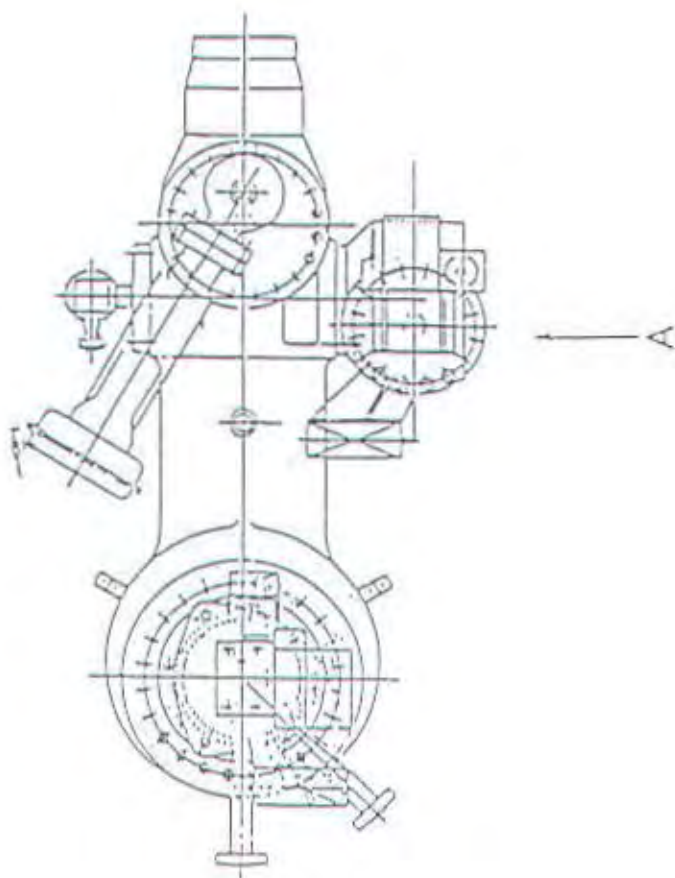


The steam strainer cylindrical in shape fits around the valve. It fits around the body at the top and is clamped at the top between.

Testing switch for smooth closing of the valve while unit is in operation is provided in the central control room.



VIEW A

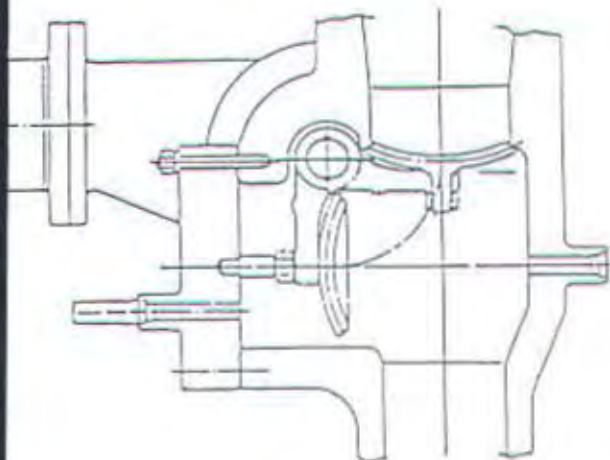


This drawing shows typical design  
of the equipment.  
Detailed design can be changed  
during final design stage.

# HP STOP VALVE ASS'Y & GOVERNING VALVE OUTLINE

DWG. NO.  
C00-524A

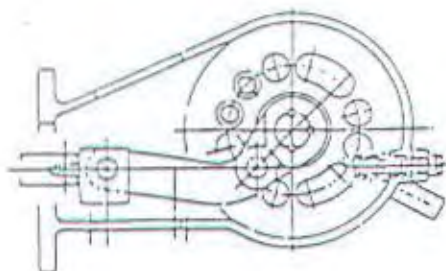
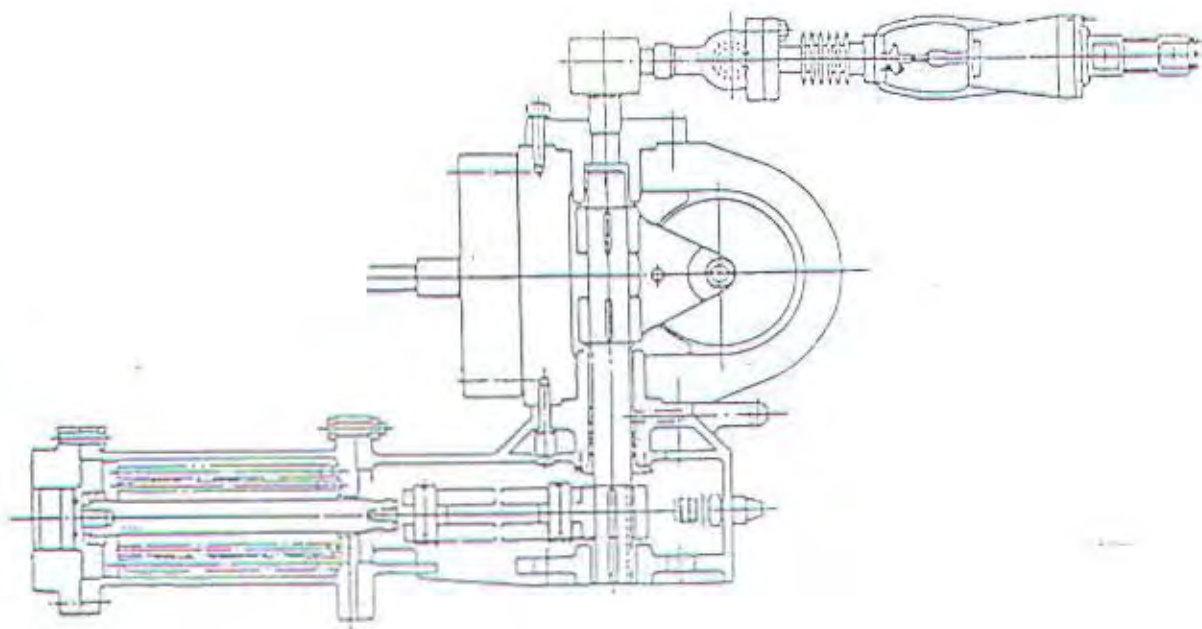


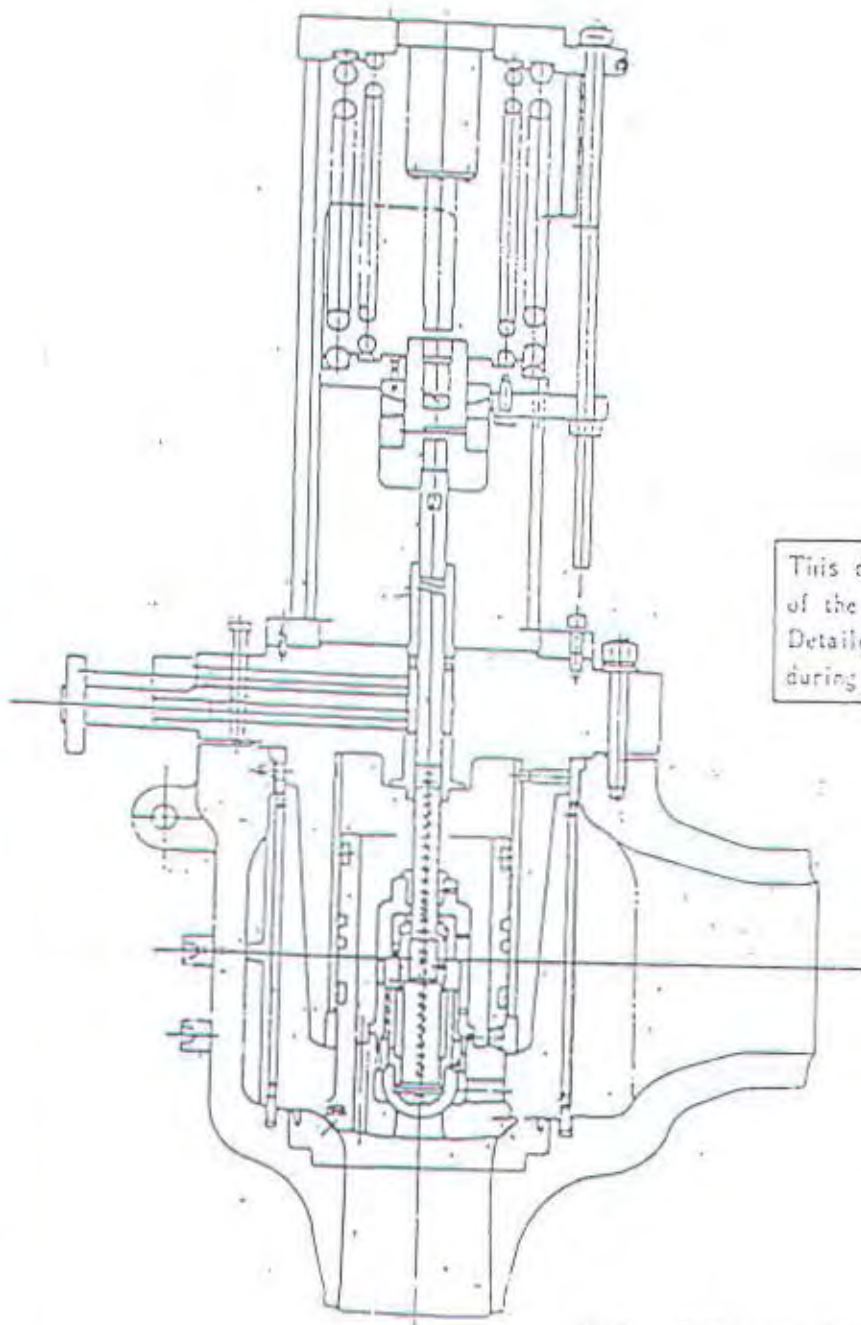


This drawing shows typical design  
of the equipment.  
Detailed design can be changed  
during final design stage.

HP STOP VALVE ASS'Y

DWG. NO.  
C00-525A

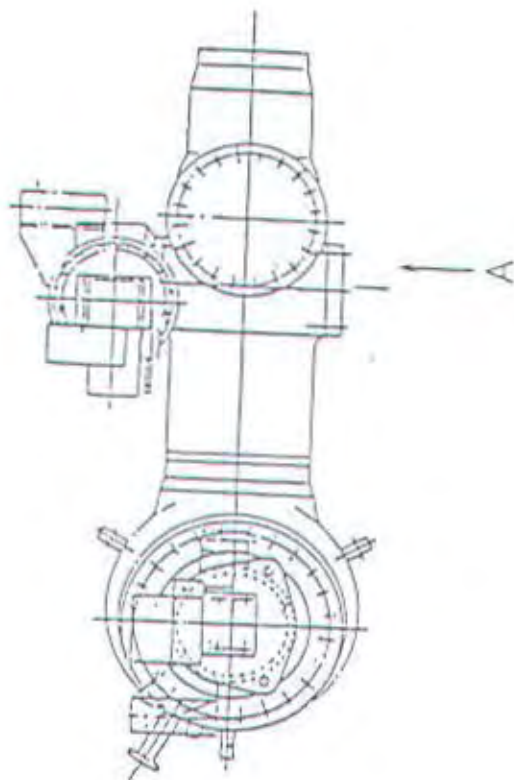




This drawing shows typical design  
of the equipment.  
Detailed design can be changed  
during final design stage.

HP CONTROL VALVE ASS'Y

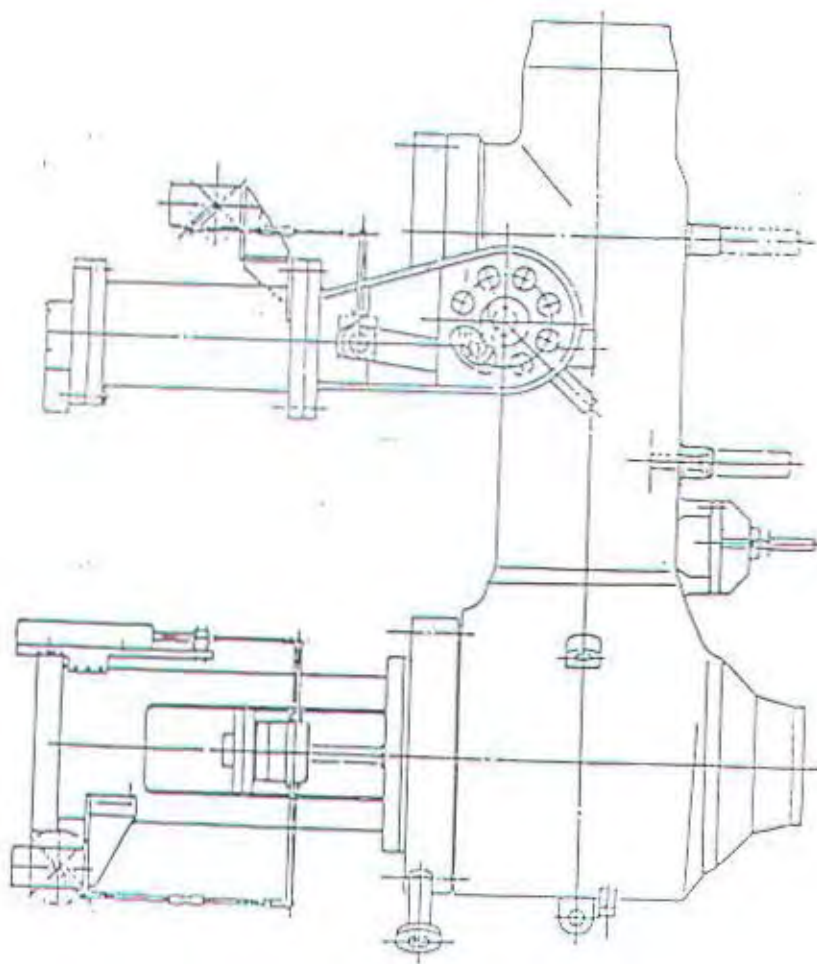
DWG. NO.



This drawing shows typical design  
of the equipment.  
Detailed design can be changed  
during final design stage.

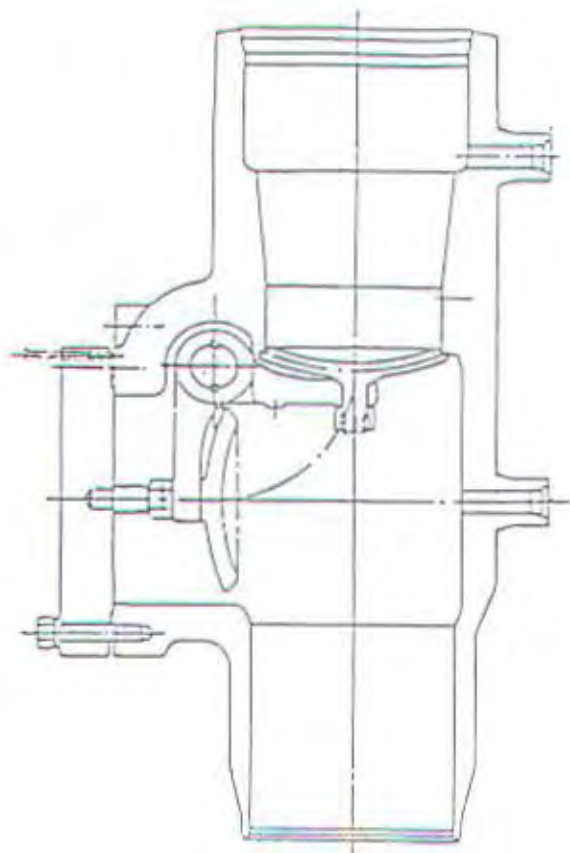
# LP STOP VALVE ASS'Y & GOVERNING VALVE OUTLINE

DWG. NO.  
C00-5248



VIEW "A"

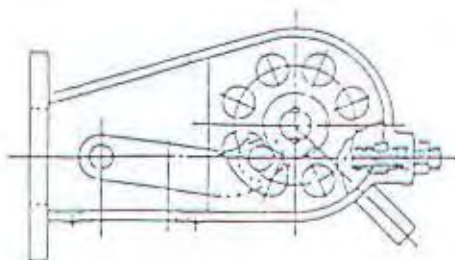
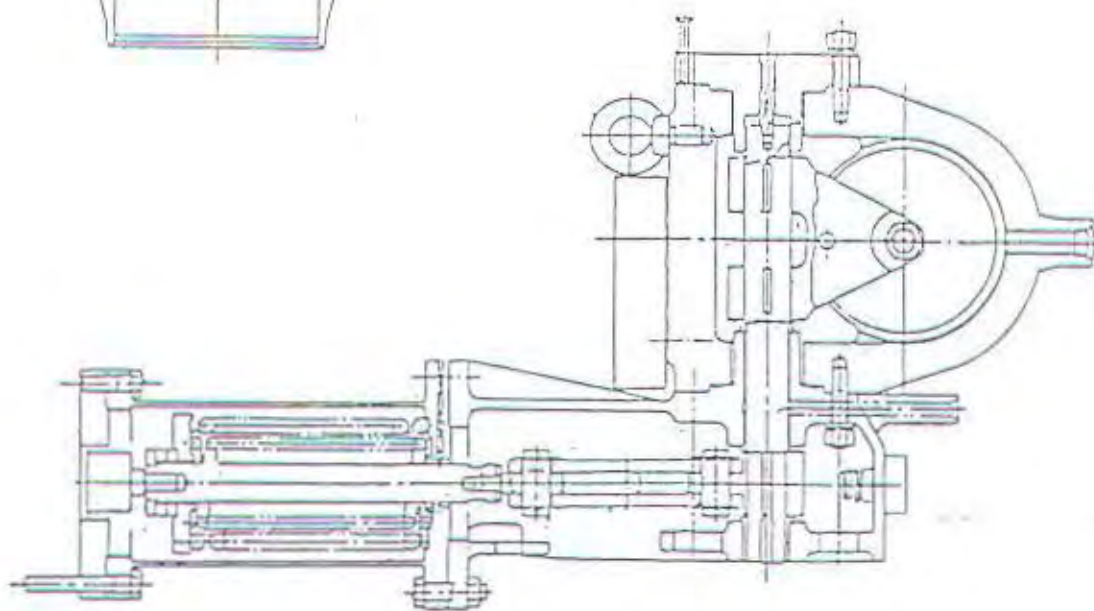


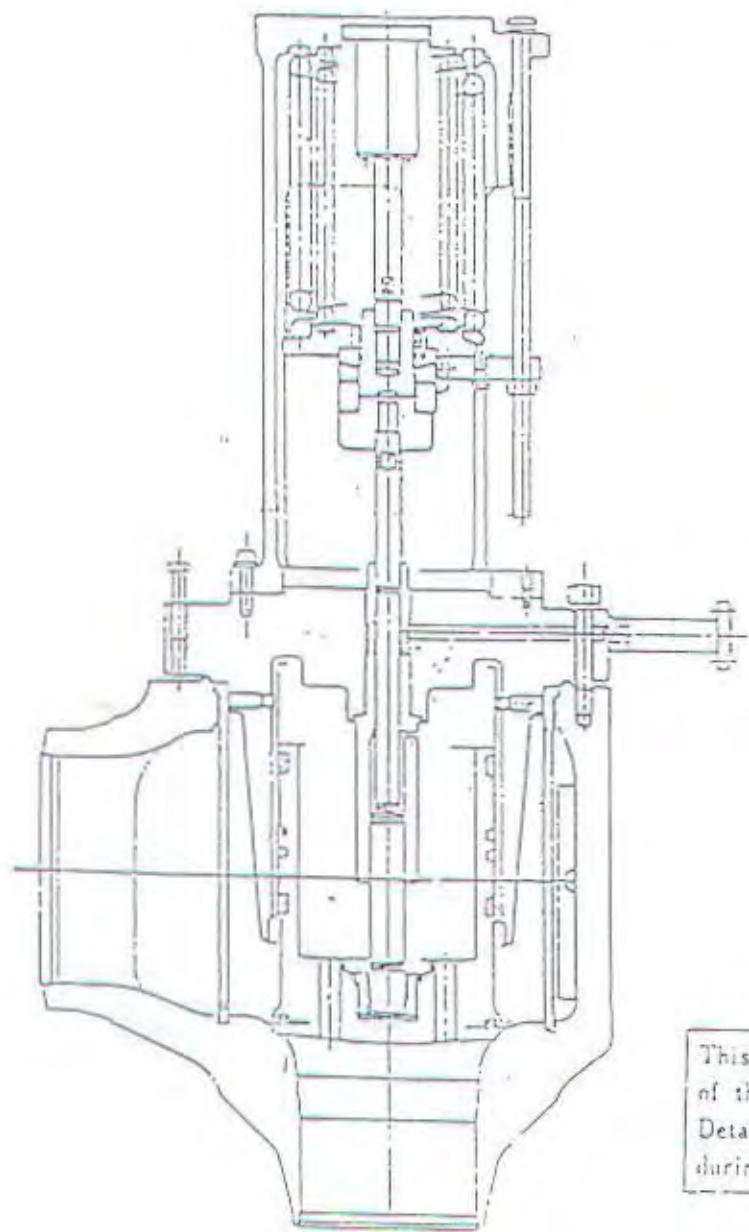


This drawing shows typical design  
of the equipment.  
Detailed design can be changed  
during final design stage.

LP STOP VALVE ASS'Y

DWG. NO.  
C00-525B

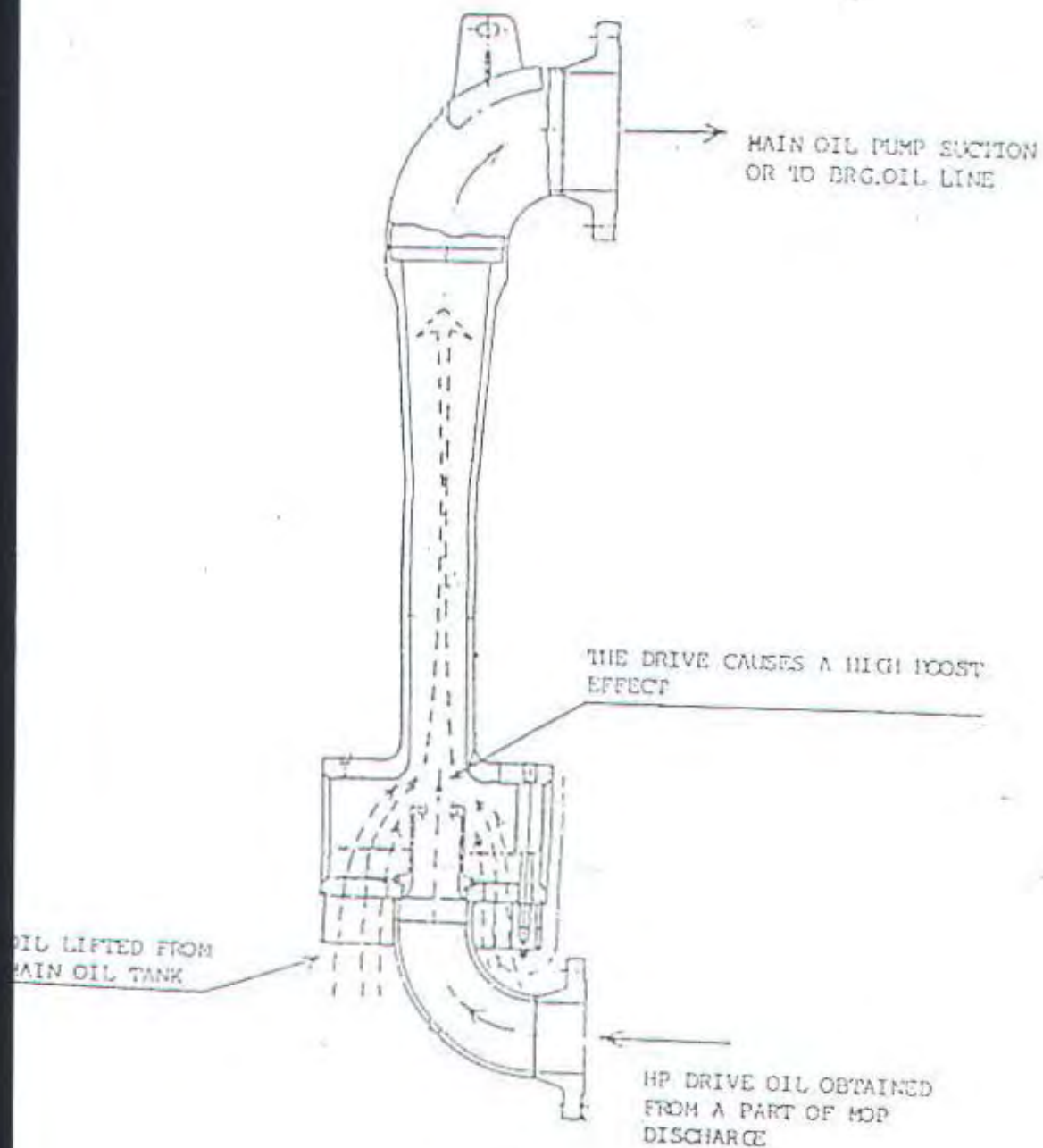




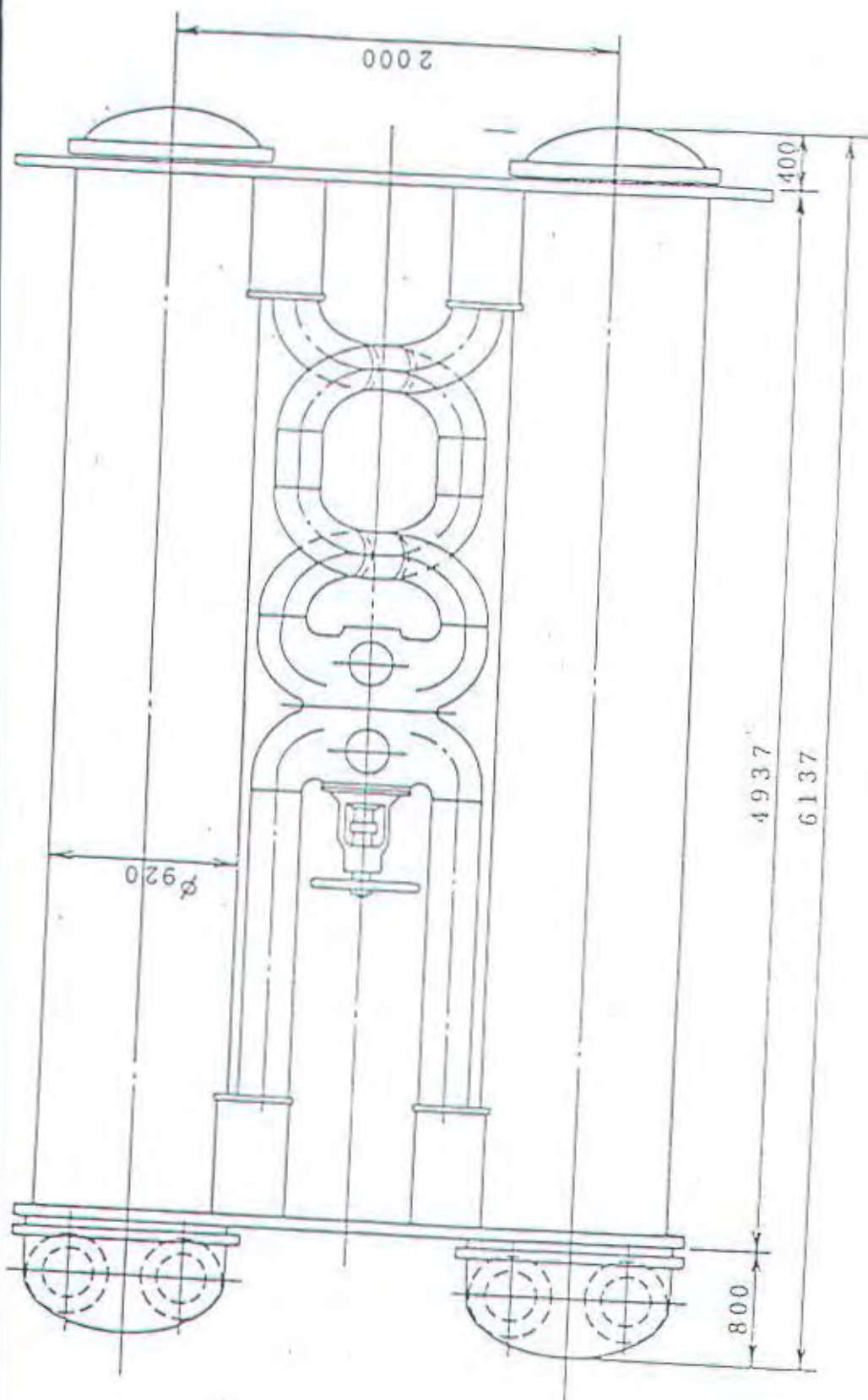
This drawing shows typical design  
of the equipment.  
Detailed design can be changed  
during final design stage.

LP GOVERNING VALVE ASS'Y

Dwg COO-530  
OIL EJECTOR

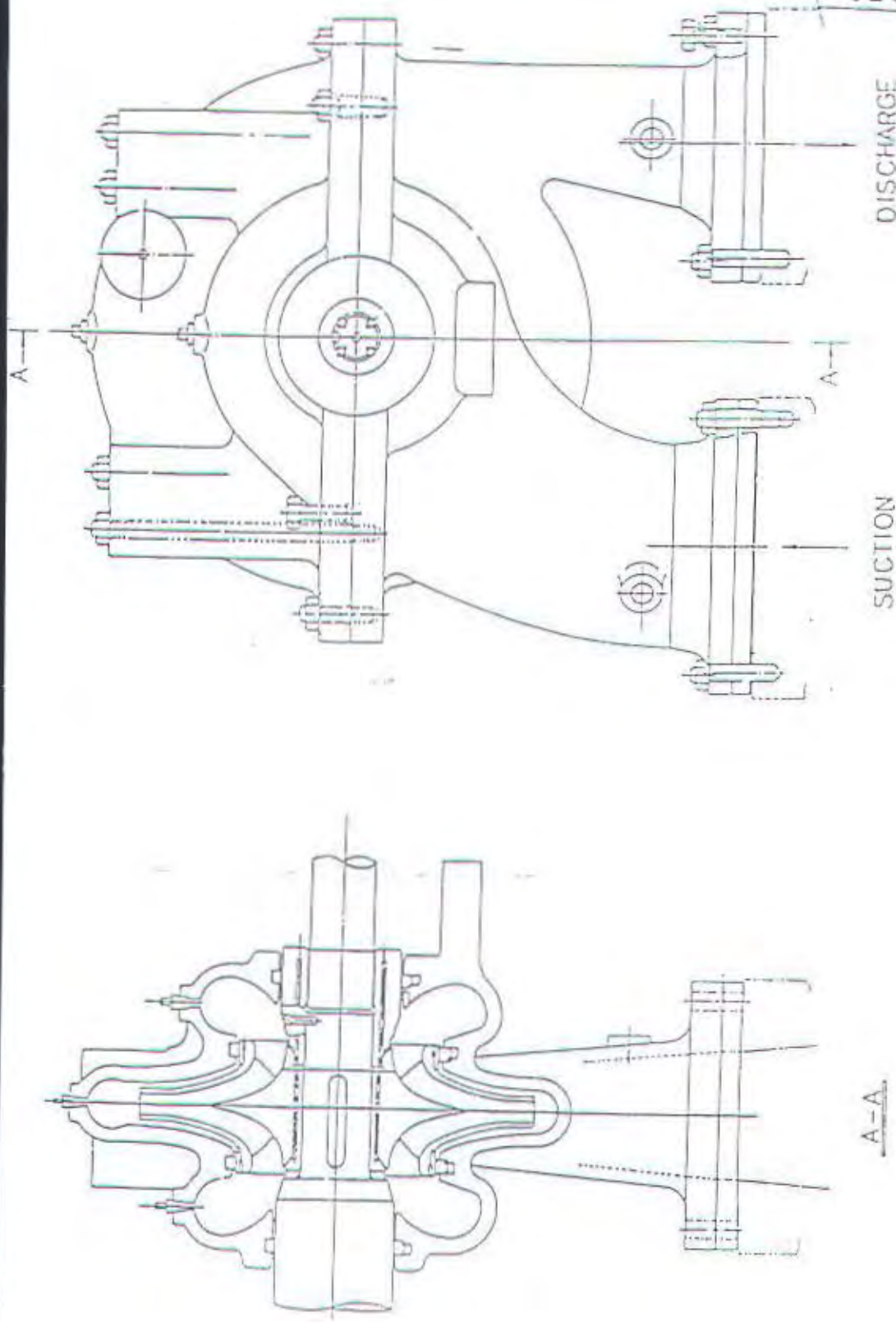






OIL COOLER OUTLINE

DWG. NO. H80 — 020



This drawing shows typical design  
of the equipment.  
Detailed design can be changed  
during final design stage.

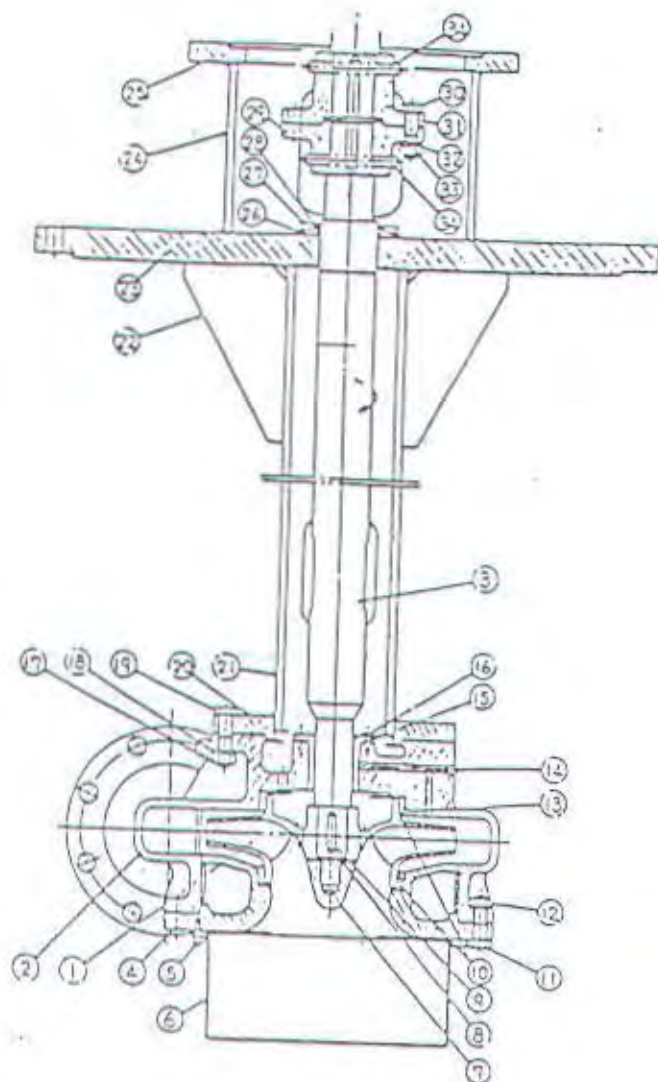
DISCHARGE

SUCTION

# MAIN OIL PUMP ASS'Y

DWG. NO

C00 - 527



# LIST OF PARTS

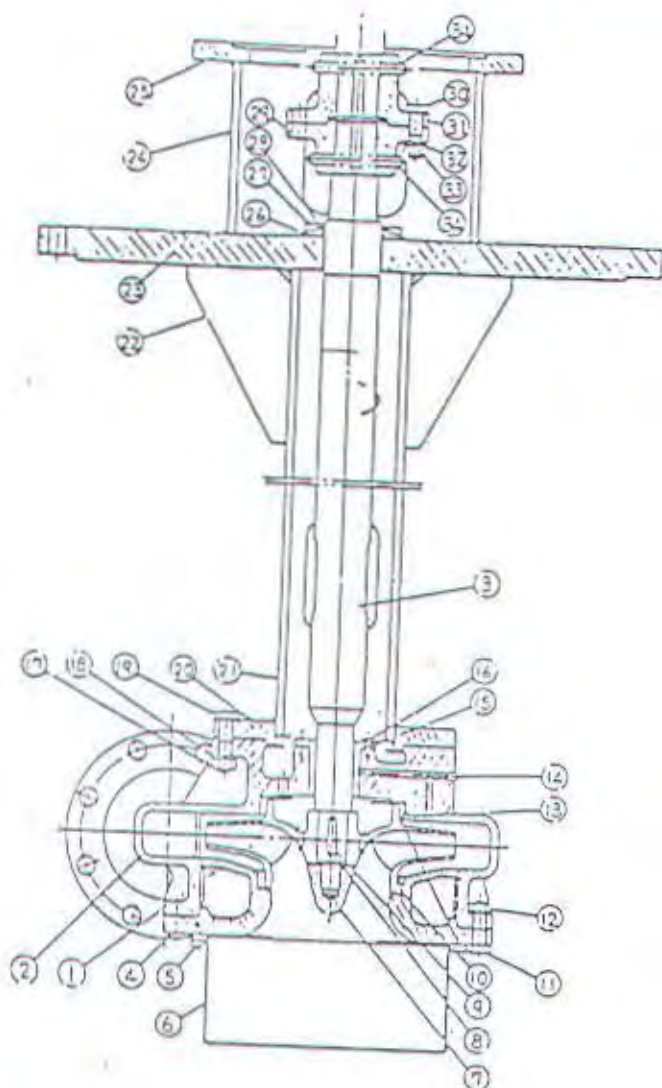
| Item | Name                                 | Materials     | Item | Name                               |
|------|--------------------------------------|---------------|------|------------------------------------|
| 1    | Pump Impeller                        | Brass Casting | 18   | Spring Washer                      |
| 2    | Pump Casing Body                     | Cast Iron     | 19   | Bolt                               |
| 3    | Pump Shaft                           | Carbon Steel  | 20   | Flange Lower (Lower)               |
| 4    | Section Cover                        |               | 21   | Pump Support Pipe                  |
| 5    | Strainer Retaining Bolt              |               | 22   | Reinforce Rib                      |
| 6    | Pump Strainer                        |               | 23   | Flange Upper (Oil Reservoir Cover) |
| 7    | Pump Impeller Nut                    |               | 24   | Motor Support Base                 |
| 8    | Lock Washer                          |               | 25   | Motor Support                      |
| 9    | Pump Impeller Key                    |               | 26   | Boat                               |
| 10   | Pump Inlet Casing Liner & Body Liner |               | 27   | Packing Cover                      |
| 11   | Bolt                                 |               | 28   | Packing                            |
| 12   | Nut                                  |               | 29   | Pump Shaft Coupling Half           |
| 13   | Set Screw                            |               | 30   | Coupling Bolt                      |
| 14   | Plug                                 |               | 31   | Motor Shaft Coupling Half          |
| 15   | Pump Shaft Plain Bearing             |               | 32   | Spring Washer                      |
| 16   | Bolt                                 |               | 33   | Coupling Nut                       |
| 17   | Nut                                  |               | 34   | Taper Pin                          |

This drawing shows typical design of the equipment. Detailed design can be changed during final design stage.

TURNING OIL PUMP A. C. DRIVEN

DWG. NO. 500-5201





# LIST OF PARTS

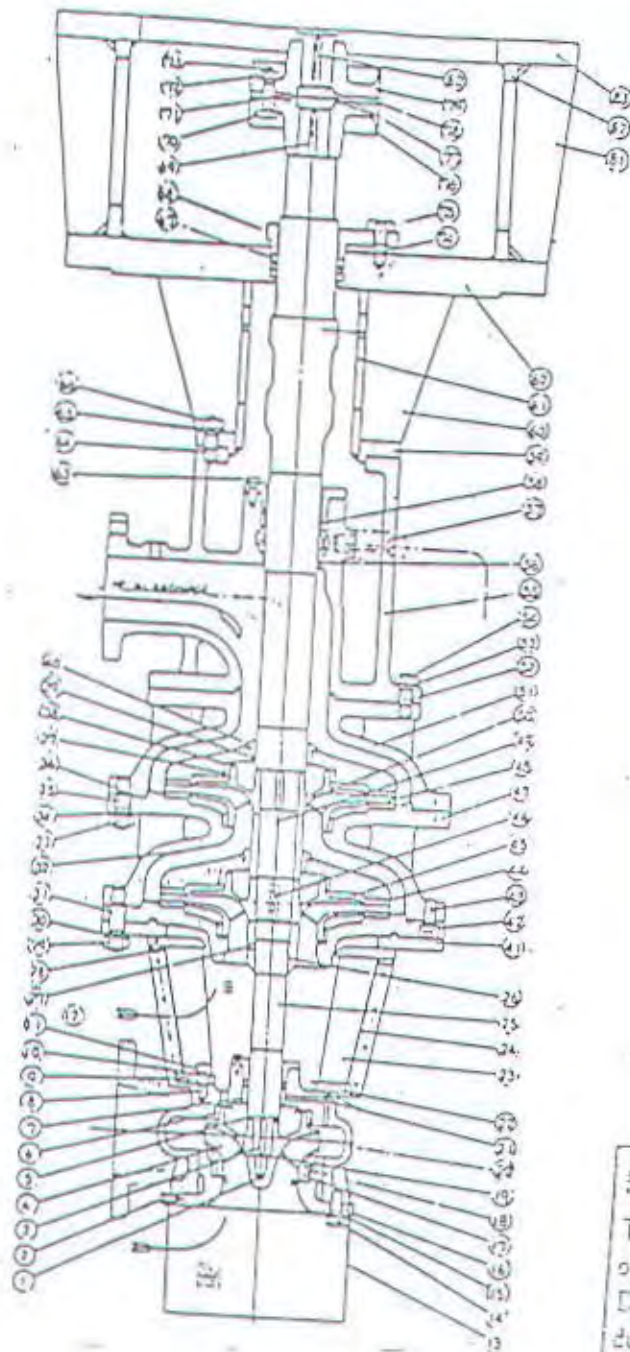
| Item | Name                                 | Materials     | Item | Name                               |
|------|--------------------------------------|---------------|------|------------------------------------|
| 1    | Pump Impeller                        | Brass Casting | 18   | Spring Washer                      |
| 2    | Pump Casing Body                     | Cast Iron     | 19   | Bolt                               |
| 3    | Pump Shaft                           | Carbon Steel  | 20   | Flange Lower (Lower)               |
| 4    | Suction Cover                        |               | 21   | Pump Support Pipe                  |
| 5    | Strainer Retaining Bolt              |               | 22   | Reinforce Rib                      |
| 6    | Pump Strainer                        |               | 23   | Flange Upper (Oil Reservoir Cover) |
| 7    | Pump Impeller Nut                    |               | 24   | Motor Support Base                 |
| 8    | Lock Washer                          |               | 25   | Motor Support                      |
| 9    | Pump Impeller Key                    |               | 26   | Box                                |
| 10   | Pump Inlet Casing Liner & Body Liner |               | 27   | Packing Cover                      |
| 11   | Bolt                                 |               | 28   | Packing                            |
| 12   | Nut                                  |               | 29   | Pump Shaft Coupling Half           |
| 13   | Set Screw                            |               | 30   | Coupling Bolt                      |
| 14   | Plug                                 |               | 31   | Motor Shaft Coupling Half          |
| 15   | Pump Shaft Plain Bearing             |               | 32   | Spring Washer                      |
| 16   | Bolt                                 |               | 33   | Coupling Nut                       |
| 17   | Nut                                  |               | 34   | Taper Pin                          |

This drawing shows typical design of the equipment. Detailed design can be changed during final design stage.

EMERGENCY PUMP D.C. DRIVEN

DWG. NO.

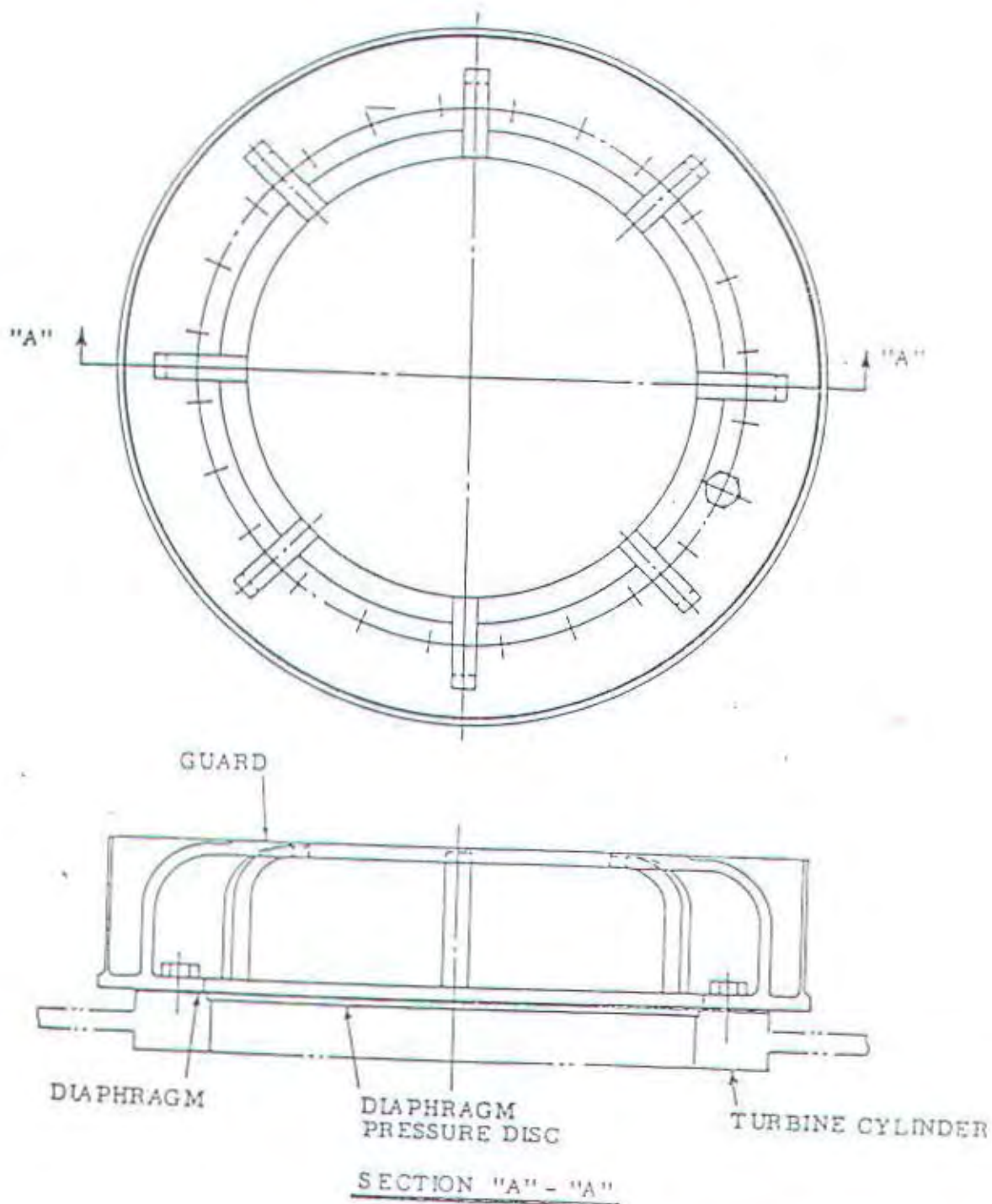
000-1000



**INFORMATION ONLY**  
 This drawing shows typical design  
 of the equipment.  
 Detailed design can be changed  
 during final design stage.

**LIST OF PARTS**

| Item                            | Name                         | Item | Name                   | Item | Name                 |
|---------------------------------|------------------------------|------|------------------------|------|----------------------|
| <b>No. 1 (Bearing Oil) Pump</b> |                              |      |                        |      |                      |
| 1                               | Impeller Nut                 | 28   | Set Screw              | 37   | Lube Pipe            |
| 2                               | Nut                          | 29   | Nut                    | 38   | Bearing (Upper)      |
| 3                               | Impeller Shaft Key           | 30   | Spring Washer          | 39   | Flange Lower         |
| 4                               | Pump Impeller                | 31   | Stud                   | 40   | Reinforce            |
| 5                               | Impeller Spade Ring          | 32   | Washer                 | 41   | Support Pipe         |
| 6                               | Casing Wear Ring             | 33   | Nut                    | 42   | Flange Upper         |
| 7                               | Bearing (Lower)              | 34   | Spring Washer          | 43   | Bolt                 |
| 8                               | Stud                         | 35   | Stud                   | 44   | Stud                 |
| 9                               | Set Screw                    | 36   | Gasket                 | 45   | Spring Washer        |
| 10                              | Spring Washer                | 37   | Set Screw              | 46   | Nut                  |
| 11                              | Nut                          | 38   | Casing Wear Ring       | 47   | Packing              |
| 12                              | Bolt                         | 39   | Gland                  | 48   | Packing Cover        |
| 13                              | Reinforce                    | 40   | Pin Head Screw         | 49   | Shaft Coupling Key   |
| 14                              | Bolt                         | 41   | Flange Upper           | 50   | Coupling Bolt        |
| 15                              | Spring Washer                | 42   | Injection Cover        | 51   | Lock Nut             |
| 16                              | Injection Cover              | 43   | Bolt Injection Head    | 52   | Coupling Nut         |
| 17                              | Casing Wear Ring             | 44   | Guide Vane (1st Stage) | 53   | Split Pin            |
| 18                              | Set Screw                    | 45   | Impeller (1st Stage)   | 54   | Bolt                 |
| 19                              | Lock Washer                  | 46   | Impeller Shaft Key     | 55   | Nut                  |
| 20                              | Casing Body                  | 47   | Casing (1st Stage)     | 56   | Shaft Coupling Nut   |
| 21                              | Plug                         | 48   | Guide Vane (2nd Stage) | 57   | Set Screw            |
| 22                              | Flange Lower                 | 49   | Washer Key             | 58   | Spacer               |
| 23                              | Reinforce Rib                | 50   | Impeller (2nd Stage)   | 59   | Motor Coupling Nut   |
| <b>No. 2 (O. P. Oil) Pump</b>   |                              |      |                        |      |                      |
| 24                              | Reinforce                    | 61   | Casing (2nd Stage)     | 60   | Motor Coupling Key   |
| 25                              | Shaft                        | 62   | Stud                   | 61   | Reinforce (Motor)    |
| 26                              | Impeller Nut                 | 63   | Spring Washer          | 62   | Motor Support        |
| 27                              | Impeller Nut Retaining Screw | 64   | Nut                    | 63   | Motor Support Flange |
|                                 |                              | 65   | Discharge Casing       |      |                      |
|                                 |                              | 66   | Bush                   |      |                      |



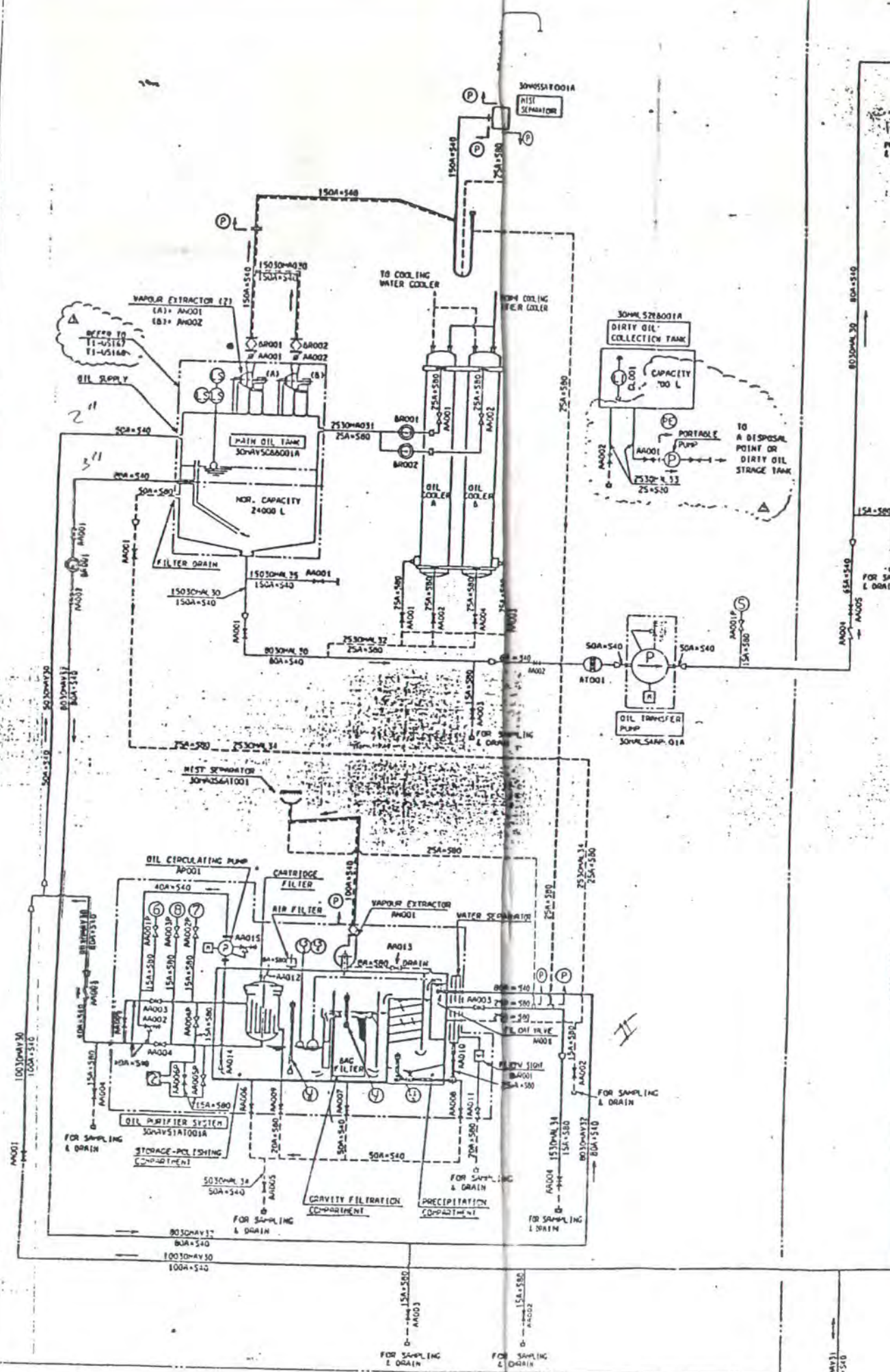
This drawing shows typical design  
of the equipment.  
Detailed design can be changed  
during final design stage.

BREAKABLE DIAPHRAGM

DWG. NO.

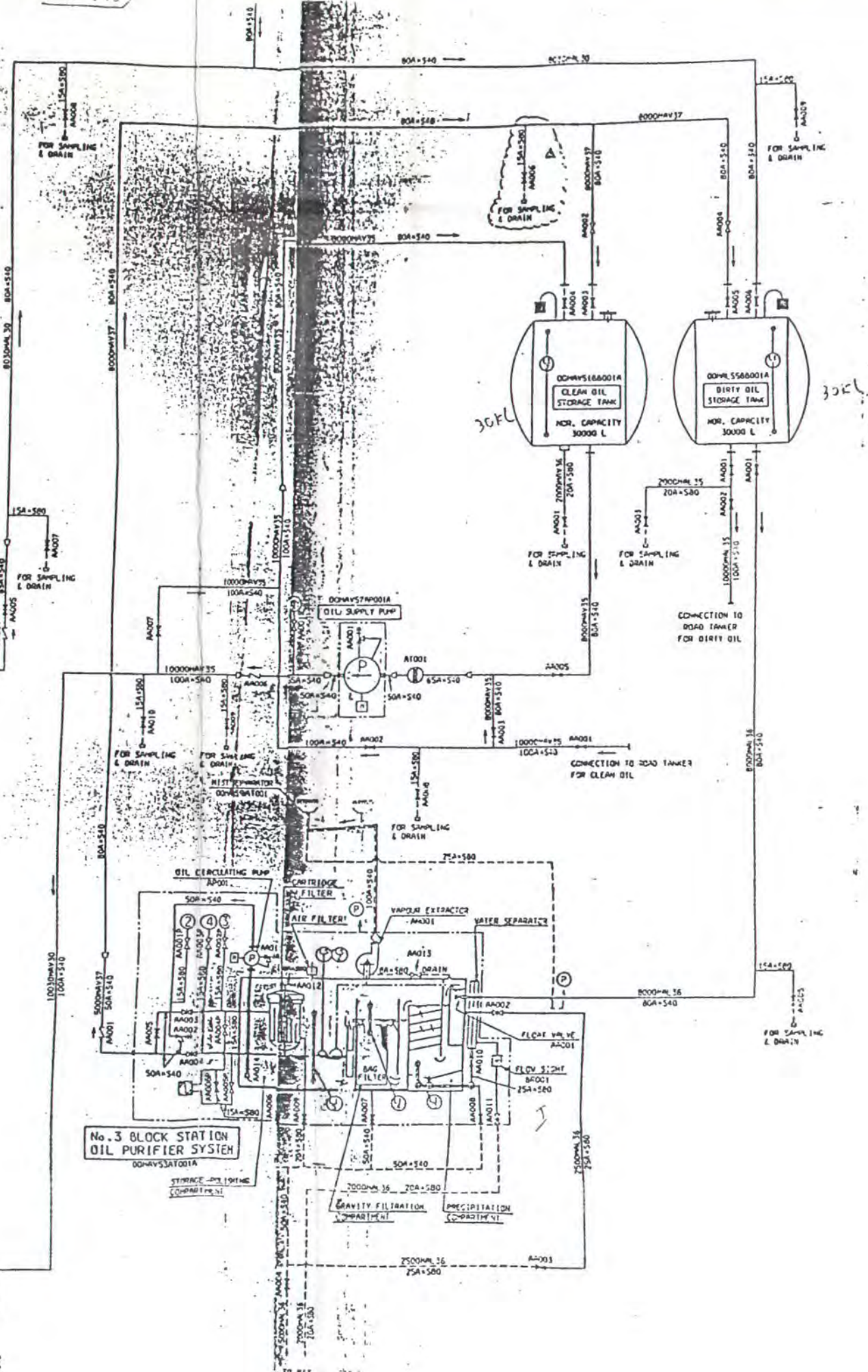
COO-523



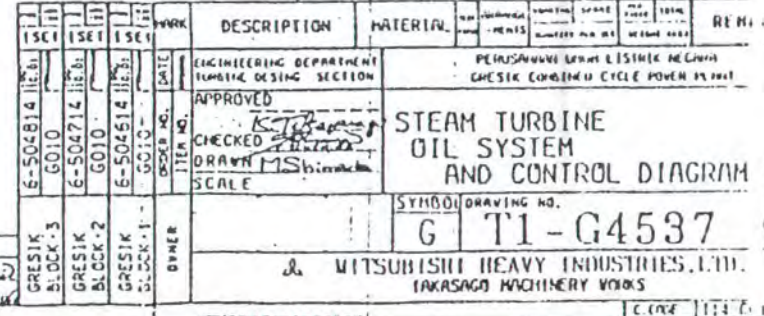


No. 3 BLOCK

6-F  
10-N3476

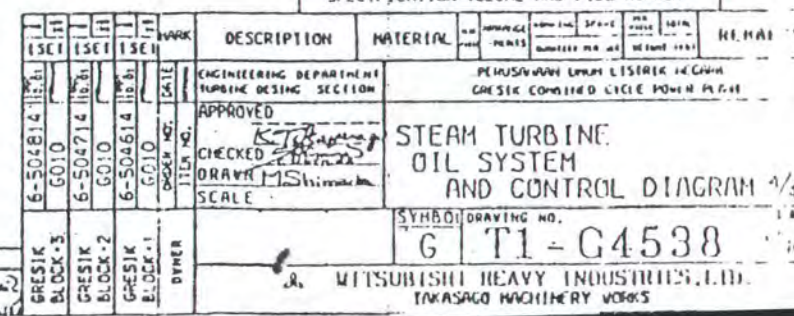








GENERATOR





F-1  
-G4537

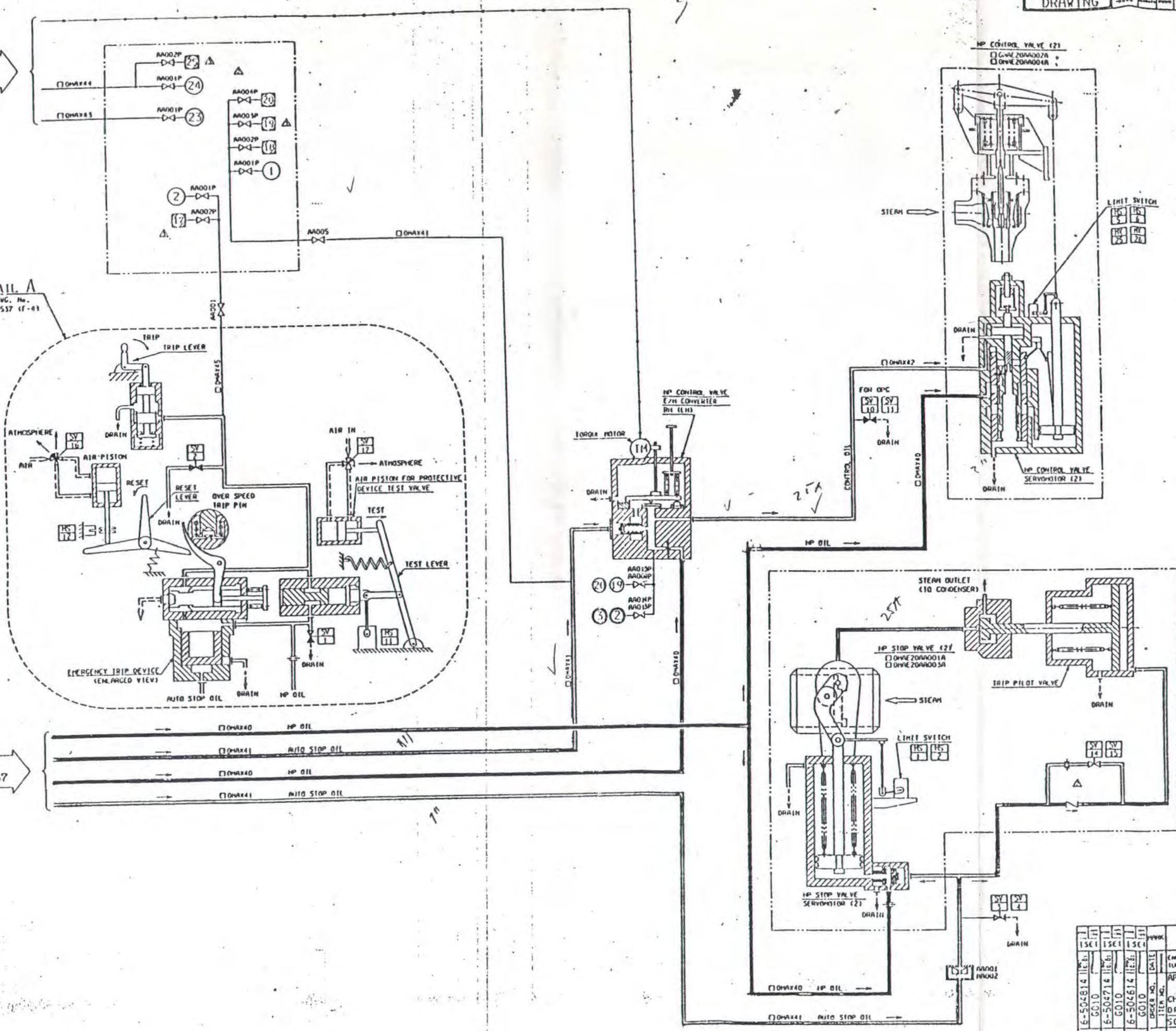
DETAIL A  
SEE DWG. No.  
T1-G4537 (F-1)

G-5  
T1-G4537

IMAGE CAD  
DRAWING

3-4 ANGLE PROJECTION  
ISO-M SCREW THREADS

| REV | DATE     | DESCRIPTION                         |
|-----|----------|-------------------------------------|
| 1   | DEC. '90 | FIRST ISSUE TO PROJECT              |
| 2   |          | CHANGED Dwg. No. TO-653011          |
| 3   | 14.11.91 | REVISION OF DRAWING'S COMMENT SHEET |
| 4   | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 5   | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 6   | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 7   | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 8   | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 9   | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 10  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 11  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 12  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 13  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 14  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 15  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 16  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 17  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 18  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 19  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 20  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 21  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 22  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 23  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 24  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 25  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 26  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 27  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 28  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 29  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |
| 30  | 14.11.91 | REVISION OF ISH COMMENT SHEET       |



# NOTE

1. RELATED DWG.  
T1-G4535 STEAM TURBINE OIL SYSTEM  
AND CONTROL DIAGRAM  
T1-G4537 Do.  
T1-G4538 Do.

(COMMON DWG. FOR 3 BLOCKS)  
PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA  
AGENCY OF THE MINISTRY OF MINES & ENERGY  
OF THE GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF INDONESIA  
GRESIK COMBINED CYCLE POWER PLANT  
1500MW  
PUSAT PELAYANAN TEKNIK  
GRESIK  
DWG. NO. T1-G4537  
SPECIFICATION VOLUME AND FILE NUMBER

| NO. | DESCRIPTION            | MATERIAL | QUANTITY | UNIT | REMARKS |
|-----|------------------------|----------|----------|------|---------|
| 1   | ENGINEERING DEPARTMENT |          |          |      |         |
| 2   | DESIGN SECTION         |          |          |      |         |
| 3   | APPROVED               |          |          |      |         |
| 4   | CHECKED                |          |          |      |         |
| 5   | DRAWN                  |          |          |      |         |
| 6   | SCALE                  |          |          |      |         |
| 7   | DATE                   |          |          |      |         |
| 8   | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 9   | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 10  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 11  | DATE                   |          |          |      |         |
| 12  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 13  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 14  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 15  | DATE                   |          |          |      |         |
| 16  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 17  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 18  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 19  | DATE                   |          |          |      |         |
| 20  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 21  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 22  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 23  | DATE                   |          |          |      |         |
| 24  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 25  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 26  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 27  | DATE                   |          |          |      |         |
| 28  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 29  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 30  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 31  | DATE                   |          |          |      |         |
| 32  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 33  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 34  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 35  | DATE                   |          |          |      |         |
| 36  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 37  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 38  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 39  | DATE                   |          |          |      |         |
| 40  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 41  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 42  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 43  | DATE                   |          |          |      |         |
| 44  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 45  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 46  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 47  | DATE                   |          |          |      |         |
| 48  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 49  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 50  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 51  | DATE                   |          |          |      |         |
| 52  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 53  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 54  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 55  | DATE                   |          |          |      |         |
| 56  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 57  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 58  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 59  | DATE                   |          |          |      |         |
| 60  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 61  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 62  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 63  | DATE                   |          |          |      |         |
| 64  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 65  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 66  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 67  | DATE                   |          |          |      |         |
| 68  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 69  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 70  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 71  | DATE                   |          |          |      |         |
| 72  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 73  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 74  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 75  | DATE                   |          |          |      |         |
| 76  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 77  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 78  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 79  | DATE                   |          |          |      |         |
| 80  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 81  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 82  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 83  | DATE                   |          |          |      |         |
| 84  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 85  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 86  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 87  | DATE                   |          |          |      |         |
| 88  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 89  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 90  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 91  | DATE                   |          |          |      |         |
| 92  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 93  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 94  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 95  | DATE                   |          |          |      |         |
| 96  | DRAWN BY               |          |          |      |         |
| 97  | CHECKED BY             |          |          |      |         |
| 98  | APPROVED BY            |          |          |      |         |
| 99  | DATE                   |          |          |      |         |
| 100 | DRAWN BY               |          |          |      |         |

STEAM TURBINE  
OIL SYSTEM  
AND CONTROL DIAGRAM  
SYMBOL DRAWING NO.  
G T1-G4537

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.  
TAKASAGO MACHINERY WORKS